ISSN 2619-0605

Вестник

Керченского государственного морского технологического университета

ВЫПУСК 4

2021

16+

Рецензируемый научный журнал «Вестник Керченского государственного морского технологического университета» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-78328 от 15.05.2020 г.
Журнал «Вестник КГМТУ» включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (с 25.12.2020 года), по научным специальностям (отраслям науки): 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности (экономические науки), 03.02.06 – Ихтиология (биологические науки), 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств (технические науки).

Редакционный Совет журнала

Главный редактор: Логунова Наталья Анатольевна – д-р экон. наук, доцент, проректор по научной работе
Заместитель главного редактора:
Ушаков Владислав Валериевич – канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры экономики

Редакционная коллегия журнала

Биологические науки	Технические науки		Экономические науки
Губанов Е.П.	Доровской В.А.	Антипов С.Т.	Бутова Т.Г.
Москул Г.А.	Емельянов В.А.	Заплетников И.Н.	Гришкина С.Н.
Пашков А.Н.	Нырков А.П.	Косачев В.С.	Исраилов М.В.
Чебанов М.С.	Олейников А.М.	Соколов С.А.	Котенев А.Д.
Тылик К.В.	Жуков В.А.	Панфилов В.А.	Пискун Е.И.
Тюрин В.В.	Каторин Ю.Ф.	Фалько А.Л.	Подсолонко В.А.
Шибаев С.В.	Авдеев Б.А.	Гукасян А.В.	Подсолонко Е.А.
Булли Л.И.	Горбенко А.Н.	Степанов Д.В.	Сметанко А.В.
Кулиш А.В.	Конюков В.Л.	Яковлев О.В.	Яркина Н.Н.
Шляхов В.А.	Титов И.Л.	Яшонков А.А.	Серёгин С.С.
			Скоробогатова В.В.

Серёгин С.С. – ответственный секретарь
Бобарыкин О.В. – технический редактор, компьютерная верстка

Статьи в журнале издаются на русском и английском языках.
Позиция автора публикаций может не совпадать с точкой зрения редакционного совета и редакционной коллегии журнала.

Издается по решению НТС ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», протокол № 8 от 16.12.2021 г.

Адрес: 298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82
E-mail: vestnik@ejkgmtu.ru
Web: http://www.ejkgmtu.ru/

Редакционная коллегия журнала

Биологические науки

Научная специальность 03.02.06 «Ихтиология»:

1. Губанов Евгений Павлович – д-р биол. наук, профессор, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры водных биоресурсов и марикультуры;
2. Москул Георгий Алексеевич – д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», профессор кафедры водных биоресурсов и аквакультуры;
3. Тюрин Владислав Викторович – д-р биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», заведующий кафедрой генетики, микробиологии и биотехнологии;
4. Чебанов Михаил Степанович – д-р биол. наук, профессор, директор ГКУ КК «Кубаньбиоресурсы»;
5. Шибаев Сергей Вадимович – д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», заведующий кафедрой ихтиологии и экологии;
6. Булли Любовь Ивановна – канд. биол. наук, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», доцент кафедры водных биоресурсов и марикультуры;
7. Кулиш Андрей Викторович – канд. биол. наук, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», доцент кафедры водных биоресурсов и марикультуры;
8. Пашков Андрей Николаевич – канд. биол. наук, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), заместитель руководителя Краснодарского отделения;
9. Тылик Константин Владимирович – канд. биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», декан факультета биоресурсов и природопользования;
10. Шляхов Владислав Алексеевич – канд. биол. наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «АзНИИРХ».

Технические науки

Научная специальность 05.08.05 «Судовые энергетические установки (главные и вспомогательные)»:

1. Доровской Владимир Алексеевич – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства;
2. Емельянов Виталий Александрович – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», профессор кафедры бизнес-информатики;
3. Жуков Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», заведующий кафедрой теории и конструкции судовых двигателей внутреннего сгорания;
4. Каторин Юрий Федорович – д-р воен. наук, профессор ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», профессор кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности;
5. Нырков Анатолий Павлович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО

«Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», профессор кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности;

6. Олейников Александр Михайлович – д-р техн. наук, профессор, ФГУП «13 Судоремонтный завод Черноморского флота» Министерства обороны РФ, руководитель группы по развитию и новым технологиям;
7. Авдеев Борис Александрович – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства;
8. Горбенко Александр Николаевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», доцент кафедры судовых энергетических установок;
9. Конюков Вячеслав Леонтьевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», доцент кафедры судовых энергетических установок;
10. Титов Иван Леонидович – канд. техн. наук, ОАО «Проект», флагманский электромеханик.

Научная специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств»:

1. Антипов Сергей Тихонович – д-р техн. наук, профессор, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Заслуженный изобретатель РФ, советник при ректорате по науке, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»;
2. Заплетников Игорь Николаевич – д-р техн. наук, профессор, академик Международной академии холода, ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», заведующий кафедрой оборудования пищевых производств;
3. Косачев Вячеслав Степанович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Институт машиностроения и автосервиса, профессор кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения;
4. Соколов Сергей Анатольевич – д-р техн. наук, доцент, академик Международной академии наук Экологии и Безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», заведующий кафедрой общеинженерных дисциплин;
5. Панфилов Виктор Александрович – д-р техн. наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет − МСХА им. К.А. Тимирязева», профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств;
6. Фалько Александр Леонидович – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств;
7. Гукасян Александр Валерьевич – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Институт машиностроения и автосервиса, заведующий кафедрой технологического оборудования и систем жизнеобеспечения;
8. Степанов Дмитрий Виталиевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», проректор по организационной работе и развитию структурных подразделений, доцент кафедры машины и аппараты пищевых производств;

9. Яковлев Олег Владимирович – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», декан технологического факультета, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств;
10. Яшонков Александр Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств.

Экономические науки

Научная специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством»:

1. Бутова Татьяна Георгиевна, д-р экон наук, профессор, Почетный работник высшего образования РФ, профессор кафедры международной и управленческой экономики ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»;
2. Гришкина Светлана Николаевна – д-р экон. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Финансовый Университет при Правительстве Российской Федерации», Департамент учета, анализа и аудита;
3. Исраилов Магамед Вахаевич – д-р экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет», профессор кафедры менеджмента и государственного и муниципального управления;
4. Котенев Александр Дмитриевич – д-р экон. наук, доцент, Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации (Ставропольский филиал), профессор кафедры социально-экономических и гуманитарных дисциплин;
5. Пискун Елена Ивановна – д-р экон. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», профессор кафедры финансов и кредита;
6. Подсолонко Владимир Андреевич – д-р экон. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», профессор кафедры государственного и муниципального управления Института экономики и управления (структурное подразделение);
7. Подсолонко Елена Адольфовна – д-р экон. наук, профессор;
8. Сметанко Александр Васильевич – д-р экон. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», заведующий кафедрой кафедры учета, анализа и аудита Института экономики и управления (структурное подразделение);
9. Яркина Наталья Николаевна – д-р экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры экономики;
10. Серёгин Станислав Сергеевич – канд. экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», начальник отдела обеспечения научно-исследовательской деятельности, доцент кафедры экономики;
11. Скоробогатова Виктория Викторовна – канд. экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», заведующий кафедрой экономики.

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ. Научная специальность 03.02.06 «Ихтиология»

Булли Л.И., Битютская О.Е., Серёгин С.С., Мазалова Н.Ф. ВЫРАЩИВАНИЕ БИОМАССЫ УЛЬВЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ 8

Булли Л.И., Писаревская И.И. ОБ АНОМАЛИЯХ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КЕФАЛЕЙ (*MUGILIDAE*) АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА 21

Кожурин Е.А., Битютский Д.Г., Губанов Е.П. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ ПИЛЕНГАСА *PLANILIZA HAEMATOCHEILA* (TEMMINCK & SCHLEGEL, 1845) В АЗОВСКОМ МОРЕ 34

Козлова Г.В., Гордиенко Н.А. ВЛИЯНИЕ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ГЛИКОГЕНА В МИДИЯХ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА 46

Подрезова П.С., Петрова Т.Н., Мальцев В.И. ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕТНЕГО ИХТИОПЛАНКТОНА ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА 59

Сытник Н.А. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЗЕРА ДОНУЗЛАВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ 81

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная специальность 05.08.05 «Судовые энергетические установки (главные и вспомогательные)»

Авдеев Б.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ МОРСКИХ СУДОВ 99

Богатырева Е.В. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКОВ В СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ 114

Бордюг А.С. ИДЕОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТИПОРАЗМЕРНЫХ РЯДОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 126

Ивановская А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КАНАТНОЙ СИСТЕМЫ С КОНЕЧНЫМ НАТЯЖЕНИЕМ 139

Капустянский М.С., Новых А.В., Свириденко И.И. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА МОРСКИХ ПЛАВУЧИХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРАХ 150

Клименко Н.П., Ивановская А.В., Шаратов А.С., Овчаренко И.К., Гумена Т.И. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ ПОД СУДОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА 171

Конюков В.Л. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ, ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДИАПАЗОН НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ВОЗДУХА ПРИ РАЗЛИЧНОМ ПРОТИВОДАВЛЕНИИ НА ВЫПУСКЕ 188

Панов М.А., Позднеев М.С., Ивановская А.В. БОРЬБА С НАКИПЕОБРАЗОВАНИЕМ В ТЕПЛООБМЕННИКАХ 203

Федоровский К.Ю. Гриненко Н.К. Ениватов В.В. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООТВОДА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ 218

Научная специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств»

Клименко Н.П., Олейникова Р.Е. СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УЗЛАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 230

Уколов А.И., Семёнова А.Д. ГИДРОКАВИТАЦИОННАЯ ПОДГОТОВКА МОРСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕПЛОМАССООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ 244

Фалько А.Л., Ильина О.Б., Колесник Д.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА ВИБРАЦИОННОЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ СЫПУЧИХ ПИЩЕВЫХ МАСС 261

Яшонков А.А., Устинова М.Э., Косачев В.С. АНИЗОТРОПНАЯ МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ ТЕПЛООБМЕНА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ КУБИКА РЫБНОГО ФИЛЕ 274

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ. Научная специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством»

Алексахина Л.В. КРЫМСКИЕ МОРСКИЕ ПОРТЫ: ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ 287

Кибенко Е.А., Кибенко В.А. ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛЫХ ФОРМ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ 302

Макарова О.В. ТРАНСФЕРТНОЕ ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА 319

Рысина В.А. СВОБОДНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗОНА НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА: ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗА 2018-2020 ГГ. 335

Скоробогатова В.В., Логунова Н.А. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА 351

Яркина Н.Н. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ РИСКАМИ 366

УДК 582.26/.27:664 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_8**

Булли Л.И., Битютская О.Е., Серёгин С.С., Мазалова Н.Ф.

ВЫРАЩИВАНИЕ БИОМАССЫ УЛЬВЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. В статье рассматривается проблема выбора рационального способа выращивания зеленой водоросли *Ulva rigida* C. Ag. в экспериментальных условиях, показана возможность культивирования штормовых выбросов талломов ульвы и использования для этих целей аппарата Вейса. Максимальный вегетативный рост водоросли отмечен в мае и июне при кратковременном увеличении освещенности в дневные часы до 15-20 тыс. люкс и повышении температуры до 26 °С и составлял 3,15-3,92 % в сутки. Показано, что, регулируя условия среды, можно обеспечить максимальные приросты биомассы и снижение интенсивности плодоношения, которое сдерживает рост водоросли. В период интенсивного вегетативного роста относительный прирост биомассы талломов достигал 290 мг/сутки. Разработанный проект пилотного модуля по выращиванию ульвы позволяет оценить риски и перспективы до начала масштабного исследования. Предварительные расчетные данные проекта пилотного модуля по выращиванию ульвы позволяют отнести проект к перспективным.
Ключевые слова: зеленые водоросли, таллом, ульва, аппарат Вейса, биомасса, рост, условия среды, пилотный проект.

Bulli L.I., Bityutskaya O.E., Seregin S.S., Mazalova N.F.

ULVA BIOMASS CULTIVATION IN EXPERIMENTAL CONDITIONS

Abstract. The article deals with the problems of choosing a rational method of growing green algae *Ulva rigida* C. Ag. under experimental conditions, the possibility of cultivating storm-tossed Ulva thalloms and using the Weiss apparatus for these purposes was shown. The maximum vegetative growth of algae was observed in May and June with a short-term increase in daylight hours to 15–20 thousand lux and an increase in temperature to 26 °C and was 3,15-3,92 % per day. It was shown that regulation of environmental conditions, allow to ensure maximum biomass gains and a decrease in the intensity of fruiting, which inhibits the growth of algae. During the period of intensive vegetative growth, the relative increase in thallus biomass reached 290 mg/day. The developed project of the pilot module for ulva cultivation allows to assess the risks and prospects before the start of a large-scale study. Preliminary calculated data of the pilot module project for the cultivation of ulva allow us to classify the project as promising.
Keywords: green algae, thalli, ulva, Weiss apparatus, biomass, growth, preconditions, pilot project.

Введение. Морские водоросли относят к одним из наиболее полезных продуктов питания, нутрицевтики и парафармацевтики на их основе участвуют в восстановлении баланса питания и в комплексном преодолении нарушений метаболизма путем формирования пула субстратов эссенциальных веществ [1]. Для обеспечения потребности человека в продуктах из водорослей объем добычи и переработки водорослевого сырья должен быть значительно увеличен. Однако использование только естественно произрастающих водорослей не может

полностью обеспечить потребности народного хозяйства. Развитие марикультуры в прибрежных зонах морей и океанов позволяет создавать подводные плантации по выращиванию наиболее ценных и качественных по своим товарным показателям водорослей. В настоящее время более 80 % добываемых водорослей выращивают искусственно, и их доля с каждым годом возрастает.

Всего в мире культивируют водоросли примерно из 30 родов. В промышленных масштабах выращивают водоросли из 17 родов [1]. К ним относятся и представители р. Ulva L. (Ulvophyceae). К представителям рода, обитающим в прибрежных водах Черного моря, относятся: *Ulva rigida* C. Agardh, *U. prolifera* O.F. Muller, *U. intestinalis* L., *U. flexuosa* Wulfen, *U. clathrate* (Roth) C. Agardh, *U. linza* L. [2]. Зеленая макроводоросль *U. rigida* весьма привлекательна в плане пищевого применения, богата белком, углеводами, минеральными веществами [1, 3]. Особенности строения, быстрый рост, высокая удельная продукция ульвы привлекают внимание ученых к данному виду как перспективному объекту марикультуры.

Зеленые водоросли культивируют в водах умеренных широт. Закрепленный на веревках посадочный материал водорослей размещают в толще или у поверхности воды [4].

В искусственных условиях культивирование ульвы предусматривает четыре основных этапа:

1 − адаптацию талломов водоросли к искусственным условиям;

2 − выращивание биомассы водорослей;

3 − получение и выращивание проростков в искусственных условиях;

4 − сбор урожая и закладка на хранение.

Водоросли выращивают в строго контролируемых условиях с целью получения биомассы с заданным биохимическим составом. Технология выращивания ульвы не требует дорогостоящего оборудования, обеспечивающего строго определенные условия для роста клеток. Там, где это

возможно по экологическим и климатическим условиям, водоросли выращивают в прибрежных условиях под открытым небом на канатах, сетках или в бассейнах, в моно-, поликультуре и в интегрированной марикультуре (совместно с морскими организмами) (табл. 1) [4, 5]. Важным преимуществом такого производства является использование естественного освещения, что в значительной степени снижает себестоимость конечного продукта. Быстрый рост таллома, большое количество продуцируемых клеток (за исключением ризоидальных клеток и некоторых базальных клеток, все клетки способны стать репродуктивными), высокая удельная продукция делают ульву привлекательным объектом марикультуры [1].

Таблица 1 – Выращивание зеленых водорослей р. Ulva в интегрированной, экстенсивной марикультуре и в эксперименте в аквариумах

Объект исследований	Продукция водорослей или скорость их роста	Источник	Виды в интегрированной марикультуры
В интегрированной марикультуре			
Ulva lactuca L., 1753	94-117 г сырой массы на 1 м^2 в день	[9]	Морское ушко (*Haliotis discus* Reeve, 1846), морскойеж (*Paracentrotus lividus* Lam., 1816) и морской лещ (*Sparus aurata* L, 1758)
U. lactuca	189 г сырой массы на 1 м^2 в день	[10]	Рыба и морское ушко
На сетках в море			
р. Ulva	0,5 до 1 кг сухой массы на 1 м^2 сетки за сезон (2 раза в год)	[11]	–
	0,27 кг/м^2 в год сухой массы (3 урожая)	[4]	–
В аквариумах (высечки)			
Ulva rigida C. Ag.	(5,07 ± 0,25) %, отн. суточный прирост	[12]	Контроль

Для нормальной жизнедеятельности водоросли нуждаются в многофакторном питании, предусматривающем целый ряд макро- и микроэлементов, углекислый газ и световую энергию [6]. Водоросли потребляют

аммонийный, нитритный, нитратный азот и фосфаты, используя их для построения клеток своего тела, выделяют кислород, потребляют углекислый газ [7, 8].

По мере выращивания ульвы и ее проростков среда, в которой растут макроводоросли, приходит к истощению, чтобы пополнить недостаток элементов питания, в среду периодически добавляют минеральные соли. Основой питательной среды для водорослей может служить среда Гольдберга.

Цель исследования – рассмотреть проблему выбора рационального способа выращивания зеленой водоросли *Ulva rigida* C. Ag. в экспериментальных условиях, выявить возможность культивирования штормовых выбросов талломов ульвы и использования для этих целей аппарата Вейса.

Материалы и методы исследования. Объектом исследований служили образцы зеленой водоросли *Ulva rigida* C. Ag. (1823), собранные в осенний период. Заготавливали крупные темно-зеленого цвета талломы, помещая их для перевозки в емкости, заполненные морской водой.

Выращивание ульвы проводили в лабораторных условиях в стеклянных аквариумах с постоянной аэрацией и циркуляцией воды с помощью компрессоров. Периодически, по мере испарения, доливали свежую морскую воду соленостью 16-18 ‰. До начала эксперимента водоросли предварительного выдерживались (в течение одной – трех недель) для адаптации в новых условиях.

Изменение биомассы водоросли в зависимости от условий выращивания изучали по динамике относительных приростов.

Температура воды во всех емкостях была одинаковой и в зависимости от погодных условий изменялась от 18 до 22,6 ºС, средняя – 20,8 ºС. Освещенность в дневные часы варьировала в пределах 560-2500 люкс в осенние и зимние месяцы и 640-3000 люкс – в весенние.

Результаты исследования и их обсуждение. Известно, что скорость роста талломов водоросли зависит от их строения, условий обитания или содержания

и от размеров растений [13]. Талломы растут преимущественно за счет деления клеток специализированных тканей (меристемы), локализация и относительное количество которых в талломе видоспецифичны [14].

«…Теоретически рост таллома с постоянной удельной скоростью можно ожидать лишь в случае, когда относительное количество «делящихся клеток» в талломе и продолжительность их цитокинеза остаются неизменными в выбранный промежуток времени. С высокой вероятностью такие условия реальны для водорослей, у которых рост происходит в результате деления неспециализированных клеток (не образующих меристемы), случайным образом локализованных на поверхности талломов (диффузный рост). Зеленые водоросли р. Ulva целиком удовлетворяют этому требованию и представляют удобный объект для проверки такого предположения» [14].

В последнее десятилетие исследования роста водорослей р. Ulva в основном были ориентированы на изучение динамики процессов роста в различных временных диапазонах и выяснение различных аспектов биохимической регуляции дифференциации ткани и роста клеток, в меньшей степени было уделено внимание анализу влияния минерального и органического питания, температуры, света и солености на скорость роста и репродукцию талломов [14].

Как показано нами ранее [1, 3], в период активного выхода спор рост биомассы ульвы снижается, величина среднесуточных приростов может составлять всего 0,03–0,04 %; за 111 дней наблюдений (эксперимента) относительный прирост биомассы ульвы составил 63,0 %, среднесуточный – 0,43 %. В варианте, в котором выброс спор происходил с меньшей интенсивностью, рост биомассы был более интенсивным. Показано также, что вегетативный рост талломов водоросли идет более активно после завершения интенсивного плодоношения и может контролироваться регулированием условий выращивания.

Исходя из этого, в настоящей работе с целью получения биомассы ульвы

при культивировании в лабораторных условиях, прежде всего, обеспечивали регулируемое естественное освещение, снижая уровень солнечной радиации до оптимального.

В таблице 2 приведены показатели относительного прироста биомассы ульвы при выращивании в лабораторных условиях талломов, заготовленных в прибрежье Керченского пролива во время шторма и водорослей, прикрепленных к субстрату.

Таблица 2 – Относительный прирост биомассы талломов ульвы при выращивании в стеклянных аквариумах

Показатели	Ульва, прикреплённая форма	Ульва из штормовых выбросов
Заготовка талломов: дата, масса, г	15.09.20 41,4	23.09.20 24,0
Снижение массы (%) талломов в течение адаптации (21-23 сут.)	-17	-30
Относительный прирост массы за ноябрь-февраль, %	25	17
Относительный прирост массы за март-июнь, %	38	27
Полученная биомасса, г	69,0	25,0

Ульве, как и многим другим культивируемым макрофитам, после размещения для выращивания требуется некоторое время – около 2-3-х недель для адаптации к новым условиям. В этот период часть талломов или их некоторые участки могут обесцветиться и погибнуть, поэтому часто отмечаются отрицательные приросты.

В течение зимнего выращивания (ноябрь-декабрь) на рост ингибирующее влияние оказывает продолжительность светового дня, в то же время, после его увеличения (январь-февраль) относительные приросты биомассы значительно возрастают. При этом ульва из штормовых выбросов имеет более низкие приросты, чем прикрепленная форма.

Динамика изменения относительных приростов в течение всего периода

выращивания ульвы в аппарате Вейса имеет такую же тенденцию, как и в предыдущем варианте (табл. 2), но рост был более интенсивным (табл. 3). За весенний период выращивания в среднем прирост массы талломов достигал 290 мг/сутки.

Максимальный вегетативный рост водоросли 3,15-3,92 % в сутки отмечен в аппаратах Вейса в мае-июне во время отсутствия интенсивного плодоношения при кратковременном увеличении освещенности в дневные часы до 15-20 тыс. люкс, повышении температуры до 26 °С и солености, достигавшей 30-32 ‰.

Таблица 3 – Относительный прирост биомассы талломов ульвы (штормовые выбросы), подрощенные в аппарате Вейса

Показатели	Номера ёмкостей аппарата Вейса				
	1	2	3	4	5
Заготовка талломов: масса, г (21.10.20)	10,5	10,8	10	6	10,5
Снижение массы (%) талломов в течение адаптации	-15	-12	-14	-10	-16
Относительный прирост массы за ноябрь-февраль, %	20	25	25	21,6	22,8
Относительный прирост массы за март-июнь, %	136,8	167,6	126,4	37,0	141,9
Относительный прирост массы за весь период, %	181,9	234,5	183	66, 7	185,7
Прирост ульвы за март-июнь, мг/сутки	218	290	203	70	222
Полученная биомасса, г	29,6	36,13	28,3	10	30

В летний период при повышении температуры до 29 °С рост биомассы и плодоношение ульвы часто прекращается, может произойти обесцвечивание и деградация талломов или их участков, развитие, так называемой болезни «погибшего урожая» [4]. Относительные приросты ульвы в этот период могут иметь отрицательные значения, особенно после выброса гамет и спор.

По-видимому, лето является самым сложным периодом выращивания ульвы в искусственных условиях. Необходимо соответствующее оборудование

для поддержания оптимальных температурных режимов и параметров среды для роста биомассы водоросли и восстановления репродуктивных циклов.

Поэтому при выполнении настоящей работы в летний период ульву выращивали в хорошо проветриваемом помещении, при естественном температурном режиме и солнечном освещении только с юго-западной стороны, что исключало поражение слоевищ ульвы солнечными лучами в самые жаркие дни, обеспечивая сохранность их темно-зеленого цвета. Плодоношения в течение летнего период не наблюдалось, и после спада высоких температур, в сентябре, эти талломы были использованы для дальнейшего выращивания в аквариумах и аппаратах Вейса (рис. 1). Прирост составил 15 % за два летних месяца.

Рисунок 1 – Подращивание ульвы в аппарате Вейса

Разработанный проект пилотного модуля по выращиванию ульвы позволяет оценить риски и перспективы до начала масштабного исследования. Предварительные испытания являются реальным способом избежать малоэффективное расходование средств. Пилотные модули по сути – это «испытательный полигон», который может служить инструментом определения реакции потенциального потребителя на продукт или услугу. Результаты этого мини-исследования используются для усовершенствования системы обработки

данных или самого продукта.

Для успешной реализации проекта нужно соблюдать баланс трех составляющих – содержания работ, времени, стоимости проекта. Эти составляющие влияют на качество работ и результатов. Руководитель проекта должен непрерывно отслеживать изменения этих составляющих и минимизировать риски.

Общие критерии, которым должны удовлетворять ключевые показатели на всех уровнях управления организации:

- ключевые показатели не могут идти вразрез с заявленными ценностями функционирования организации;

- ключевые показатели на всех уровнях должны быть согласованы между собой. Не может быть такого, что один уровень отвечает за одно, а другой уровень за другое, и их ответственность никак не пересекается;

- на каждом уровне среди ключевых показателей должен присутствовать хотя бы один стратегический, связанный с программой развития бизнеса;

- система поощрения должна быть напрямую завязана на выделенные ключевые показатели;

- ключевые показатели должны носить не только числовой (например, финансовый) характер, но также эмоциональный – качественная оценка.

Для рассматриваемого проекта потребуются дополнительные инвестиции на приобретение оборудования для выращивания ульвы, стоимость которого составит около 147,75 тыс. руб.

В проекте предусматривается также увеличение эксплуатационных затрат – наем на работу дополнительного персонала по обслуживанию нового оборудования, расходы на оплату труда рабочих в год, другие дополнительные ежегодные затраты.

Объем выпуска и реализации новой продукции составит в первый год 558,45 кг, во второй год – 591,3 кг, в третий и последующие годы – 657 кг.

Расчет безубыточного объема производства (аналитически) показал, что он

составляет 396,9 кг (что эквивалентно продукции после четырех циклов выращивания водорослей), что также подтверждает его графическая интерпретация (рис. 2).

Продолжительность жизненного цикла проекта определяется сроком эксплуатации оборудования (емкости для воды, аквариумы, аппарат Вейса, а также насосы) и составляет 5 лет. Амортизация производится равными долями в течение срока службы оборудования.

При расчете налога на прибыль учтены субсидии для вновь организованных предприятий аквакультуры.

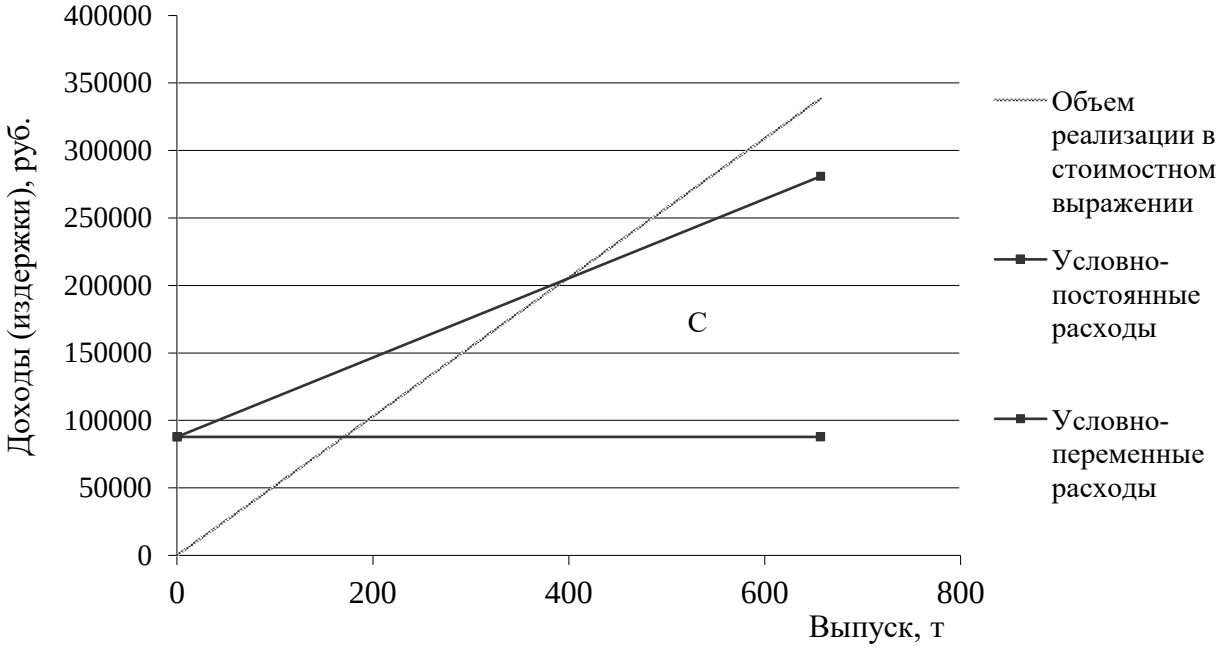


Рисунок 2 – График безубыточности проекта

Прогнозируемый объём спроса на продукцию за год составит 650-700 кг. В соответствии с этим среднее количество ульвы за 1 цикл принято за 108 кг. В расчетах приняты стабильные условия жизни водорослей –60-65 суток.

Расчет безубыточного объема производства (аналитически) показал, что он составляет 396,9 кг (что эквивалентно продукции после четырех циклов выращивания водорослей), что также подтверждает его графическая

интерпретация.

Выводы. В ходе исследований выявлена возможность использования для выращивания в искусственных условиях штормовых выбросов талломов ульвы. Показано, что аппараты Вейса могут использоваться в качестве элемента пилотного модуля по выращиванию ульвы.

Как показывают данные анализа проект пилотного модуля в целом выгоден, финансирование его целесообразно. Общая сумма инвестиций составляет 159750 руб., окупятся они в четвертом периоде (4-й год) реализации проекта. Учитывая, что для данного проекта выбран вариант, отличный от других предложенных решений, а также установлен период завершения, можно утверждать, в том числе оперируя полученными экономическими показателями, что данное уникальное предложенное решение (пилотный модуль) жизнеспособно.

Список использованной литературы:

1. *Битютская О.Е., Булли Л.И., Донченко Л.В.* Исследование биологии и пищевой ценности *Ulva rigida* C. Ag. – перспективного объекта марикультуры // Рыбное хозяйство. 2020. №4. С. 94-100.
2. *Milchakova N. A.* Marine Plants of the Black Sea. An Illustrated Field Guide. Sevastopol: DigitPrint, 2011. 144 p.
3. *Битютская О.Е., Булли Л.И., Мазалова Н.Ф., Семенова А.А.* Получение проростков зеленой водоросли *Ulva rigida* C. Ag. // Вестник КГМТУ. 2021. № 2. С. 8-19.
4. *Титлянов Э.А., Титлянова Т.В.* Морские растения стран Азиатско-Тихоокеанского региона, их использование и культивирование. Владивосток: Дальнаука, 2012. 337 с.
5. *Schneider O., Sereti V., Eding E.H., Verreth J.A.J.* Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems //Aquac. Eng. 2004. Vol. 32. P. 379-401.
6. *Mohsen A.F., Khaleafa A.F., Hashem M.A., Metwalli A.* Effect of some auxins on growth, reproduction, amino acid, fat and sugar contents in Ulva fasciata Delile // Botanica Mar. 1974. Vol. 17. P. 127-139.
7. *Matsui E., Matsui T.* Photosynthesis in several marine plants of Japan as affected by salinity, drying and pH with attention to their growth habitats // Botanica Mar. 1965. Vol. 8. P. 2-4.
8. *Provasoli L., Pinter I.J.* Simbiotic relationships between microorganisms and seaweeds // Amer. J. Bot. 1964. Vol. 51. P. 681.
9. *Schuenhoff A., Mata L., Santos R.* The tetrasporophyte of *Asparagopsis armata* as a novel seaweed biofilter // Aquaculture. 2006. Vol. 252. P. 3-11.
10. *Neori A., Msuya F.E., Shauli L., Schuenhoff A., Kopel F., Shpigel M.* A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture // J. Appl. Phycol. 2003. Vol. 15. P. 543-553.
11. *Ohno M., Critchley A.T.* Cultivation of the green alga, *Monostroma* and *Enteromorpha* ≪Aonori≫ // Seaweed Cultivation and Marine Ranching (Eds.). Kanagawa: International Fisheries Training Center; JICA, 1993. P. 7-17.
12. *Егоров В.Н., Малахова Л.В., Малахова Т.В., Тодоренко Д.А.* Адаптационные

характеристики черноморской зелёной водоросли *Ulva rigida* Ag. При хроническом и импактном воздействии полихлорбифенилов // Научный вестник Ужгородского университета. Серия: Биология. 2012. Выпуск 32. С. 12-18.
13. *Markager S., Sand-Jensen*. Light requirements and depth zonation of marine // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1992. Vol. 88. P. 83-92.
14. *Лелёткин В. А., Дюкарева Е. В., Попова Л. И., Скрипцова А. В.* Изменение массы и размеров талломов морской зеленой водоросли *Ulva fenestrata* при содержании в искусственных условиях // Биология моря. 2004. Т. 30, № 5. С. 393-402.

References:

1. Bityutskaya O.E., Bully L.I., Donchenko L.V. Issledovanie biologii i pishchevoj cennosti *Ulva rigida* C. Ag. – perspektivnogo ob"ekta marikul'tury [Biology and Nutritional Research *Ulva rigida* C. Ag. – a promising object of mariculture]. *Rybnoe hozyajstvo* [Fish Industry], 2020, no 4, pp. 94-100. (In Russian).
2. Milchakova, N. A. Marine Plants of the Black Sea. An Illustrated Field Guide. Sevastopol, DigitPrint Publ., 2011. 144 p. (In English).
3. Bityutskaya O.E., Bulli L.I., Mazalova N.F., Semenova A.A. Poluchenie prorostkov zelenoj vodorosli *Ulva rigida* C. Ag. [Obtaining seedlings of the green alga *Ulva rigida* C. Ag.]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin of KGMTU], 2021, no. 2, pp. 8-19. (In Russian).
4. Titlyanov E.A., Titlyanova T.V. *Morskie rasteniya stran Aziatsko-Tihookeanskogo regiona, ih ispol'zovanie i kul'tivirovanie* [Marine plants of the countries of the Asia-Pacific region, their use and cultivation]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2012, 337 p. (In Russian).
5. Schneider O., Sereti V., Eding E.H., Verreth J.A.J. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquac. Eng.*, 2004, vol. 32, pp. 379-401. (In English).
6. Mohsen A.F., Khaleafa A.F., Hashem M.A., Metwalli A. Effect of some auxins on growth, reproduction, amino acid, fat and sugar contents in Ulva fasciata Delile. *Botanica Mar.*, 1974, vol. 17, pp. 127-139. (In English).
7. Matsui E., Matsui T. Photosynthesis in several marine plants of Japan as affected by salinity, drying and pH with attention to their growth habitats. *Botanica Mar.*, 1965, vol. 8, pp. 2-4. (In English).
8. Provasoli L., Pinter I.J. Simbiotic relationships between microorganisms and seaweeds. *Amer. J. Bot.*, 1964, vol. 51, p. 681. (In English).
9. Schuenhoff A., Mata L., Santos R. The tetrasporophyte of *Asparagopsis armata* as a novel seaweed biofilter. *Aquaculture*, 2006, vol. 252, pp. 3-11. (In English).
10. Neori A., Msuya F.E., Shauli L., Schuenhoff A., Kopel F., Shpigel M. A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture. *J. Appl. Phycol.*, 2003, vol. 15, pp. 543-553. (In English).
11. Ohno M., Critchley A.T. Cultivation of the green alga, *Monostroma* and *Enteromorpha* ≪Aonori≫. Seaweed Cultivation and Marine Ranching (Eds.). Kanagawa, International Fisheries Training Center, JICA, 1993, pp. 7-17. (In English).
12. Egorov V.N., Malakhova L.V., Malakhova T.V., Todorenko D.A. Adaptacionnye harakteristiki chernomorskoj zelyonoj vodorosli *Ulva rigida* Ag. pri hronicheskom i impaktnom vozdejstvii polihlorbifenilov [Adaptive characteristics of the Black Sea green alga *Ulva rigida* C. Ag. with chronic and impact exposure to polychlorinated biphenyls]. *Nauchnyj vestnik Uzhgorodskogo universiteta. Seriya: Biologiya* [Scientific Bulletin of Uzhgorod University. Series: Biology], 2012, issue 32, pp. 12-18. (In Russian).
13. Markager S., Sand-Jensen. Light requirements and depth zonation of marine. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1992, vol. 88, pp. 83-92. (In English).
14. Lelyotkin V. A., Dyukareva E. V., Popova L. I., Skripcova A. V. Izmenenie massy i razmerov tallomov morskoj zelenoj vodorosli *Ulva fenestrata* pri soderzhanii v iskusstvennyh usloviyah // *Biologiya moray*, 2004, T. 30, № 5, pp. 393-402. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Битютская Ольга Евгеньевна	канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой технологии продуктов питания Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 olha98306@yandex.ru
Bityutskaya Ol'ga Evgen'yevna	Ph.D. (Engin.), Associate Professor, Head of the Department of technology food Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 olha98306@yandex.ru
Булли Любовь Ивановна	канд. биол. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 l_bulli@mail.ru
Bulli Lyubov Ivanovna	Ph.D. (Biol.), Associate Professor of the Department of technology food Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 l_bulli@mail.ru
Серёгин Станислав Сергеевич	канд. экон. наук, доцент, начальник отдела обеспечения научно-исследовательской деятельности Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 seregin2@gmail.com
Seregin Stanislav Sergeevich	PhD. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department for ensuring research activities Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 seregin2@gmail.com
Мазалова Наталья Федоровна	канд. наук гос. управ., доцент кафедры технологии продуктов питания Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 mazalovanf@gmail.com
Mazalova Natalia Fedorovna	Ph.D. (Publ. Adm.), Associate Professor of the Department of technology food Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 mazalovanf@gmail.com

УДК 639.373 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_21**

Булли Л.И., Писаревская И.И.

ОБ АНОМАЛИЯХ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КЕФАЛЕЙ (*MUGILIDAE*) АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Аннотация. В работе рассмотрены причины появления у кефалей Азово-Черноморского бассейна дегенеративных изменений в желтковых ооцитах кефалей в преднерестовый период. Выявлены факторы окружающей среды, вызывающие атрезию созревающих половых клеток самок и самцов, ее влияние на трофические запасы яйца, а, следовательно, на жизнеспособность ранних личинок. Показано, что сгонные процессы в Черном море оказывают негативное влияние на динамику нерестового хода кефалей в Керченском проливе и состояние репродуктивной системы, снижается эффективность нереста и популяционная плодовитость. Показано, что ухудшающими условиями на местах нагула и нереста, вызывающими частичную и тотальную резорбцию, являются также заморные явления в Азовском море, повышение температуры выше 24 °С, увеличение мутности, загрязнение акваторий сточными водами и нефтепродуктами и др. Обсуждается вопрос о гермафродизме у кефалей. Предполагается, что факт его проявления, как и дегенеративных изменений половых клеток в популяциях кефалей, нагуливающихся в Азовском море, может служить индикатором состояния среды обитания.
Ключевые слова: кефали, факторы среды, резорбция ооцитов, атретические тела, сгонные процессы, эффективность нереста, гермафродизм рыб.

Bulli L.I., Pisarevskaya I.I.

ABOUT ANOMALIES OF THE REPRODUCTIVE SYSTEM OF MULLETS (MUGILIDAE) OF THE AZOV-BLACK SEA BASIN

Abstract. The paper considers the reasons for the appearance of degenerative changes in the yolk oocytes of mullets in the Azov-Black Sea basin in the pre-spawning period. The environmental factors that cause atresia of maturing sex cells of females and males, its effect on trophic reserves of eggs, and, consequently, on the viability of early larvae, have been identified. It has been shown that sweeping processes in the Black Sea have a negative impact on the dynamics of the spawning run of mullets in the Kerch Strait and the state of the reproductive system; the efficiency of spawning and population fertility decreases. It has been shown that the deteriorating conditions at the feeding and spawning grounds, causing partial and total resorption, are also freezing phenomena in the Sea of Azov, an increase in temperature above 24 ° C, an increase in turbidity, pollution of water areas with sewage and oil products, etc. The issue of hermaphrodism in mullets is discussed. It is assumed that the fact of its manifestation, as well as degenerative changes in germ cells in populations of mullets feeding in the Sea of Azov, can serve as an indicator of the state of the habitat.
Key words: mullet, environmental factors, resorption of oocytes, atretic bodies, hermetic processes, efficiency of spawning, hermaphrodism of fish.

Введение. В Азово-Черноморском бассейне промысел кефалей имеет многовековую историю. Для аборигенных видов Черное море является краем ареала, и поэтому вероятность неблагоприятного воздействия на них внешних условий здесь очень велика. По-видимому, это одна из основных причин резких

колебаний численности теплолюбивых черноморских кефалей [1].

Дальневосточный интродуцент пиленгас оказался более холодоустойчивым, что способствовало более высокому темпу роста и лучшей выживаемости на разных стадиях онтогенеза в районе вселения. Менее чем за 20 лет вид успешно акклиматизировался и достиг промысловой численности.

Однако в последние годы запасы азовского пиленгаса резко снизились. У него, как и у лобана и сингиля, выявляются нарушения в развитии половых желёз в ответ на неблагоприятные факторы среды.

В связи с этим, необходим регулярный мониторинг состояния репродуктивной системы кефалевых рыб, определяющей в основном размеры запаса и пополнения.

Целью настоящей работы являлось исследование особенностей реакции репродуктивной системы кефалевых рыб на ухудшение условий обитания, прежде всего в нерестовый период. В задачи входило изучение аномалий в развитии и созревании половых клеток кефалей, нагуливающихся в Азовском море.

Материалы и методы исследования. Материал для оценки физиологического состояния репродуктивной системы производителей пиленгаса *Planiliza haematocheilus* Temminck & Schlegel, лобана *Mugil cephalus* L. и сингиля *Liza aurata* Risso получали в Керченском проливе в период их нерестового хода в Черное море. Рыб отбирали из уловов и оценивали их состояние. По анализу щуповых проб, взятых прижизненно щупом, определяли стадию зрелости гонад, диаметр ооцитов, наличие дегенеративных изменений. Рыб содержали в проточных бассейнах, зрелую икру получали, используя метод гормонального стимулирования созревания. Часть рыб подвергали полному биологическому анализу, что позволяло выявлять различные нарушения процессов нормального развития гонад.

Результаты исследования и их обсуждение. К настоящему моменту известно значительное количество работ, посвященных нарушениям

репродуктивной системы разных видов рыб, вызванным неблагоприятными факторами среды и антропогенным загрязнением пресноводных и морских водоемов. Показано, что ответные реакции репродуктивной системы рыб на негативные условия многообразны. Наиболее часто они проявляются в виде резорбции ооцитов старшей генерации. Резорбция ооцитов IV стадии зрелости гонад отмечается у самок осетровых (стерляди), карповых, тресковых, кефалей и др. [2-4]. По мнению ряда исследователей резорбция – атрезия развивающихся ооцитов является регуляторным механизмом формирования плодовитости (как индивидуальной, так и популяционной) [5-7]. Некоторые авторы считают этот процесс естественным, и рассматривают скорее как норму, а не как аномалию [8, 9]. Однако, как показали исследования, резорбция ооцитов старшей генерации – IV стадии зрелости гонад самок и самцов имеет более серьезные последствия. Установлено, что при резорбции ооцитов происходят изменения в биохимическом составе яйцеклеток – их усиленное обводнение, распад белков и липидов, изменение фракционного состава липидов [3].

Выявлено также, что у кефалей в первую очередь дегенеративным изменениям подвергаются самые крупные в гонадах желтковые ооциты, близкие к дефинитивным размерам. При гормональной обработке рыб с частичной резорбцией ооцитов созревание уцелевших клеток происходит нормально. Однако сухая масса их зрелого яйца и количество в нем «сухого обезжиренного вещества» достоверно ниже, чем у рыб с одноразмерными исходными желтковыми ооцитами, не имевшими признаков резорбции ($P>0,99$ и $P>0,95$) [10].

Следовательно, резорбция желтковых ооцитов рыб, мигрирующих на нерест, может отразиться не только на популяционной плодовитости вида [10], но и на трофических запасах яйца, а значит и на жизнеспособности ранних личинок. Ранее показано, что количество «сухого обезжиренного вещества» икринки пиленгаса, положительно коррелирует с размером желточного мешка личинок и их выживаемостью до 15-ти суточного возраста [11].

У пиленгаса и лобана, мигрирующих через Керченский пролив, наиболее часто признаки резорбции ооцитов IV стадии зрелости появляются при резких перепадах температуры воды, например, во время сгонных процессов в Черном море.

Основываясь на результатах наблюдений логично предположить, что явления частичной или тотальной атрезии половых клеток могут происходить у лобана и пиленгаса, оказавшихся на местах нереста в Черном море во время сгонных процессов. В Керченском проливе в этот период температура воды падает с 18-22 °С до 12-13 °С (иногда до 9 °С), и ход кефалей прекращается (рис. 1). На рисунке 1 видно, что с 17.05 до 25.05 и с 27.05 до 3.06, когда снижалась температура в проливе, уловов рыбы не было, а в косяках, продолживших миграцию к местам нереста после потепления в течение указанного временного интервала, более 50 % самок имели признаки резорбции ооцитов.

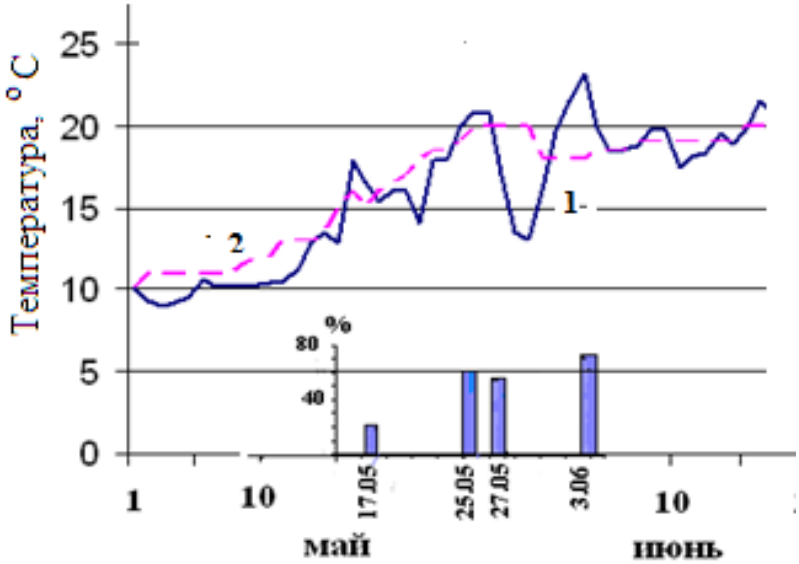


Рисунок 1 – Количество рыб (%) с признаками резорбции ооцитов в период нерестовых миграций пиленгаса; температура:
1 – в Керченском проливе, 2 – в Азовском море

Подобная реакция на снижение температуры с 18-22 °С до 12 °С отмечалась и у рыб, отобранных для работ по воспроизводству. У самцов в таких условиях наблюдалась тотальная резорбция. В то же время, у производителей,

получавших во время действия низкой температуры поддерживающие дозы гормональных препаратов (по 0,5-0,7 мг/кг ацетонированного гипофиза своего вида через 24-48 часов), резорбция в ооцитах не отмечалась.

Ранее нами показано, что нормальное завершение созревания ооцитов кефалей происходит в довольно узком температурномдиапазоне, при 16-23 °С. При повышении температуры воды выше 24 °С нормальное созревание кефалей становится невозможным [10]. При температуре воды выше 24 °С, как правило, отмечаются нарушения и в созревающих ооцитах черноморских кефалей. Содержание в таких условиях самок лобана, отобранных для работ по получению зрелых половых продуктов с помощью гормональных инъекций, уже через двое суток приводит к утрате их способности реагировать на введение гормональных препаратов, а затем – к тотальной резорбции половых клеток [12].

Высокая температура также блокирует не только созревание, но и процесс овуляции у кефалей, в результате оболочки не выметанной зрелой икры после резорбции могут «спрессовываться» и сохраняться в течение ряда лет в гонадах в виде твердых образований, так называемых атретических тел или «веточек резорбции» по А.М. Привалихину и О.Г. Полуэктовой (2002) [13], обнаруживших в икре минтая (рис. 2).

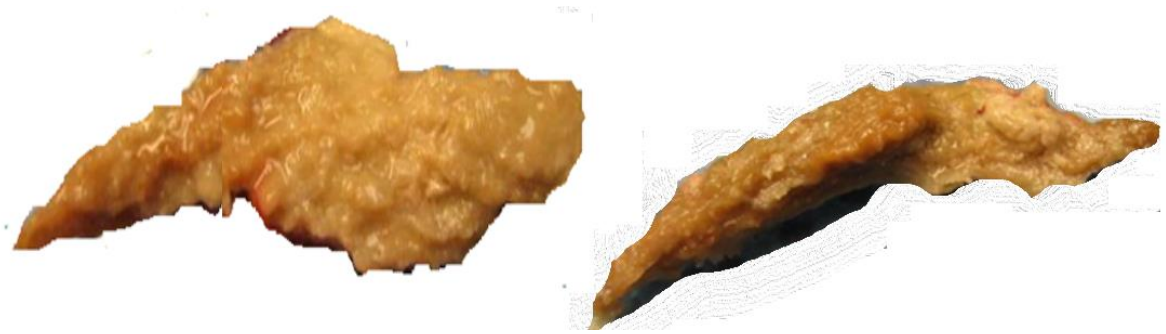


Рисунок 2 – Атретические тела в гонадах самок минтая, появляющиеся в результате резорбции зрелых ооцитов [14]

У кефалей атретические тела представляют собой твердые, воскоподобные структуры разных размеров и часто негативно отражаются на развитии гонад в

последующие нерестовые сезоны. «Пробки» из таких атретических тел, образовавшиеся в каудальной части гонады, затрудняют, или делают невозможным процесс вымета овулировавшей икры кефалей в текущем и в последующих нерестовых сезонах. Иногда в уловах встречаются самки пиленгаса и лобана, у которых одна или обе гонады полностью состоят из спрессованных оболочек зрелых ооцитов прошлых лет, представляя собой монолитную и очень прочную воскоподобную структуру в форме гонады. По-видимому, присутствие таких аномалий репродуктивной системы свидетельствует о том, что кефали Азово-Черноморского бассейна не всегда находят благоприятные условия для нереста в регионе. Иногда в уловах встречаются рыбы с одной железой.

В ходе экспериментальных работ было установлено, что признаки резорбции ооцитов у самок кефалей появляются также при снижении содержания растворенного в воде кислорода, повышении ее мутности, увеличении содержания аммиака, а также при длительной (более 5-7 суток) резервации рыб в нерестовых условиях без гормональных инъекций и не адекватных дозах и схемах вводимых гормональных препаратов.

У осенненерестующей кефали сингиля *Liza aurata* массовый нерестовый ход отмечается, обычно, в конце августа-первой декаде сентября, начинается он после устойчивого снижения температуры в Азовском море до 24 ºС. В этот период большая часть рыб имеет IV стадию зрелости гонад. Но иногда производители сингиля, появляются в Керченском проливе в более ранние сроки – в июле-начале августа. В их гонадах, как правило, присутствуют ооциты с признаками атрезии ооцитов. Такие миграции сингиля совпадают с датами заморных явлений в Азовском море, которые регистрируются в последние годы довольно часто (в разных районах моря в жаркие летние месяцы). Так, в 2017 г. замор в Азовском море наблюдался 3 июля, в 2018 г. – 10 августа. В это же время в Керченском проливе отмечалось до 70 % рыб с разной степенью дегенеративных изменений в ооцитах. Вероятно, кефали способны быстро

покидать неблагоприятные районы нагула, поэтому они никогда не встречаются в выбросах мертвой рыбы после заморов, но некоторая часть их ооцитов может подвергаться резорбции.

По данным сотрудников Керченского отдела филиала ВНИРО АзНИИРХ в последние десятилетия заморы в Азовском море проявляются почти ежегодно [15], с 2001 г. наблюдается расширение их локализации, включая крымское побережье и Арабатский залив. Наиболее сложная ситуация складывается обычно в июле при прогревании акватории моря до 28,5-29,0 °С, низких скоростях ветра, средне выраженной стратификацией вод и аномально низком содержании кислорода в придонном слое.

Ежегодно во время нерестового хода пиленгаса в Керченском проливе отмечается от 10 до 20 % самок с признаками резорбции ооцитов, но иногда достигает 35-40 %.

Как известно, резорбция наступает из-за снижения в крови уровня гонадотропинов, вследствие блокирования и выведения из гипофиза, в том числе действием низких или высоких температур. Это ответная реакция репродуктивной системы рыб на ухудшение условий жизни, которая часто возникает у многих видов также в ответ на антропогенное загрязнение [16, 17]. Таким образом, у кефалей лобана и пиленгаса, мигрирующих через Керченский пролив, наиболее часто признаки резорбции ооцитов IV стадии зрелости появляются при резких перепадах температуры воды, которые происходят во время смены течений в проливе, особенно во время сгонных процессов в Черном море и повышении температуры. Это подтверждается результатами наших экспериментов.

Через Керченский пролив проходят пути нерестовых миграций черноморских кефалей лобана, сингиля и части азовской популяции пиленгаса. Вследствие чрезвычайной изменчивости гидрологических условий Керченского пролива, зависящих от направления течений, частоты и продолжительности действия сгонных ветров, в отдельные годы наблюдается значительная

вариабельность состояния и ряда важнейших рыбоводных характеристик половых клеток мигрирующих кефалей.

В условиях загрязнения морских акваторий сточными водами и нефтепродуктами известны случаи появления гермафродитных особей у видов рыб, для которых характерен гонохоризм, когда особи в течение всей жизни являются либо самками, либо самцами [18]. В тоже время, для многих рыб характерен закономерный гермафродитизм, при котором происходит реверсия пола у рыб, биологический смысл которого заключается в приспособлениях для сохранения вида – увеличения скорости воспроизводства в неблагоприятных условиях.

По мнению Н.Г. Тимошек (устное сообщение), гермафродитные особи у кефалей в Азово-Черноморском бассейне встречаются достаточно редко.

В последние годы были обнаружены две такие особи. В 2017 г. в конце зимнего периода у самки пиленгаса массой 2,3 кг, с краниальной стороны одной из гонад находился участок семенника размером 5 см. Он был белого цвета, соответствующего семеннику рыб с III-IV стадией зрелости гонад и плотно прилегал к тканям яичника, который также имел III-IV стадию зрелости. В 2018 году (20 августа) в Керченском проливе во время нерестового хода была выловлена кефаль сингиль длиной 27,8 см и массой 332 г, у которой одна из гонад представляла собой семенник, плотно соединенный в каудальной части с яичником второй гонады (рис. 3). Обе гонады соответствовали IV стадии зрелости.

Ранее в статье Е.Б. Моисеевой и А.К. Любомудрова [19] было показано, что в семенниках самцов пиленгаса встречаются половые клетки противоположного пола, они были обнаружены у 45,7 % особей. Авторы предполагали, что развитие ооцитов в семенниках останавливается на начальных стадиях периода протоплазматического роста.

Рисунок 2 – Гонады гермафродитной особи кефали сингиля (Керченский пролив)

Однако, у некоторых видов рыб, даже у тех, для которых характерен гонохоризм – раздельнополость, иногда появляются особи с бисексуальными гонадами, как, например, у минтая [20]. По данным многочисленных исследований, гермафродитные особи у видов, для которых характерна раздельнополость, встречаются в основном в популяциях рыб, обитающих в водоемах, загрязненных сточными водами и нефтепродуктами. Загрязнение воды в этих водоемах также часто вызывает массовую тотальную резорбцию ооцитов, которая приводит к пропуску нерестового сезона.

Следовательно, при ухудшении условий обитания у кефалей, в гонадах которых могут присутствовать половые клетки противоположного пола, вероятно, появляется потенциальная возможность факторами среды запускать механизмы репродуктивной системы, стимулирующие развитие женских и мужских гонад и, возможно, процессы реверсии пола.

По-видимому, такие изменения могут происходить у небольшого количества аборигенных черноморских кефалей, поскольку они являются кочевниками, и в отличие от более оседлого интродуцента пиленгаса, постоянно мигрируют на большие расстояния (нерест в Черное море, зимовка у берегов Крыма и Кавказа) и, возможно, меньше подвергаются влиянию неблагоприятных факторов.

Таким образом, при ухудшении условий созревания половых клеток:

повышении температуры воды выше 24 °С, ее резком снижении во время смены течений (особенно при сгонных черноморских явлениях), заморных процессах и др., в желтковых ооцитах кефалей отмечаются дегенеративные изменения. В зависимости от продолжительности действия неблагоприятного фактора дегенеративные изменения могут отмечаться у части клеток, либо приводить к тотальной резорбции, развитию аномалий. В любом случае это существенно отражается на плодовитости самок, качестве зрелых половых продуктов и эффективности нереста. В связи с этим, оценка влияния условий среды на динамику хода и состояние репродуктивной системы пиленгаса в период нерестового хода – очень важна и может иметь большое практическое значение при определении, в частности, урожайности поколений кефалей, нагуливающихся в Азовском море. «Резорбцию необходимо учитывать при определении воспроизводительной способности видов, расчетах нерестового запаса, пополнения и прогнозах динамики численности промысловых видов рыб, так как они служат своеобразными биоиндикаторами состояния популяций и условий их обитания» [21].

Список использованной литературы:

1. *Алеев Ю.Г.* О некоторых закономерностях роста рыб // Вопросы ихтиологии. 1966. Вып. 6. С. 75-95.
2. *Чертихина Е.А., Козовкова Н.А., Мельченков Е.А.* Резорбция зрелых ооцитов у производителей стерляди (*Acipenser ruthenus*) в индустриальных условиях // Материалы III Международной научно-практической конференции “Аквакультура осетровых рыб: достижения и перспективы развития” (Астрахань, 22-25 марта 2004 г.). Астрахань, 2004. С. 214-216.
3. *Залепухин В.В.* Некоторые биохимические изменения при перезревании и резорбции икры пестрого толстолобика [*Aristichthys nobilis* (Rich)] в условиях заводского воспроизводства // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1985. № 2. С. 33-37.
4. *Дудкин С.И., Колесникова Л.В., Ковальчук Л.И.* Физиолого-биохимические особенности формирования репродуктивного потенциала азовского пиленгаса в современный период // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна: Сборник научных трудов АзНИИРХ (1998-1999 гг.). Ростов-на-Дону. 2000. С. 136-145.
5. *Персов Г.М.* Дифференцировка пола у рыб. Л.: ЛГУ. 1975. 148 с.
6. *Моисеева Е.Б., Кухарев Н.Н.* Адаптивное значение резорбции женских половых клеток у индийского псенопса *Psenopsis cyanea* (Alcock.) // Тезисы докладов 8 научной конференции по экологии, физиологии и биохимии рыб (30 сентября – 3 октября 1992 г.). Петрозаводск: Карельский научн. центр РАН, Ин-т биологии, 1992. С. 13-14.
7. *McDermott S.F., Maslenikov K.P., Gunderson D.R.* Annual fecundity, batch fecundity, and oocyte atresia of Atka mackerel (*Pleurogrammus monopterygius*) in Alaskan waters // Fish Bull. 2007. Vol. 105. P. 19-29.

8. *Сакун О.Ф., Свирский В.Г.* Дегенерация ооцитов периода превителлогенеза и вителлогенеза в половом цикле дальневосточной сардины *Sardinops sagax melanosticta* // Вопросы ихтиологии. 1992. Т. 32. № 3. С. 52-58.
9. *Привалихин А.М.* Резорбция развивающихся ооцитов как регуляторный механизм формирования индивидуальной и популяционной плодовитости у минтая *Theragra chalcogramma* (Gadidae) // Вопросы ихтиологии. 2003. Т. 43. № 4. С. 511-520.
10. *Булли Л.И.* Особенности созревания и характеристика икры пиленгаса, мигрирующего через Керченский пролив // Рыбное хозяйство Украины. 2004. № 7 (спец. выпуск по материалам II Международной научно-практической конференции «Морские технологии: проблемы и решения – 2004»). С. 92-97.
11. *Булли Л.И., Мазалова Н.Ф.* Влияние физиолого-биохимических показателей зрелой икры кефалей на эмбриональное и личиночное развитие // Вестник КГМТУ. 2021. № 2. С. 20-31.
12. *Гнатченко Л.Г., Федулина В.Н., Булли Л.И.* Определение оптимальных условий преднерестового содержания черноморского лобана для перевода в нерестовое состояние // Тезисы докладов VIII Научной конференции по экологической физиологии и биохимии рыб. Том I. Петрозаводск, 1992. С. 69-70.
13. *Привалихин А.М., Полуэктова О.Г.* Изучение механизмов резорбции развивающихся ооцитов у минтая *Theragra chalcogramma* (Pallas) // Труды ВНИРО. 2002. Т. 141. С. 247-259.
14. *Жукова К.А.* Гамето- и гонадогенез минтая *Theragra chalcogramma*: дис. … канд. биол. наук: 03.02.06 / Кристина Алексеевна Жукова. М., 2018. 112 с.
15. *Кочергин А.Т., Крискевич Л.В., Боровская Р.В.* Гидрометеорологические условия и их влияние на возникновение заморных явлений в Азовском море в летний период 2013 г. // Труды ЮгНИРО. 2015. Т. 53. С. 29-33.
16. *Шатуновский М.И., Акимова Н.В., Рубан Г.И.* Реакция воспроизводительной системы рыб на антропогенные воздействия // Вопросы ихтиологии. 1996. Т. 36. № 2. С. 229-238.
17. *Овен Л.С.* Специфика развития половых клеток морских рыб в период размножения как показатель типа нереста и реакции на условия среды обитания. М.: ВНИРО, 2004. 188 с.
18. *Никольский Г.В.* Теория динамики стада рыб. М.: Пищевая промышленность. 1974. 448 с.
19. *Моисеева Е.Б., Любомудров А.К.* Морфофункциональная характеристика семенников пиленгаса *Mugil soiuy*, акклиматизированного в Азово-Черноморском бассейне // Вопросы ихтиологии. 1991. Т. 37. № 2. С.231-241.
20. *Привалихин А.М., Жукова К.А., Смирнов А.В., Баланов А.А.* Морфологические и гистологические особенности строения гонад гермафродитных особей минтая *Theragra chalcogramma* (Gadidae) // Вопросы ихтиологии. 2017. Т. 57. № 5. С. 514–520.
21. *Чмилевский Д.А.* Оогенез рыб как чувствительная тест-система при воздействии факторов различной природы // Тезисы докладов V Всесоюзной конференции по раннему онтогенезу рыб (Астрахань, 1-3 окт.1991 г.). 1991. С. 218-219.

References:

1. Aleev Yu.G. O nekotoryh zakonomernostyah rosta ryb [About some patterns of fish growth]. *Voprosy ihtiologii* [Questions of ichthyology], 1966, issue 6, pp. 75-95. (In Russian).
2. Chertykhina E.A., Kozovkova N.A., Melchenkov E.A. Rezorbciya zrelyh oocitov u proizvoditelej sterlyadi (*Acipenser ruthenus*) v industrial'nyh usloviyah [Resorption of mature oocytes from sterlet producers (*Acipenser ruthenus*) in industrial conditions]. *Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Akvakul'tura osetrovyh ryb: dostizheniya i perspektivy razvitiya"* [Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Aquaculture of sturgeon fish: achievements and development prospects" (Astrakhan, March 22-25, 2004)]. Astrahan', 2004, pp. 214-216. (In Russian).
3. Zalepuhin V.V. Nekotorye biohimicheskie izmeneniya pri perezrevanii i rezorbcii ikry pestrogo

tolstolobika [*Aristichthys nobilis* (Rich)] v usloviyah zavodskogo vosproizvodstva [Some biochemical changes during overripe and resorption of caviar of variegated silver carp [*Aristichthys nobilis* (Rich)] in conditions of factory reproduction]. *Nauchnye doklady vysshej shkoly. Biologicheskie nauki* [Scientific reports of the higher School. Biological sciences], 1985, no. 2, pp. 33-37. (In Russian).

4. Dudkin S.I., Kolesnikova L.V., Koval'chuk L.I. Fiziologo-biohimicheskie osobennosti formirovaniya reproduktivnogo potenciala azovskogo pilengasa v sovremennyj period [Physiological and biochemical features of the formation of the reproductive potential of the Azov pilengas in the modern period]. *Sbornik nauchnyh trudov AzNIIRH (1998-1999) «Osnovnye problemy rybnogo hozyajstva i ohrany rybohozyajstvennyh vodoemov Azovo-Chernomorskogo bassejna»* [Collection of scientific papers of the AzNIIRH (1998-1999) “Main problems of fisheries and protection of fishery reservoirs of the Azov-Black Sea basin”]. Rostov-on-Don, 2000, pp. 136-145. (In Russian).
5. Persov G.M. *Differencirovka pola u ryb* [Differentiation of sex in fish]. Leningrad, LGU Publ., 1975, 148 p. (In Russian).
6. Moiseeva E.B., Kuharev N.N. Adaptivnoe znachenie rezorbcii zhenskih polovyh kletok u indijskogo psenopsa *Psenopsis cyanea* (Alcock.) [Adaptive value of female germ cell resorption in the Indian psenops Psenopsis cyanea (Alcock.)]. *Tezisy dokladov 8 nauchnoj konferencii po ekologicheskoj fiziologii i biohimii ryb* [Abstracts of the 8th Scientific Conference on Ecological Physiology and Biochemistry of fish (September 30 – October 3, 1992)]. Petrozavodsk, Karel'skij nauchn. centr RAN, In-t biologii Publ., 1992, pp. 13-14. (In Russian).
7. McDermott S.F., Maslenikov K.P., Gunderson D.R. Annual fecundity, batch fecundity, and oocyte atresia of Atka mackerel (*Pleurogrammus monopterygius*) in Alaskan waters. *Fish Bull*, 2007, vol. 105, pp. 19-29. (In English).
8. Sakun O.F., Svirskij V.G. Degeneraciya oocitov perioda previtellogeneza i vitellogeneza v polovom cikle dal'nevostochnoj sardiny *Sardinops sagax melanosticta* [Degeneration of oocytes of the period of previtellogenesis and vitellogenesis in the sexual cycle of the Far Eastern sardine *Sardinops sagax melanosticta*]. *Voprosy ihtiologii* [Questions of ichthyology], 1992, vol. 32, no. 3, pp. 52-58. (In Russian).
9. Privalihin A.M. Rezorbciya razvivayushchihsya oocitov kak regulyatornyj mekhanizm formirovaniya individual'noj i populyacionnoj plodovitosti u mintaya *Theragra chalcogramma* (Gadidae) [Resorption of developing oocytes as a regulatory mechanism for the formation of individual and population fertility in pollock *Theragra chalcogramma* (Gadidae)]. *Voprosy ihtiologii* [Questions of ichthyology], 2003, vol. 43, no. 4, pp. 511-520. (In Russian).
10. Bulli L.I. Osobennosti sozrevaniya i harakteristika ikry pilengasa, migriruyushchego cherez Kerchenskij proliv [Features of maturation and characteristics of pilengas caviar migrating through the Kerch Strait]. *Rybnoe hozyajstvo Ukrainy* [Fisheries of Ukraine], 2004, no. 7, pp. 92-97. (In Russian).
11. Bulli L.I., Mazalova N.F. Vliyanie fiziologo-biohimicheskih pokazatelej zreloj ikry kefalej na embrional'noe i lichinochnoe razvitie [Influence of physiological and biochemical parameters of mature mullet eggs on embryonic and larval development]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin of KSMTU], 2021, no. 2, pp. 20-31. (In Russian).
12. Gnatchenko L.G., Fedulina V.N., Bulli L.I. Opredelenie optimal'nyh uslovij prednerestovogo soderzhaniya chernomorskogo lobana dlya perevoda v nerestovoe sostoyanie [Determination of optimal conditions for the pre-spawning content of the Black Sea loban for transfer to the spawning state]. *Tezisy dokladov 8 Nauchnoj konferencii po ekologicheskoj fiziologii i biohimii ryb. Tom I* [Abstracts of the 8th Scientific Conference on Ecological Physiology and Biochemistry of fish. Vol. 1]. Petrozavodsk, 1992, pp. 69-70. (In Russian).
13. Privalihin A.M., Poluektova O.G. Izuchenie mekhanizmov rezorbcii razvivayushchihsya oocitov u mintaya *Theragra chalcogramma* (Pallas) [Studying the mechanisms of resorption of developing oocytes in pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas)]. *Trudy VNIRO* [Proceedings of

VNIRO], 2002, vol. 141, pp. 247-259. (In Russian).
14. Zhukova K.A. Gameto- i gonadogenez mintaya *Theragra chalcogramma*. Diss. … kand. biol. nauk [Gameto- and gonadogenesis of pollock *Theragra chalcogramma*. Cand. biol. sci. diss.]. Moscow, 2018, 112 p. (In Russian).
15. Kochergin A.T., Kriskevich L.V., Borovskaya R.V. Gidrometeorologicheskie usloviya i ih vliyanie na vozniknovenie zamornyh yavlenij v Azovskom more v letnij period 2013 g. [Hydrometeorological conditions and their influence on the occurrence of overseas phenomena in the Sea of Azov in the summer of 2013]. *Trudy YUgNIRO* [Proceedings of YugNIRO], 2015, vol. 53, pp. 29-33. (In Russian).
16. Shatunovsky M.I., Akimova N.V., Ruban G.I. Reakciya vosproizvoditel'noj sistemy ryb na antropogennye vozdejstviya [The reaction of the reproductive system of fish to anthropogenic influences]. *Voprosy ihtiologii* [Questions of ichthyology], 1996, vol. 36, no. 2, pp. 229-238. (In Russian).
17. Oven L.S. *Specifika razvitiya polovyh kletok morskih ryb v period razmnozheniya kak pokazatel' tipa neresta i reakcii na usloviya sredy obitaniya* [The specifics of the development of marine fish germ cells during the breeding season as an indicator of the type of spawning and reaction to habitat conditions]. Moscow, VNIRO Publ., 2004, 188 p. (In Russian).
18. Nikol'sky G.V. *Teoriya dinamiki stada ryb* [Theory of fish herd dynamics]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1974, 448 p. (In Russian).
19. Moiseeva E.B., Lyubomudrov A.K. Morfofunkcional'naya harakteristika semennikov pilengasa *Mugil soiuy*, akklimatizirovannogo v Azovo-Chernomorskom bassejne [Morphofunctional characteristics of testes of pilengas *Mugil soiuy* acclimatized in the Azov-Black Sea basin]. *Voprosy ihtiologii* [Questions of ichthyology], 1991, vol. 37, no. 2, pp. 231-241. (In Russian).
20. Privalihin A.M., Zhukova K.A., Smirnov A.V., Balanov A.A. Morfologicheskie i gistologicheskie osobennosti stroeniya gonad germafroditnyh osobej mintaya *Theragra chalcogramma* (Gadidae) [Morphological and histological features of the gonad structure of hermaphrodite pollock Theragra chalcogramma (Gadidae)]. *Voprosy ihtiologii* [Questions of ichthyology], 2017, vol. 57, no. 5, pp. 514-520. (In Russian).
21. Chmilevsky D.A. Oogenez ryb kak chuvstvitel'naya test-sistema pri vozdejstvii faktorov razlichnoj prirody [Fish oogenesis as a sensitive test system under the influence of factors of various nature]. *Tezisy dokladov V Vsesoyuznoj konferencii po rannemu ontogenezu ryb* [Abstracts of the 5th All-Union Conference on Early Fish Ontogenesis (Astrakhan, October 1-3, 1991)], 1991, pp. 218-219. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Булли Любовь Ивановна	канд. биол. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 l_bulli@mail.ru
Bulli Lyubov Ivanovna	Ph.D. (Biol.), Associate Professor of the Department of technology food Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 l_bulli@mail.ru
Писаревская Изобелла Иосифовна	научный сотрудник отдела Азово-Черноморский филиал ФГБНУ ВНИРО 298300, Республика Крым, г. Керчь, ул. Свердлова, 2
Pisarevskaya Isobella Iosifovna	Researcher of the Department The Azov-Black Sea branch of the VNIRO FSBI 298300, Republic of Crimea, Kerch, Sverdlova str., 2

УДК 597.593.4(262.5) **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_34**

Кожурин Е.А., Битютский Д.Г., Губанов Е.П.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ ПИЛЕНГАСА *PLANILIZA HAEMATOCHEILA* (TEMMINCK & SCHLEGEL, 1845) В АЗОВСКОМ МОРЕ

Аннотация. Интродуцированный в Азово-Черноморский бассейн пиленгас *Planiliza haematocheila* (Temminck & Schlegel, 1845) на протяжении длительного времени считается важным промысловым объектом несмотря на то, что по ряду причин естественного и антропогенного характера, начиная с 2009 г., наблюдалось значительное падения его численности. В статье рассматриваются такие биологические характеристики пиленгаса, как размерный, массовый и возрастной составы за период с 2009 по 2019 гг. Рассмотрены особенности размножения пиленгаса, а также такие факторы, как ННН промысел и заиление гирла лиманов, в частности Молочного лимана, повлиявшие на численность пиленгаса и, как следствие, на объемы его промысела. Повышение солёности Азовского моря в связи с уменьшением стоков пресных вод, а также активные работы по расчистке гирла лиманов, должны положительно сказаться на площадь нерестилища и численность пиленгаса в ближайшем будущем.
Ключевые слова: пиленгас, *Planiliza haematocheila*, Азовское море, массовый состав, возраст, нерест.

Kozhurin E.A., Bytyutskyy D.G., Goubanov E.P.

SOME FEATURES OF SO-IUY MULLET *PLANILIZA HAEMATOCHEILA* (TEMMINCK & SCHLEGEL, 1845) BIOLOGY IN AZOV SEA

Abstract. The So-iuy mullet *Planiliza haematocheila* (Temminck & Schlegel, 1845) introduced into the Azov-Black Sea basin has been considered an important fishing object for a long time, however, for a number of natural and anthropogenic reasons, since 2009 there has been a significant decline in the number of So-iuy mullet. This article discusses the biological characteristics, such as size, mass and age compositions of So-iuy mullet in the period from 2009 to 2019. The features of So-iuy mullet reproduction were considered, as well as factors such as IUU fishing and siltation of the girl of estuaries, in particular the Dairy Estuary, which affected the number of So-iuy mullet and, as a consequence, the volume of its fishing. An increase in the salinity of the Sea of Azov due to a decrease in freshwater runoff, as well as active work on clearing the girl of estuaries, should have a positive effect on the spawning area and the number of So-iuy mullet in the near future.
Keywords: So-iuy mullet, *Planiliza haematocheila,* Azov Sea, mass composition, age, spawning.

Введение. За всю историю изучения Азово-Черноморского бассейна (АЧБ) состав биоты и соотношение видов менялись в результате случайного или преднамеренного вселения гидробионтов. Среди всех обнаруженных видов-вселенцев 19 были преднамеренно завезены в Чёрное море как ценные пищевые объекты [1].

Одним из успешных объектов интродукции является пиленгас (*Planiliza haematocheila*) (Temminck & Schlegel, 1845) [2]. Пиленгас, как и многие

представители сем. Mugilidae, характеризуется широкой экологической пластичностью, выраженной в большей степени, чем у других черноморских кефалей. Он может обитать как в опресненных, так и в водах океанической солености, нагуливаться в сильно прогревающихся водах мелководий, заливов, лагун. Благодаря явно выраженным эвритермности и эвригалинности пиленгас достаточно быстро адаптировался в новом ареале. Проведенные исследования показали, что условия обитания пиленгаса в водоемах вселения (температурный и газовый режимы, соленость, кормовая база) благоприятны для его летнего нагула, зимовки и созревания.

Интродуцированный в АЧБ дальневосточный пиленгас прекрасно прижился в новых условиях, став массовым видом промысловых рыб. Более высокая потенция роста пиленгаса, вероятно, обусловлена более ранним созреванием рыб в новых условиях, чем в нативном ареале.

В 80-х гг. пиленгас стал самовоспроизводящейся популяцией, а в начале 90-х был включён в Реестр промысловых рыб Азово-Черноморского бассейна. Пиленгас относительно быстро перешел в разряд промысловых рыб, особенно на фоне уничтожения осетровых рыб, катастрофического уменьшения численности судака и других частиковых рыб [3-5].

С момента начала промысла как Россией, так и Украиной, улов пиленгаса систематически возрастал (рис. 1). Большая часть всех уловов пиленгаса приходилась на Азовское море. Суммарный вылов пиленгаса двумя странами за весь период превышал 100 тыс. т. Чрезмерный уровень эксплуатации азовского запаса пиленгаса был отмечен в период 2004-2011 гг. Относительно высокие уловы пиленгаса держались до 2009 г., хотя и отмечалась тенденция к их снижению. В последние годы в силу ряда причин естественного и антропогенного характера в АЧБ наблюдается падение численности пиленгаса [5, 6]. Одним из важных факторов, повлиявших на численность пиленгаса, является нерегулируемый, неучтенный и незаконный (ННН) промысел, подтверждаемый обилием этой рыбы на рынках – фактический вылов значительно превышал зарегистрированный.

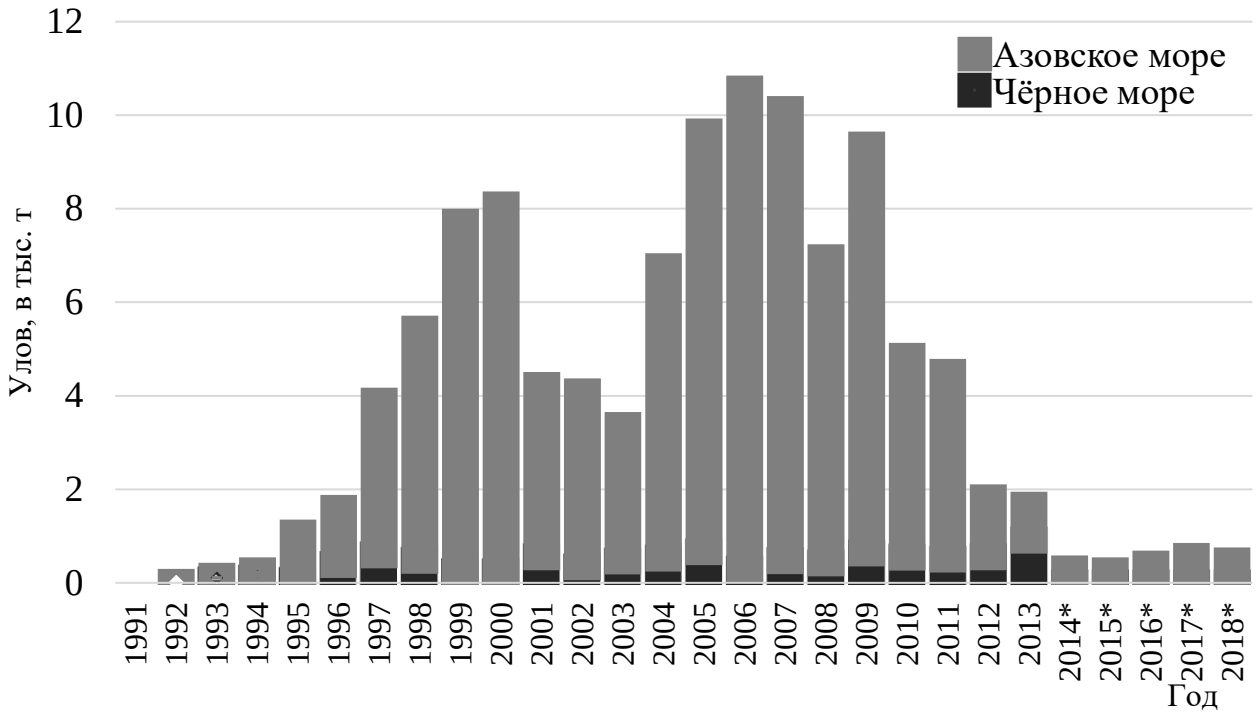


Рисунок 1 – Динамика российских и украинских уловов пиленгаса в Азовском и Чёрном море (с 2014 г. – только Российской Федерации)
(данные Азово-Черноморского территориального управления Росрыболовства)

Целью исследования является обобщение материалов по биологической характеристике пиленгаса, а также обсуждение потенциальных причин падения численности и медленного восстановления запасов пиленгаса в Азовском море.

Материалы и методы исследования. В работе представлены ихтиологические наблюдения, выполненные в Азовском море в период 2009-2019 гг. Лов рыбы осуществлялся жаберными сетями с ячеей 30-60 мм. В работе руководствовались стандартными методиками ихтиологических исследований [7]. У всей пойманной рыбы измерялась промысловая длина (от конца рыла до конца чешуйного покрова). Все особи взвешивались на весах с точностью до 0,01 кг.

Возраст рыб вплоть до 2014 г. определялся по спилам колючки спинного плавника, начиная с 2014 г. возраст определяли по чешуе. Для исследования с каждой рыбы брали по 5 чешуй с центральной части [8].

Результаты исследования и их обсуждение. Показатели,

характеризующие биологический состав уловов пиленгаса в Азовском море, представлены в таблице 1. Промысловая длина пиленгаса колебалась в диапазоне от 16 до 76 см (рис. 2). Масса пиленгаса изменялась в пределах от 0,06 кг для самой мелкой особи до 5,8 кг для самой крупной (рис. 3). Основная часть изученного пиленгаса приходилась на диапазон длин – 24-44 см.

Таблица 1 – Показатели, характеризующие биологический состав уловов пиленгаса в Азовском море

Год	Количество, экз.	Диапазон длины, см	Средняя длина, см	Средняя масса, кг
2009	9828	22-70	44,7	1,57
2010	6887	24-70	44,4	1,60
2011	673	34-70	45,6	1,85
2012	424	34-72	50,4	2,04
2013	111	16-68	43,8	1,41
2014	147	16-68	44,9	1,72
2015	121	22-66	42,8	1,22
2016	190	16-66	28,8	0,46
2017	234	22-76	47,7	1,73
2018	440	22-64	42,3	1,07
2019	860	22-54	31,9	0,54

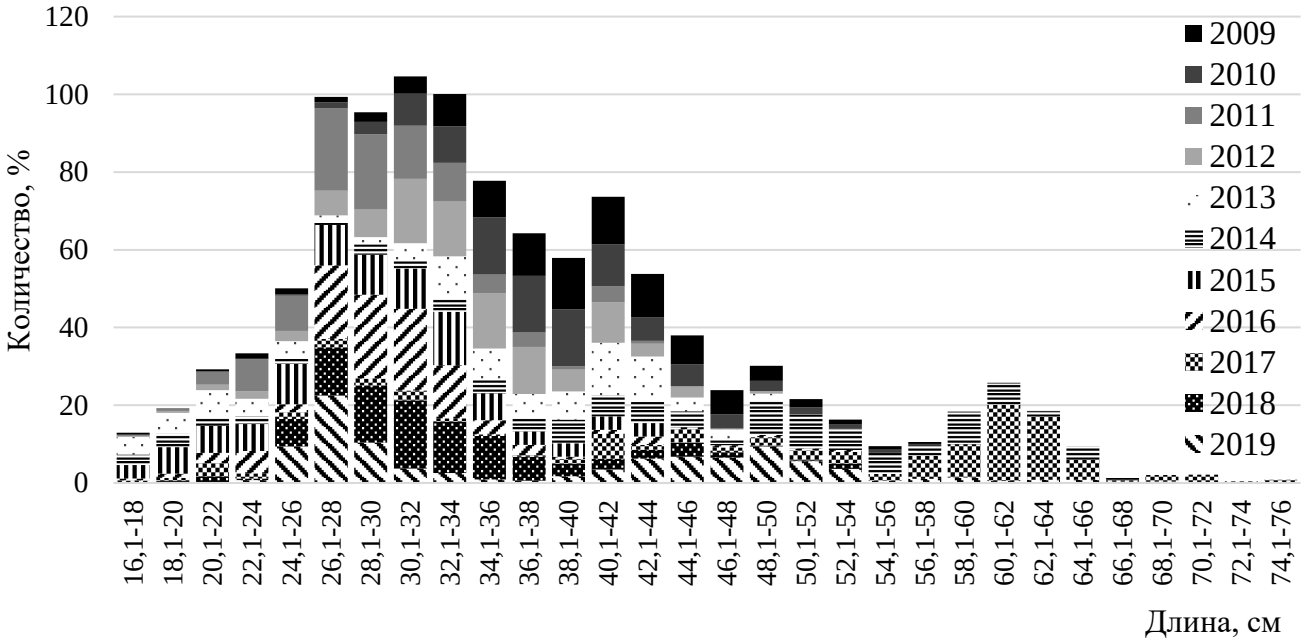


Рисунок 2 – Размерный состав пиленгаса из промысловых уловов в период 2009-2019 гг.

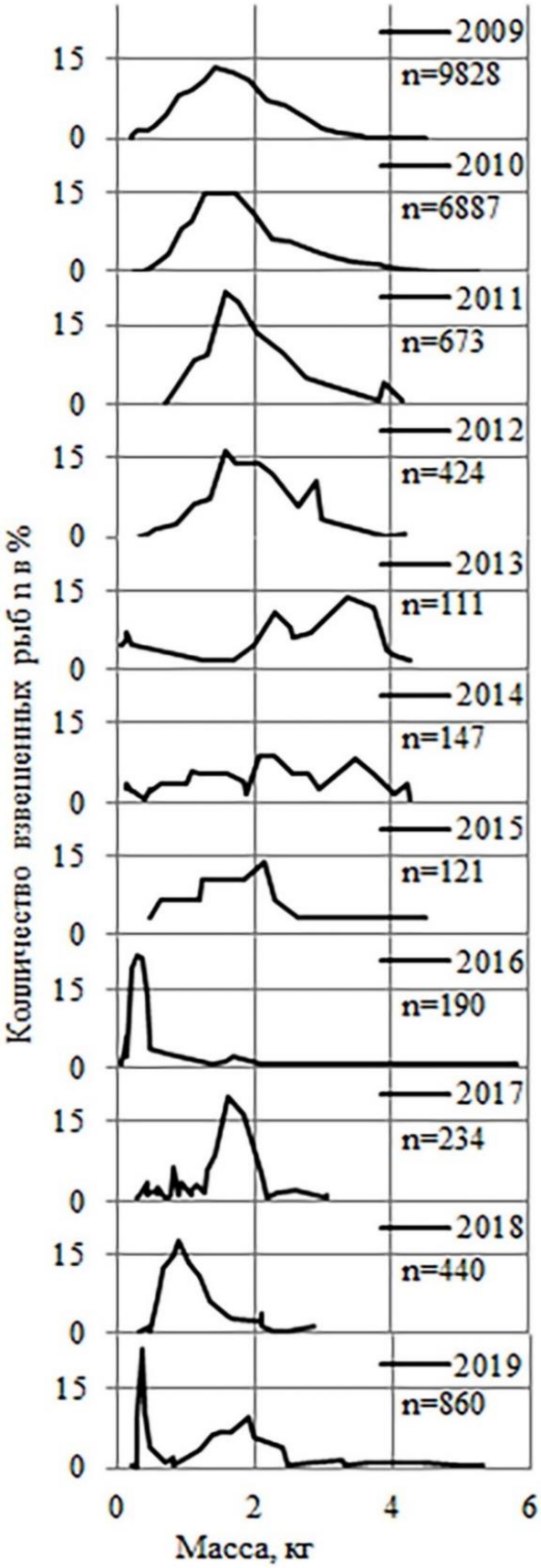


Рисунок 3 – Массовый состав пиленгаса в период 2009–2019 гг. в Азовском море из промысловых уловов

Возраст рыб изменялся от 1 до 10 лет, однако в связи с особенностями отдельных орудий лова, а также малочисленностью рыб определенного возраста, рыбы, начиная от 7 лет, были объединены в одну группу 7+. Преобладающими были возрастные группы от 2 до 4 лет (рис. 4).

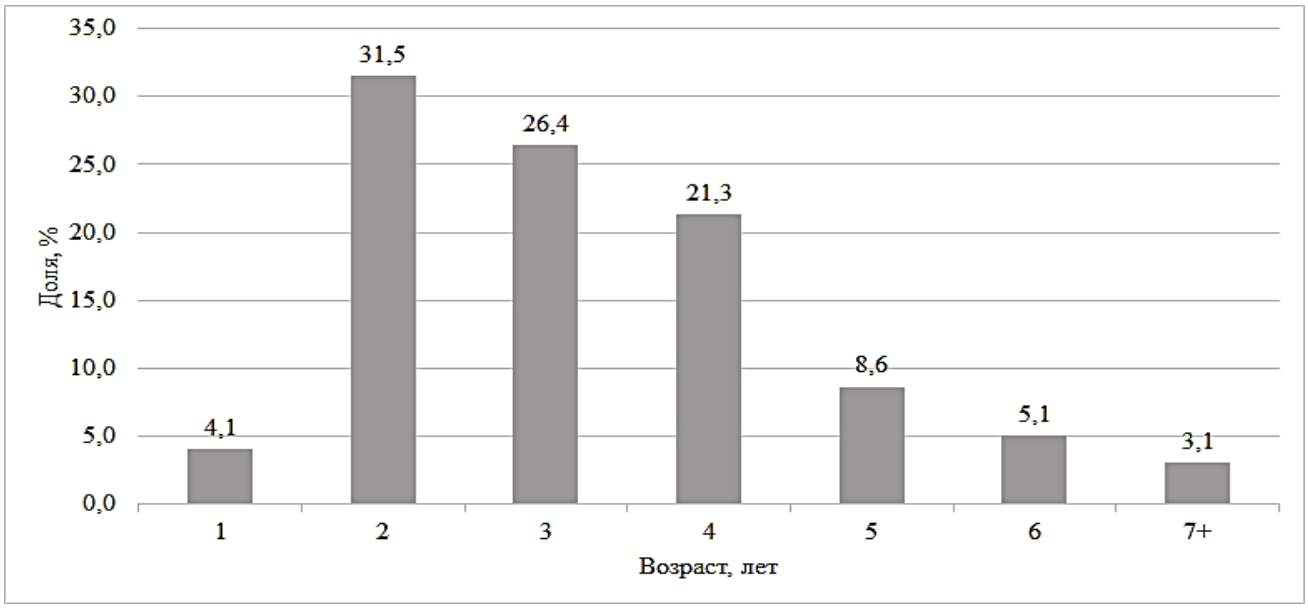


Рисунок 4 – Возрастной состав пиленгаса в Азовском море 2009–2019 гг.

Размеры пиленгаса, поступающего на Керченский рынок и пойманного в Азовском море в январе-феврале 2019 г., колебались от 25 до 75 см, масса – от 0,23 до 5,33 кг, в то же время длина пиленгаса из конфискованных уловов в Азовском море варьировала от 22 до 54 см, масса – от 0,23 до 2,15 кг. Следует отметить, что в изъятых браконьерских уловах чаще всего встречаются более мелкие особи пиленгаса (средняя длина 31,9 см), а средний возраст конфискованных рыб составляет 2–3 года. Большинство особей пиленгаса, как в конфискованных уловах, так и на рынке Керчи, составляли рыбы длинной от 26,1 до 32 см – 73,2 и 50,9 % соответственно. Пиленгас, обнаруженный в конфискованных уловах, массой до 1 кг составлял 89 %, от 1 до 2 кг – 9,3 %, от 2 кг и более – 1,6 %. При этом пиленгас на Керченском рынке массой до 1 кг составлял 62,8 %, от 1 до 2 кг – 26 %, от 2 до 3 кг – 4,7 %, более 3 кг – 6,4 % (рис. 5).

Рисунок 5 – Размерно-массовый состав пиленгаса из конфискованного улова и на рынке Керчи в январе-феврале 2019 г.

Пиленгас, как и многие представители сем. Mugilidae, характеризуется широкой экологической пластичностью, но выраженной в большей степени, чем у других черноморских кефалей. Он может обитать как в опресненных, так и в водах океанической солености, нагуливаться в сильно прогревающихся водах мелководий, заливов, лагун.

Пиленгас способен размножаться в лагунах и эстуариях, а также в прибрежной зоне моря. В период нерестовой миграции в уловах преобладают крупные самки и самцы; обычно мигрируют только половозрелые особи. Нерестовая миграция пиленгаса через Керченский пролив проходит с конца апреля до конца июня. Интенсификация хода на нерест азовской популяции в Чёрное море происходит при повышении температуры воды с 9 до 13-15 °С.

Эффективный нерест пиленгаса непосредственно в Азовском море может происходить при температуре не выше 24 °С. У рыб, созревающих при более

высокой температуре, отмечается нарушения оогенеза и процесса овуляции половых клеток. При снижении температуры воды в Керченском проливе до 9-12 °С нерестовый ход прекращается; у рыб, попавших в зону низких температур, отмечается резорбция половых клеток, а эмбрионы и личинки впадают в анабиоз.

Сроки нереста и разреженность хода производителей пиленгаса во многом объясняются растянутостью их созревания.

Лучшими нерестилищами пиленгаса считаются солоноватоводные акватории. Миграции зрелых рыб через Керченский пролив в Чёрное море только подтверждают стремление рыб на нерест в районы с более высокой соленостью.

Одной из причин снижения численности пиленгаса является отсутствие потомства у отнерестившихся самок. Нахождение икры пиленгаса в уловах икорных сетей по всему Азовскому морю и даже Таганрогскому заливу ещё не свидетельствует об обширной площади, пригодной для его размножения. Нерест пиленгаса может произойти и в распресненных участках акватории, однако нет данных о завершении метаморфоза на этих участках. Если бы выметываемая икра прошла дальнейшее нормальное развитие, то при существующей кормовой базе в итоге должна многократно возрасти численность пиленгаса. Объяснение этого феномена состоит в недостаточно высокой выживаемости личинок в морской воде с соленостью ниже 13 ‰, которая была в Азовском море в эти годы. Экспериментально было доказано, что икринки пиленгаса в воде с недостаточной соленостью (12–13 ‰) залегают на дно и, не получая дальнейшего развития, гибнут от дефицита кислорода, крайне редко появляются уродцы. Редкое исключение составляют мелкие икринки, сохраняющие плавучесть [9]. Оптимальной для развития икринок является соленость воды 17–18 ‰ [10].

Уменьшение вертикальной термохалинной устойчивости вод (ВТХУВ) после 2016 г. отмечается по всем районам Азовского моря, т.е. воды стали более солёными, что является результатом уменьшения стоков пресных вод, главным

образом из Дона и Кубани, и мощным поступлением в Азовское море черноморских вод [11]. В 2012-2019 гг. в южной прибрежной части крымского побережья Азовского моря, также отмечались отдельные случаи высоких показателей солёности – до 18,0-18,5 ‰. Небольшой, но устойчивый рост самовозобновляемой популяции с 2016 г., по-видимому, связан с ежегодным повышением солености, достигшей в 2019 г. 14,72 ‰. Осолонение Азовского моря положительно влияет на нерест пиленгаса, развитие икры, личинок и молоди рыб в отдельных районах Азовского моря.

Среди нерестилищ в Азовском море особое внимание уделяется Молочному лиману, где происходит не только нерест пиленгаса, но и развитие его личинок [12]. Штормовые ветры в Азовском море привели к заиливанию гирла лимана, что заблокировало возможность захода туда пиленгаса на нерест. Начиная с 2009 г. Молочный лиман, игравший ведущую роль в воспроизводстве пиленгаса, перестал быть одним из ключевых нерестилищ пиленгаса. Морское воспроизводство азовской популяции пиленгаса после прекращения его размножения в Молочном лимане не смогло остановить устойчивого снижения его численности до 2015-2016 гг. Однако расчистка промоины (гирла), соединяющей лиман с морем, выполненная зимой 2019–2020 г., позволяет рассчитывать на увеличение численности этой промысловой рыбы в дальнейшем. Следует отметить, что помимо расчистки, гирла также нуждаются в эффективной рыбоохране, которая должна обеспечивать свободный проход рыб на нерест.

Выводы. Возможными причинами снижения уловов пиленгаса, кроме естественной флуктуации, являлось отсутствие доступа к районам с оптимальной соленостью. Текущее сохранение тенденции повышения солёности Азовского моря в ближайшие годы должно положительно повлиять на выживаемость пиленгаса и, в итоге, дать прирост его численности. Безусловно, расчистка промоины (гирла) Молочного лимана не только значительно улучшит условия воспроизводства пиленгаса, но и окажет влияние на рост и сохранение

его численности.

Однако грядущее осолонение ареала Азовского моря, влекущее за собой увеличение нерестовых площадей, при существующей кормовой базе, может дать рост численности пиленгаса, не сопоставимый с существующим.

Несмотря на колебания численности, пиленгас остается привлекательным объектом промысла стран Причерноморья, как среди кефалей, так и среди других промысловых рыб.

Список использованной литературы:

1. *Болтачев А.Р., Карпова Е.П.* Морские рыбы Крымского полуострова. 2-е изд. Симферополь: Бизнес-Информ, 2017. 376 с.
2. *Froese R., Pauly D.* (eds.). FishBase. *Planiliza haematocheila* (Temminck & Schlegel, 1845). World Register of Marine Species. URL: http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1043603 (дата обращения: 20.12.2021).
3. *Изергин Л.В., Губанов Е.П., Гетманенко В.А., Солод Р.А.* Пиленгас Азовского моря: зарождение, расцвет, упадок // Рыбное хозяйство Украины. 2013. № 5. С. 16-21.
4. *Балыкин П.А., Старцев П.А.* Некоторые особенности биологии пиленгаса в Таганрогском заливе // Труды ВНИРО. 2017. Т. 166. С. 72-80.
5. *Кожурин Е.А.* Пиленгас: акклиматизация, биологический взрыв, депрессия и перспективы промысла // Рыбное хозяйство. 2018. № 1. С. 92-94.
6. *Кожурин Е.А*., *Губанов Е.П., Панов Б.Н.* Экологическое состояние Азово-Черноморского бассейна. Симферополь: ИТ «Ариал», 2019. С. 56-62.
7. *Правдин И.Ф.* Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
8. *Матишов Г.Г., Пряхин Ю.В.* Исследование возраста и структуры популяции пиленгаса в Азовском море // Доклады РАН. 2009. Т. 424. № 6. С. 843-845.
9. *Bulli L.I., Kulikova N.I.* Adaptive capacity of larvae of the haarder *Liza haematocheila* (Mugilidae, Mugiliformes) under decreasing salinity of the environment // Journal of Ichthyology. 2006. Vol. 46. No. 7. P. 525-535.
10. *Куликова Н.И., Булли А.Ф., Гнатченко Л.Г., Писаревская Н.Н., Федулина В.Н., Булли Л.И.* Физиологическое состояние производителей пиленгаса в период миграций через Керченский пролив в Чёрное море // Труды ЮгНИРО. 1996. Т. 42. С. 210-216.
11. *Кочергин А.Т., Жукова С.В., Малыгин Е.Ю.* Межгодовая изменчивость солёности и вертикальной термохалинной устойчивости в различных районах Азовского моря в летний период 1992-2016 гг. // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 11 (31). С. 63-68.
12. *Чесалина Т.Л., Чесалин М.В.* Особенности нереста, распределения икры и предличинок пиленгаса (*Mugilso-iuy* Basileusky) в Молочном лимане (Азовское море) весной 1999 г. // Экология моря. 2001. Вып. 58. С. 60-63.

References:

1. Boltachev A.R., Karpova E.P. *Morskiye ryby Krymskogo poluostrova* [Marine fish of the Crimean Peninsula]. 2nd ed. Simferopol, Biznes-Inform Publ., 2017, 376 p. (In Russian).
2. Froese R., Pauly, D. (eds.) FishBase. *Planiliza haematocheila* (Temminck & Schlegel, 1845). World Register of Marine Species. (In English). Available at:

http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1043603 (accessed 20.12.2021).
3. Izergin P.V., Gubanov E.P., Getmanenko V.A., Solod R.A. Pilengas Azovskogo morya: zarozhdeniye, rastsvet, upadok [Pilengas of the Sea of Azov: origin, flourishing, decline]. *Rybnoye khozyaystvo Ukrainy* [Fisheries of Ukraine], 2013, no. 5, pp. 16-21. (In Russian).
4. Balykin P.A., Startsev P.A. Nekotoryye osobennosti biologii pilengasa v Taganrogskom zalive [Some features of pilengas biology in the Taganrog Bay]. *Trudy VNIRO* [Proceedings of VNIRO], 2017, vol. 166, pp. 72-80. (In Russian).
5. Kozhurin E.A. Pilengas: akklimatizatsiya, biologicheskiy vzryv, depressiya i perspektivy promysla [Pilengas: acclimatization, biological explosion, depression and prospects of fishing]. *Rybnoe hozyajstvo* [Fisheries], 2018, no. 1, pp. 92-94. (In Russian).
6. Kozhurin E.A., Gubanov E.P., Panov B.N. *Ekologicheskoye sostoyaniye Azovo-Chernomorskogo basseyna* [Ecological state of the Azov-Black Sea basin]. Simferopol, IT “Arial” Publ., 2019, pp. 56-62. (In Russian).
7. Pravdin I.F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* [Guide to the study of fish (mainly freshwater)]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost Publ., 1966, 376 p. (In Russian).
8. Matishov G.G., Pryakhin Yu.V. Issledovaniye vozrasta i struktury populyatsii pilengasa v Azovskom more [Study of the age and structure of the pilengas population in the Sea of Azov]. *Doklady RAN* [Reports of the Russian Academy of Sciences], 2009, vol. 424, no. 6, pp. 843-845. (In Russian).
9. Bulli L.I., Kulikova N.I. Adaptive capacity of larvae of the haarder *Liza haematocheila* (Mugilidae. Mugiliformes) under decreasing salinity of the environment. *Journal of Ichthyology*, 2006, vol. 46, no. 7, pp. 525-535. (In English).
10. Kulikova N.I., Bulli A.F., Gnatchenko L.G., Pisarevskaya N.N., Fedulina V.N., Bulli L.I. Fiziologicheskoye sostoyaniye proizvoditeley pilengasa v period migratsiy cherez Kerchenskiy proliv v Chernoye more [Physiological state of pilengas producers during migrations through the Kerch Strait to the Black Sea]. *Trudy YugNIRO* [Proceedings of YugNIRO], 1996, vol. 42, pp. 210-216. (In Russian).
11. Kochergin A.T., Zhukova S.V., Malygin E.Yu. Mezhgodovaya izmenchivost solenosti i vertikalnoy termokhalinnoy ustoychivosti v razlichnykh rayonakh Azovskogo morya v letniy period 1992-2016 gg. [Interannual variability of salinity and vertical thermohaline stability in various areas of the Sea of Azov in the summer period 1992-2016]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy* [Environmental control systems], 2018, no. 11 (31), pp. 63-68. (In Russian).
12. Chesalina T.L., Chesalin M.V. Osobennosti neresta. raspredeleniya ikry i predlichinok pilengasa (Mugilso-iuy Basileusky) v Molochnom limane (Azovskoye more) vesnoy 1999 g. [Features of spawning, distribution of caviar and pre-larvae of pilengas (*Mugil soiuy* Basilewsky) in the Milk estuary (Sea of Azov) in the spring of 1999]. *Ekologiya morya* [Ecology of the sea], 2001, vol. 58, pp. 60-63. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Кожурин Ефим Алексеевич	Директор Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21В kozhurin_e_a@azniirkh.ru
Kozhurin Ephim Alekseevich	Director of Azov-Black Sea branch «VNIRO» («AzNIIRKH»), 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21B kozhurin_e_a@azniirkh.ru
Битютский Дмитрий Геннадьевич	канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник сектора Мирового океана Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»)

	344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21В bityutsky_d_g@azniirkh.ru
Bytyutskyy Dmytry Gennadyevich	Ph.D. (Biol.), Leading researcher of World Ocean branch Azov-Black Sea branch «VNIRO» («AzNIIRKH») 344002, Rostov-on-Don, Beregovaya str., 21B; bityutsky_d_g@azniirkh.ru
Губанов **Евгений Павлович**	д-р биол. наук, главный научный сотрудник сектора Мирового океана Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») 344002, г. Ростов-на-Дону, Береговая, 21В egoubanov@yandex.ru
Goubanov Evgeny Pavlovich	Dr. Sci. (Biol.), Main researcher of World Ocean branch Azov-Black Sea branch «VNIRO» («AzNIIRKH») 344002, Rostov-on-Don, Beregovaja str., 21B egoubanov@yandex.ru

УДК 591.524.11.574.47(262.5) **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_46**

Козлова Г.В., Гордиенко Н.А.

ВЛИЯНИЕ ХЛОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ГЛИКОГЕНА В МИДИЯХ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Аннотация. В статье рассматривается влияние хлорорганических соединений на жизнедеятельность моллюсков, а именно, на скорость дыхания, фильтрации и содержание в их тканях гликогена. Показано, что с возрастанием концентрации токсикантов происходит снижение физиологических функций и выживаемости, что, соответственно, влияет на функционирование популяций моллюсков и экосистем в целом. Характер изменения содержания гликогена под действием ДДТ в мидиях в значительной степени определяется уровнем растворенного в воде кислорода. Скорость снижения концентрации кислорода в воде пропорциональна содержанию в ней ДДТ. Был проведен анализ скорости накопления хлорорганических соединений в тканях мидий, взятых в различные сезоны года из районов Керченского пролива с разной концентрацией в воде этих токсикантов. Оценена зависимость содержания хлорорганического соединения в теле моллюсков от концентрации данного токсиканта в морской воде.
Ключевые слова: антропогенное воздействие, техногенное загрязнение, бентосное сообщество, токсиканты, моллюски, хлорорганические соединения.

Kozlova G.V., Gordienko N.A.

INFLUENCE OF ORGANOCHLORINE COMPOUNDS ON RESPIRATORY INTENSITY AND GLYCOGEN CONTENT IN MUSSELS IN THE KERCH STRAIGHT

Abstract. The article examines the effect of organochlorine compounds on the vital activity of mollusks, namely, on the rate of respiration, filtration and the content of glycogen in their tissues. It is shown that with an increase in the concentration of toxicants, physiological functions and survival decrease, which, accordingly, affects the functioning of shellfish populations and ecosystems as a whole. The nature of changes in the glycogen content under the action of DDT in mussels is largely determined by the level of oxygen dissolved in water. The rate of decrease in oxygen concentration in water is proportional to the content of DDT in it. The analysis of the rate of accumulation of organochlorine compounds in the tissues of mussels taken in different seasons of the year from the areas of the Kerch Strait with different concentrations of these toxicants in the water was carried out. The dependence of the content of organochlorine compounds in the body of mollusks on the concentration of this toxicant in seawater is estimated.
Keywords: anthropogenic impact, technogenic pollution, benthic community, toxicants, molluscs, organochlorine compounds.

Введение. В последние десятилетия заметно усилилось антропогенное воздействие на морские экосистемы. Различные по происхождению и свойствам вещества, попадают и в них, создавая ситуации локального, регионального или глобального загрязнения, нарушая нормальный ход биологических процессов в морских экосистемах. Поэтому загрязнение морей, океанов и их биологических

ресурсов является одной из острейших экологических проблем современности [1].

В состав Азово-Черноморского водного бассейна входит Керченский пролив. Являясь экологическим коридором, связывающим разные по характеристикам экосистемы Азовского и Черного морей, он имеет важное значение. Керченский пролив является миграционным путем промысловых рыб из Черного моря в Азовское и обратно, а также местом нагула молоди ряда других ценных видов рыб, для которых бентос является основой их пищи. В связи с чем особую актуальность приобретает задача изучения изменений структуры донных сообществ в Керченском проливе в условиях интенсивного антропогенного воздействия. Экологическая роль бентоса состоит в том, что он является одним из важнейших звеньев трансформации вещества и энергии в морских экосистемах.

Среди бентосных животных важнейшее значение для устойчивого гомеостаза экосистемы имеют двустворчатые моллюски, являясь биофильтраторами морской воды. Благодаря выполняемой ими непрерывной фильтрации происходит снижение концентрации взвешенных частиц в воде. В Азово-Черноморском бассейне, где наиболее сильно развиты сообщества двустворчатых моллюсков, несомненна их роль и в образовании и структуре грунтов. При этом скорость образования осадков из раковин моллюсков значительно выше, чем геологическое осадконакопление [1, 2].

Донные сообщества Керченского пролива наиболее полно изучались в 60-х гг. прошлого столетия при довольно незначительном техногенном прессе. Но, вместе с тем, эти работы позволили сформировать представление о характере распределения и концентрации зообентоса. Была подробно описана структура биоценозов, приведены списки видов и указаны доминирующие формы.

Многие виды донных организмов имеют промысловое значение, а большинство видов играет определяющую роль в питании рыб-бентофагов, таких как осетр, бычки, барабуля и другие [2, 3].

С середины 70-х гг. XX века и до настоящего времени антропогенное влияние на Керченский пролив и предпроливье резко возросло. Усилился сброс в воду ряда токсических соединений (нефтепродуктов, солей тяжелых металлов, хлорорганических веществ, синтетических поверхностно активных веществ). В результате этого на исследуемой акватории начинает наблюдаться эвтрофирование вод, которое в свою очередь вызывает периодический дефицит кислорода в морской воде.

К группе наиболее опасных загрязнителей морской среды, имеющих исключительно антропогенное происхождение, относятся хлорорганические пестициды [3]. Один из них – ДДТ – в XX веке широко применялся в сельском хозяйстве в качестве инсектицида. Считается что водные экосистемы можно считать аккумулятором наиболее стойких пестицидов. А такие пестициды, как ДДТ, обладают высокой устойчивостью к биодеградации и биотрансформации. Если процесс концентрирования хлорпроизводных углеводородов повторяется на нескольких уровнях трофических цепей, то в конце цепей содержание токсикантов может оказаться очень высоким.

Известно, что хлорорганические соединения оказывают на живые организмы отрицательное воздействие. Накапливаясь в тканях и органах морских живых существ, наряду с непосредственным токсическим действием, они оказывают и опасное отдаленное воздействие, такое как мутагенное. Таким образом, токсиканты, воздействуя на геном, могут изменить структурно-функциональную структуру популяции бентосных организмов. Указанное изменение генофонда популяций видов может явиться впоследствии причиной их исчезновения.

Гидробионты, в частности, моллюски, извлекают хлорорганические соединения из воды. При загрязнении воды токсикантами все физиолого-биохимические процессы зачастую протекают по-новому, что определённым образом изменяет не только генетические процессы и формирование структурно-функциональных особенностей популяций животных, но и межвидовые

взаимосвязи в гидробиоценозах.

Аккумулированию хлорорганических соединений гидробионтами способствуют их гидрофобные и липофильные свойства, а также высокая устойчивость пестицидов к разложению в условиях окружающей среды [4]. Неподвижный образ жизни двустворчатых моллюсков ограничивает их трофические возможности определенным фиксированным ареалом, поэтому различия в содержании липидных компонентов зависят от температуры, газового режима, солености, а также от трофического уровня ареала и уровня загрязнения.

Их растворимость в воде крайне мала, но они хорошо растворяются в органических растворителях и, что самое важное, в жирах, являясь липофильными соединениями, благодаря чему легко могут накапливаться в тканях живых организмов, в том числе и рыб. Липиды играют важную роль в физиолого-биохимических процессах двустворчатых моллюсков, в частности, они являются важным источником питания в ооцитах, обеспечивая жизнеспособность личинок.

Лишь незначительная часть хлорорганических соединений, которые поступают в водные экосистемы, находятся в растворенном виде, большая же их часть адсорбируется на поверхности бактериопланктона, фитопланктона и зоопланктона. А именно они служат пищей для биофильтраторов.

Хлорорганические соединения, поступающие в водную экосистему, включаются в разные типы донных отложений, которые могут стать основным источником загрязнения воды и гидробионтов на длительное время. Скорость и механизмы их воздействия обусловлена биодоступностью этих соединений.

Проблема охраны морей и всего Мирового океана в настоящее время приобретает новые черты и сводится к решению таких весьма важных задач, как оценка допустимых пределов содержания (допустимых нагрузок) загрязняющих веществ в морских водоемах.

Цель работы – исследование влияния хлорорганических соединений на

жизнедеятельность моллюсков и состояние бентоса Керченского пролива.

Материалы и методы исследования. Вопросы, касающиеся накопления хлорорганических соединений (далее – ХОС) в живых организмах и воздействия на них, процессы аккумуляции и их передачи через пищевые цепи широко рассматриваются в литературе [1-7]. В частности, рассматриваются и вопросы аккумуляции в тканях мидий опасных токсикантов, а также их влияние на метаболическую активность моллюсков [3].

Материал для настоящей работы был собран в акватории Керченского пролива и частично черноморского препроливья в ходе 20 различных экспедиций ЮгНИРО.

Пробы донного зообентоса отбирались на различных глубинах при помощи дночерпателя «Океан» с площадью захвата 0,25 м^2. Промывка проб осуществлялась на бентосном столе с набором металлических сит (размер ячеек – 5х5, 2х2 и 1х1 мм). Собранных моллюсков подвергали биологическому анализу, измеряли длину и массу в живом виде. Материал фиксировали 4 %-ным нейтральным раствором формалина и обрабатывали в лабораторных условиях. Часть моллюсков в живом виде доставлялась в лабораторию для проведения экспериментов.

Определялась численность (N, экз/м^2) и биомасса (B, г/м^2) моллюсков в пробе, после чего рассчитывалась их плотность на 1 м^2. Собранных животных высушивали и взвешивали на электронных весах с точностью до 0,1 г. Размерно-массовую характеристику изучали только для мидий.

Скорость потребления кислорода моллюсками изучали в замкнутых сосудах. Размеры мидий варьировали в пределах 11-73 мм, масса моллюсков со створкой 0,35-36,7 г. Отбор проб и их изучение осуществлялось в лаборатории охраны морских экосистем ЮгНИРО на специальных аналитически расчётных аппаратах. Анализ проб на содержание хлорорганических пестицидов проводился методом газовой хроматографии на хроматографе G-180.F.E. фирмы «Янако».

Результаты исследования и их обсуждение. Биологическая опасность

хлорорганических соединений (в первую очередь, это ДДТ и её производные) так велика, что по существующим «Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» их присутствие в рыбохозяйственных водоемах недопустимо. Однако ДДТ находится в экосистеме повсеместно и его содержание в воде определяется условиями уровня загрязнения. Для начала было необходимо провести анализ скорости накопления ХОС в тканях мидий, взятых в различные сезоны года из районов с разной концентрацией этих токсикантов. Анализ моллюсков, взятых в воде с разной концентрацией ДДТ, показал заметное возрастание его содержания в теле моллюсков (рис. 1).

Эта связь хорошо описывается уравнением логарифмической функции и в численном виде выражается следующим уравнением:

$$ХОС_2 = 0{,}37*\ln ХОС_1 + 0{,}6, \quad (1)$$

где $ХОС_1$ и $ХОС_2$ – соответственно, уровень загрязнения хлорорганическими соединениями воды и мидий (мкг/л).

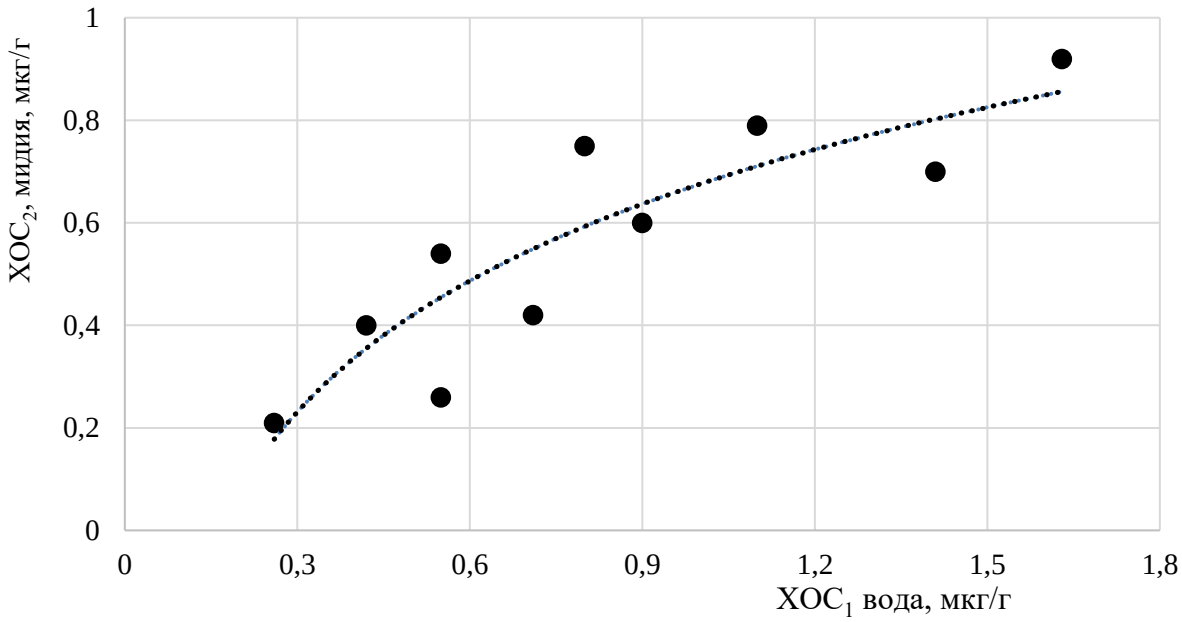


Рисунок 1 – Влияние концентрации ХОС в морской воде на величину его накопления в тканях мидий

Вместе с тем установлено, что концентрирование происходит не в прямой пропорциональности, в логарифмической зависимости, т.е. накопление ХОС в теле моллюска отстает от его концентрации в воде.

Используя эту формулу, можно по содержанию ХОС в морской воде оценить количество данного токсиканта в теле моллюсков. В связи с тем, что в естественной среде обитания концентрации ХОС не превышали 1,5-2,0 мкг/л в лабораторных опытах использовали концентрации от 0,5 до 2,5 мкг/л.

Известно, что влияние ДДТ на гидробионты зависит от таких параметров, как концентрации токсиканта, времени контакта с ним, возраста, стадии развития, физиологического состояния гидробионтов и гидрохимических характеристик среды обитания.

Моллюски более устойчивы к воздействию ДДТ, чем ракообразные и рыбы. Развитие ДДТ-токсикоза мидий сопровождается нарушением функционирования биссусной железы, что проявляется в потере способности у моллюсков прикрепляться к субстрату, ослаблении или прекращении процесса фильтрации воды, замедлении ответных реакций на внешний раздражитель. Предполагают, что основное действие ДДТ на водных животных, дышащих жабрами, проявляется в повреждении механизмов ионной регуляции в этих органах. При этом жабры являются основным путем проникновения токсиканта в организм [5].

Пестициды, попавшие в организм животного, изменяют протекающие в нем физиолого-биохимические функции (интенсивность дыхания, окислительно-восстановительные процессы, скорость метаболизма, процессы синтеза и аккумуляции АТФ). При этом реакция органов дыхания является одной из самых чувствительных функций для водных организмов.

Гидробионты принадлежат к одним из наиболее чувствительных организмов в отношении к недостатку кислорода. В то же время функция дыхания является точкой приложения многих токсических веществ. Это было установлено в многочисленных исследованиях по изучению действия

токсикантов на отдельные показатели дыхания.

Исключительная опасность пестицидов и тяжелых металлов определяется тем, что они токсичны для гидробионтов даже в малых концентрациях, особенно при долговременных воздействиях. Интенсивность дыхания гидробионта (количество потребляемого им кислорода) – обобщающий показатель уровня обменных процессов в организме [6, 7]. При отравлении гидробионтов ДДТ кратковременное возбуждение дыхания сопровождается в последующем его угнетением. В период восстановления исходного физиологического состояния организма после действия токсиканта потребность в используемом кислороде повышается. Снижение интенсивности дыхания подопытных мидий было весьма заметным уже через сутки после начала эксперимента.

При концентрации пестицида 0,5 мкг/л к концу первой недели эксперимента потребление кислорода у мидии почти восстановилось до исходного (до 84,7 %). Однако в течение этого периода происходила и постепенная аккумуляция ДДТ в органах и тканях моллюсков, что в конечном счете вызвало у последних нарушение обменных процессов. Интенсивность потребления кислорода мидиями начала вновь снижаться (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние ДДТ на интенсивность дыхания мидий

Экспозиция, сут.	Концентрация ДДТ, мкг/л					
	0,5		1,5		2,5	
	O_2	R/W	O_2	R/W	O_2	R/W
1	91,3	64,9	84,9	75,0	63,4	85,0
2	58,7	13,5	47,1	25,6	23,0	52,9
3	20	20,6	16,5	10,4	7,7	24,1
4	16,1	42,3	5,6	16,1	2,5	12,5
5	23,2	71,2	2,0	25,0	1,0	6,8
6	80,4	80	6,3	25,9	0,5	3,0
7	95,3	84,7	13,0	29,5	0,0	0,0
12	100	71,3	0,0	5,0	0,0	0,0
Среднее (M ± м)	60,6 ± 6,1	56,1 ± 9,5	25,1 ± 12,5	24,6 ± 9,3	16,4 ± 11,2	30,7 ± 14,5

Примечание: O_2 – интенсивность потребления кислорода мидиями (%); R – количество потребленного кислорода (мг O_2/час); W – сухая масса мягких тканей тела моллюсков, (г)

В аквариумах, где концентрация пестицида была 1,5 мкг/л, интенсивность дыхания мидий к концу первой недели эксперимента возрастала незначительно, а в последующем отмечено его снижение.

При концентрации ДДТ 2,5 мкг/л нарушение дыхания у моллюсков было столь значительным, что через 2 суток экспозиции интенсивность потребления кислорода составляла 1/2, а через 3 суток – 1/4 часть исходного уровня. Через 7 суток экспозиции мидии прекратили потреблять растворенный в воде кислород и перешли на анаэробный тип дыхания.

Для того чтобы интенсивность дыхания мидий в загрязненной воде не уменьшалась более чем на 25 % от исходной величины, содержание кислорода в воде должно снижаться не более чем на 38,1 % при концентрации ДДТ 0,5 мкг/л, 21,5 % (1,5 мкг/л) и 11,6 % (2,5 мкг/л). Скорость снижения концентрации кислорода в воде пропорциональна содержанию в ней ДДТ.

В ходе эволюции у моллюсков выработались соответствующие механизмы адаптации к неблагоприятным факторам среды, в первую очередь, к уменьшению содержания кислорода в воде. В этих условиях у мидий прекращается фильтрация, плотно закрываются створки и резко уменьшается скорость потребления кислорода; моллюски переходят на анаэробный тип дыхания, который сопровождается незначительным получением энергии АТФ, недостаточным для осуществления интенсивного метаболизма моллюсков [8]. Скорость протекания энергетических процессов, проходящих в моллюсках, снижается до минимума, и животные переходят в состояние анаэробиоза. Способность мидий переходить с аэробного на анаэробный тип дыхания обеспечивает им высокую устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды (в том числе и антропогенным). С одной стороны, данная особенность мидий позволяет им успешно адаптироваться к окислительному стрессу, нередко возникающему в донных биотопах Черного моря. Адаптации бентосных организмов к гипоксии происходят на разных уровнях: молекулярном, клеточном, физиологическом, поведенческом. Поведенческие адаптации

проявляются в смыкании створок раковин. Мидии способны при дефиците кислорода поддерживать внутренние энергетические ресурсы за счет снижения скорости метаболизма [9]. Но это существенно влияет на их ростовые процессы и физиологические особенности. Например, переход на анаэробный метаболический путь связан с расщеплением гликогена.

Характер изменения содержания гликогена под действием ДДТ в мидиях в значительной степени определяется уровнем растворенного в воде кислорода (рис. 2). При длительном воздействии низких концентраций кислорода скорость метаболизма снижается и активизируется метаболический путь превращение гликогена в конечные продукты – аланин.

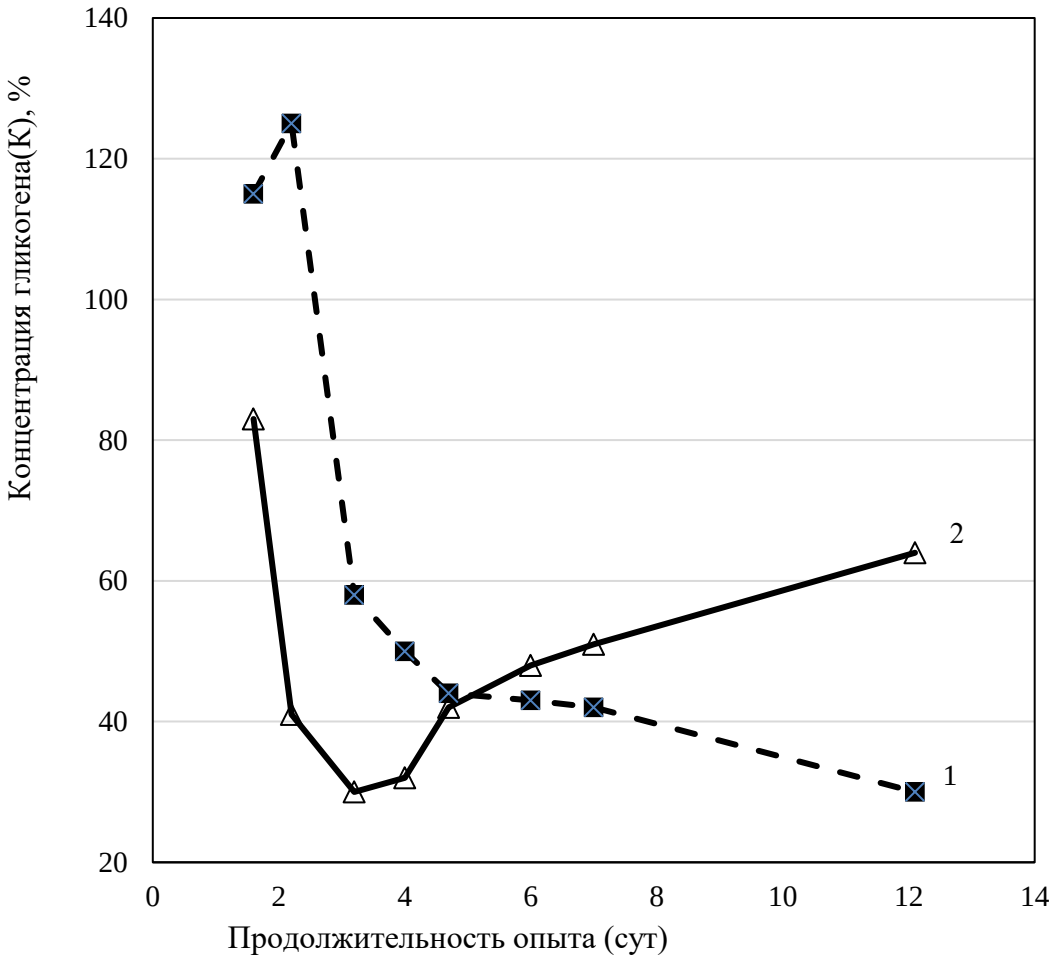


Рисунок 2 – Изменение концентрации гликогена (К, в % к контролю) в жабрах мидий при действии ДДТ в концентрации 1,5 мкг/л, без аэрации (1) и с аэрацией воды (2)

При длительном воздействии низких концентраций кислорода в морской воде снижение скорости метаболизма продолжается до тех пор, пока существуют внутренние запасы организма.

Изучение влияние ДДТ на моллюсков показало, что в аквариумах без искусственного аэрирования воды содержание гликогена в различных органах и тканях мидий неуклонно снижалось, особенно в жабрах, поскольку они непосредственно контактируют с токсикантами (рис. 2).

Таким образом, влияние ДДТ приводит к изменению интенсивности дыхания мидий и содержанию в них гликогена в условиях достаточно высокого (в пределах гидрохимической нормы) содержания в воде растворенного кислорода [10].

Выводы. Изучено влияние некоторых видов химического загрязнения – хлорорганических соединений на жизнедеятельность моллюсков, а именно, на скорость дыхания и фильтрации и содержание гликогена. Показано, что с возрастанием концентрации исследованных токсикантов в окружающей среде происходит снижение физиологических функций и выживаемости, что, соответственно, влияет на функционирование популяций моллюсков и экосистемы в целом.

В настоящее время создаются пестициды новых поколений, что создает необходимость расширения изучения их поведения в водных экосистемах. Последнее вызвано тем, что гидробионты, вследствие определенных физико-химических особенностей самой среды обитания и процессов их взаимодействия с этой средой, оказываются в большинстве случаев наиболее чувствительными к антропогенному загрязнению.

Список использованной литературы:

1. *Вижевский В.И.* Биологические основы промышленного культивирования мидии (Mytilus galloprovincialis Lam.) в различных районах Черного моря: дис. … канд. биол. наук: 03.00.17 / Виктор Игоревич Вижевский. Керчь, 1990. 174 с.
2. *Золотницкий А.П.* Современные методы управления процессами размножения и ранними этапами онтогенеза в марикультуре моллюсков // Рыбное хозяйство Украины. 2006. № 3-4. С.23-27.
3. *Миронов О.Г.* Мидии как элемент гидробиологической системы очистки загрязненных

морских вод // Водные ресурсы. 1988. № 5. С. 104-111.
4. *Иванов В.Н., Холодов В.И., Сеничева М.И., Пиркова А.В., Булатов К.В.* Биология культивируемых мидий. К.: Наукова думка, 1989. 97 с.
5. *Золотарев В.Н., Губанов В.В.* Проблемы развития марикультуры мидий в северо-западной части Черного моря // Тезисы докладов Международного симпозиума по современным проблемам марикультуры в социалистических странах. М.: ВНИРО, 1989. С. 23-25.
6. *Литвиненко Н.М., Золотарев П.А., Терентьев А.С.* Измерения структуры популяций мидий в Черном море и перспективы их промысла // Проблемы рационального использования промысловых беспозвоночных: Тезисы докладов III Всесоюзной конференции. Калининград, 1982. С. 115-117.
7. *Bayne B.L.* Feeding behaviour and metabolic efficiency contribute to growth heterosis in Pacific oysters Crassostrea gigas (Thunberg) // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1985. Vol. 233. No. 1. P.115-130.
8. *His E.* Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the mediterranean mussel Mytilus galloprovincialis and the Japanese oyster Crassostrea gigas // Marine Biology. 1989. Vol. 100. No. 4. P. 455-463.
9. *Walne P.R.* Culture of Bivalve mollusces 5 yea's experience at Conwey west by fleat. Fish News (Books). 1974. 173 p.
10. *Золотницкий, А.П.* Биологические основы культивирования двустворчатых моллюсков (Bivalvia, Mytiliformes) в различных районах Чёрного моря: автореф. дис. … д-ра биол. наук: 03.00.17 / Александр Петрович Золотницкий. Киев, 2004. 39 с.

References:

1. Vizhevsky V.I. *Biologicheskie osnovy promyshlennogo kultivirovaniia midii (Mytilus galloprovincialis Lam.) v razlichnykh raionakh Chernogo moria* [Biological bases of industrial cultivation of mussels (mytilus galloprovincialis lam.) in various regions of the Black Sea. Cand. biol. sci. diss.]. Kerch, 1990, 174 p. (In Russian).
2. Zolotnitskiy A. P Sovremennye metody upravleniia protsessami razmnozheniia i rannimi etapami ontogeneza v marikulture molliuskov [Modern methods of control of reproduction processes and early stages of ontogenesis in shellfish mariculture]. *Rybnoe khoziaistvo Ukrainy* [Fisheries of Ukraine], 2006, no. 3-4, pp.23-27. (In Russian).
3. Mironov O.G. Midii kak element gidrobiologicheskoj sistemy ochistki zagryaznennyh morskihvod [Mussels as an element of the hydrobiological system for cleaning polluted sea waters]. *Vodnye resursy* [Water resources], 1988, no. 5, pp. 104-111. (In Russian).
4. Ivanov V.N., Kholodov V.I., Senicheva M.I., Pirkova A.V., Bulatov K.V. *Biologiya kul'tiviruemyh midij* [Biology of cultured mussels]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1989, 97 p. (In Russian).
5. Zolotaryev V.N., Gubanov V.V. Problemy razvitiya marikul'tury midij v severo-zapadnoj chasti Chernogo morya [Problems of development of mariculture of mussels in the North-Western partof the Black sea]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnogo simpoziuma po sovremennym problemammarikul'tury v socialisticheskih stranah* [Abstracts of the international Symposium on modern problems of mariculture in socialist countries]. Moscow, VNIRO Publ., 1989, pp. 23-25. (In Russian).
6. Litvinenko N.M., Zolotaryev P.A., Terentyev A.S. Izmereniya struktury populyacij midij v Chernom more i perspektivy ih promysla [Measurements of the structure of mussel populations in the Black sea and prospects for their fishing]. *Tezisy dokladov III Vsesoyuznoj konferencii «Problemy racional'nogo ispol'zovaniya promyslovyh bespozvonochnyh»* [Abstracts of the III All-Union Conference “Problems of rational use of commercial invertebrates”]. Kaliningrad, 1982, pp. 115-117. (In Russian).
7. Bayne B.L. Feeding behaviour and metabolic efficiency contribute to growth heterosis in Pacific oysters Crassostrea gigas (Thunberg). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1985, vol. 233, no. 1, pp. 115-

130. (In English).
8. His E. Combined effects of temperature and salinity on fed and starved larvae of the mediterranean mussel Mytilus galloprovincialis and the Japanese oyster Crassostrea gigas. *Marine Biology*, 1989, vol. 100, no. 4, pp. 455-463. (In English).
9. Walne P.R. *Culture of Bivalve mollusces 5 yea's experience at Conwey west by fleat*. Fish News (Books). 1974, 173 p. (In English).
10. Zolotnitsky A.P. *Biologicheskie osnovy kultivirovaniia dvustvorchatykh molliuskov (Bivalvia, Mytiliformes) v razlichnykh raionakh Chernogo morya. Avtoref diss… dokt. biol. nauk* [Biological bases of cultivation of bivalve molluscs (bivalvia, mytiliformes) in different regions of the Black sea. Doct. biol. sci. diss. abstr.]. Kiev, 2004. 39 p. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Козлова Галина Викторовна	старший преподаватель кафедры водных биоресурсов и марикультуры Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 kozloyagv66@gmail.com
Kozlova Galina Viktorovna	Senior Lecturer at the Department of aquatic biological resources and mariculture Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 kozloyagv66@gmail.com
Гордиенко Наталья Анатольевна	студент 4-го курса направления подготовки «Водные биоресурсы и аквакультура» Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 natasha2883@yandex.ua
Gordienko Natalia Anatolevna	4th year student of the training direction “Aquatic biological resources and aquaculture” Kerch State Maritime Technological University 298309 Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze Street 82 natasha2883@yandex.ua

УДК [591.524.12:574.472](262.5)"322" DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_59

Подрезова П.С., Петрова Т.Н., Мальцев В.И.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕТНЕГО ИХТИОПЛАНКТОНА ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Аннотация. Изучена структура видового состава и численность икры и личинок рыб, а также проведена оценка видового разнообразия ихтиопланктона северной части Черного моря у Крымского полуострова в прибрежных акваториях с различными эколого-географическими характеристиками: в юго-западной части полуострова в районе г. Севастополя и юго-восточной части у горного массива Карадаг. Благодаря проведенным исследованиям были получены новые данные о видовом составе и нерестовой активности природных популяций рыб, достоверно размножающихся в данных районах. В ихтиопланктонных пробах, собранных в прибрежных акваториях в двух районах исследований в летний нерестовый сезон 2020 г., были обнаружены икра и личинки 50 видов рыб: 43 – в районе Севастополя и 36 – у берегов горного массива Карадаг. В районе Севастополя идентифицированы икринки 22 видов и личинки 38 видов рыб, у берегов Карадага – 20 и 27 видов соответственно. Видовой состав ихтиопланктона двух районов исследований различался незначительно: величина индекса Сёренсена составляла 0,73. Причем, по икре рыб видовое сходство достигало 0,80, по личинкам – 0,61. Видовая структура ихтиопланктона упомянутых районов, напротив, обнаруживала достаточно низкое сходство по индексу Константинова как для икры (0,43), так и для личинок (0,34).

Ключевые слова: ихтиопланктон, видовое разнообразие, Черное море, Карадагский природный заповедник, прибрежные акватории Севастополя.

Podrezova P.S., Petrova T.N., Maltsev V.I.

SPECIES DIVERSITY OF SUMMER ICHTHIOPLACTONE IN COASTAL WATER AREAS OF THE CRIMEAN PENINSULA

Abstract. The structure of the species composition and the abundances of fish eggs and larvae were studied. An assessment of the species diversity of the ichthyoplankton of the northern part of the Black Sea off the Crimean Peninsula in coastal waters with different ecological and geographical characteristics was carried out: in the southwestern part of the peninsula near Sevastopol and the southeastern part near the Karadag mountain range. New data were obtained on the species composition and spawning activity of natural fish populations that reliably reproduce in these areas. Eggs and larvae of 50 fish species were found in ichthyoplankton samples collected in coastal waters in two research areas during the summer spawning season in 2020: 43 - in Sevastopol area and 36 – off the coast of the Karadag mountain range. Eggs of 22 and larvae of 38 fish species were identified in Sevastopol area, 20 and 27 species were identified off the coast of Karadag, respectively. The difference in species composition of ichthyoplankton in both study areas was insignificant: the value of the Sorensen index of species similarity was 0.73. Moreover, the species similarity reached 0.80 for fish eggs, 0.61 for larvae. The structure of species composition of the ichthyoplankton, on the contrary, showed a rather low similarity in the Konstantinov index for both eggs (0.43) and larvae (0.34).

Key words: ichthyoplankton, species diversity, the Black Sea, Karadag Nature Reserve, coastal waters of Sevastopol.

Введение

Понимание того, каким образом виды, сообщества и экосистемы

реагируют на изменение окружающей среды и как отслеживать эти реакции, остается фундаментальной задачей. В морских экосистемах изменения в климате, океанографических условиях или рыболовстве могут иметь целый ряд биологических последствий – от отсутствия эффекта до сильных каскадных эффектов, передающихся и распространяющихся через пищевую сеть гидробионтов. Поэтому показатели биоразнообразия крайне важны для изучения. Они могут интегрироваться в различных биотических масштабах, опираясь на данные, полученные в результате мониторинга состояния нескольких видов, и могут отражать изменения в статусе целых групп видов, уязвимости биологических сообществ вплоть до утраты видов, адаптационных возможностей отдельных видов, отражать сложность и стабильность экосистем [1].

Для оценки современного состояния ихтиофауны Черного моря, тенденции ее будущих изменений необходимы регулярные исследования не только взрослых рыб, но и, в первую очередь, ихтиопланктона. Ихтиологические исследования, направленные на выявление достоверно размножающихся в Черном море рыб, были начаты В.А. Водяницким в 1927 г. по инициативе Н.М. Книповича. В своих работах, заложивших основу представлений о размножении и раннем онтогенезе рыб Черного моря, В.А. Водяницкий идентифицировал и дал описание икры и личинок рыб сначала по результатам исследований прибрежных районов, а к 1954 г. дополнил их материалами, собранными в экспедициях в открытом море [2]. С тех пор мониторинговые исследования ихтиопланктона прибрежных вод у Крымского полуострова выполняются Институтом биологии южных морей им. А.О. Ковалевского достаточно регулярно на судах малого научного флота. Наибольшее количество научных экспедиций, направленных на изучение ранних стадий развития рыб, проводят в акваториях юго-западной части Крымского полуострова у г. Севастополя, что позволяет отслеживать динамику изменения численности ихтиопланктона и видового состава рыб, достоверно размножающихся в этом районе. В юго-

восточной части Крымского полуострова исследования ихтиопланктона проводятся в водах, прилегающих к горному массиву Карадаг. Начало им было положено во второй половине 40-х годов прошлого века К.А. Виноградовым [3], затем продолжено Л.С. Овен [4] и Т.В. Багнюковой [5-7]. К.А. Виноградов указывал на наличие в планктоне в районе Карадага икринок и личинок 14 видов, Л.С. Овен – 26 видов рыб. Однако в последние 20 лет научных экспедиций по изучению ихтиопланктона в районе Карадага не проводилось.

Массовое развитие и наиболее высокая численность ихтиопланктона Черного моря соответствует максимальному прогреву воды (июнь-август), когда происходит наиболее интенсивный нерест всех теплолюбивых рыб средиземноморского происхождения [8]. Исследования, проведенные в летний период 2020 г. в прибрежных акваториях г. Севастополя, а также возобновление ихтиопланктонных исследований в акваториях, относящихся к Карадагскому природному заповеднику, позволяют провести сравнительную оценку состояния ихтиопланктонных комплексов в районах с различными эколого-географическими характеристиками, и пополнить базу данных многолетних исследований, проследив динамику изменений численности и видового состава ихтиопланктона в прибрежных акваториях северной части Черного моря.

Целью исследования является сравнение качественных и количественных характеристик ихтиопланктона прибрежных вод юго-западного (акватории г. Севастополя) и юго-восточного (акватории у горного массива Карадаг) Крыма, а также выявление изменений этих показателей, произошедших в последние десятилетия.

Материалы и методы исследования

С июня по сентябрь 2020 г. в акватории Черного моря в районе юго-западной части Крымского полуострова были выполнены 14 научно-исследовательских экспедиций с отбором проб на станциях у выхода из бухт Севастопольская, Карантинная, Круглая, Стрелецкая, Казачья, Камышовая над глубиной от 13 до 21 м, на траверзе бухты Круглая над глубиной 52-62 м. Сбор

проб производили с судна МНИС СМБ-40 «Виктория» в режиме вертикальных ловов в слое 10-0 м сетью ИКС-80, площадь входного отверстия 0,5 м^2, ячея сита 400 микрон. Также были обработаны на наличие ихтиопланктона пробы, собранные в прилегающих районах, выполненные в вертикальном режиме от дна до поверхности сетью с площадью входного отверстия 0,2 м^2, ячея сита 300 микрон над глубиной от 11 до 60 м. Ихтиопланктон фиксировался четырехпроцентным раствором формальдегида на борту судна и затем обрабатывался под бинокулярным микроскопом (МБС-10) в лабораторных условиях. Исследования проведены по «Методике определения качественного и количественного состава ихтиопланктона и состава пищевого комка личинок и мальков рыб» согласно стандарту ФГБУН «ИМБИ» (СТП ИМБИ 018-2016).

В тот же период 2020 г. в акватории у Карадага пробы отбирали на 7 станциях планктонной сетью с величиной ячеи 200 и 400 микрон методом вертикального облова горизонта 10-0 м, либо буксированием сети за лодкой в поверхностном слое. В последнем случае дистанция буксировки вычислялась по береговым ориентирам с использованием электронных картографических ресурсов.

Расположение станций отбора проб в двух районах отражено на рис. 1.

Рисунок 1 – Карта-схема расположения станций отбора ихтиопланктонных проб в летний нерестовый сезон 2020 г.

Всего в 72-х пробах, отобранных в прибрежных районах г. Севастополя, были обнаружены 3277 икринки и 908 личинок. В 76 пробах, отобранных в акватории у Карадага, выявлены 9503 икринки и 655 личинок. Ихтиопланктон идентифицировали до вида, в отдельных случаях до рода по [9-11]. Видовые названия даны с учетом современных таксономических изменений [12].

Статистическую обработку данных, анализ средних величин численности икры и личинок рыб (стандартное отклонение и доверительный интервал) построение графиков производили в программах Microsoft Excel и Past 4.0. При расчете доверительного интервала $\alpha = 0{,}05$. В построении линий трендов применяли полиномиальные тренды. Для полиномов степени определяли по количеству экстремумов. Для оценки достоверности различий между двумя районами по средней численности икры и личинок рыб в ловах по видам рассчитывали U-критерий Манна-Уитни. Полученное эмпирическое значение $U_{эмп}$ находилось в зоне значимости при уровне значимости $p \leq 0{,}01$.

Биоценотические индексы рассчитывались по формулам:

- видового сходства Сёренсена [13]:

$$K = 2c : (a+b), \quad (1)$$

где a – количество видов в первой выборке, b – количество видов во второй выборке, с – количество видов, общих для двух выборок;

- биоценотического (структурного) сходства А.С. Константинова [14]:

$$K_k = \Sigma \min(S_i^1, S_i^2), \quad (2)$$

где S_i^1, S_i^2 – соответственно, численность вида i в долях от общей численности в 1-м и 2-м сравниваемых ценозах;

- видового разнообразия Шеннона-Уивера [15]:

$$H = -\Sigma\, p_i \times \log_2 p_i, \quad (3)$$

где p_i – удельная численность каждого вида;

- видового богатства Симпсона [16]:

$$D = (S - 1) : \log_2 N, \quad (4)$$

где S – количество видов, N – общая численность особей;

- доминирования Маргалефа [17]:

$$C = \Sigma\, (n_i : N)^2, \quad (5)$$

где n_i – численность особей каждого вида, N – общая численность особей;

- выровненности Пиелоу [18]:

$$e = H : \log_2 S, \quad (6)$$

где H – значение индекса видового разнообразия Шеннона-Уивера, S – число видов.

В прибрежных акваториях юго-западной части Крымского полуострова ихтиопланктонные пробы отбирались в районе г. Севастополя. Данный регион подвержен значительным экологическим нагрузкам вследствие интенсивной хозяйственной деятельности и достаточно высокой плотности населения. Прибрежная акватория города Севастополя представляет собой береговую линию сложной орографии, состоящую из нескольких бухт, таких как, полузамкнутая бухта с ограниченным водообменном (Севастопольская) глубоко врезанные в сушу бухты (Карантинная, Стрелецкая, Камышовая и Казачья бухты) и небольшие бухты с хорошим водообменном (бухта Круглая и Песочная). Площадь территории региона составляет 864 км^2, в том числе площадь городской застройки 190 км^2. Общая протяженность морского побережья (береговая линия) 158 км [19, 20]. Особенностью прибрежной зоны Севастопольского региона является высокая степень народнохозяйственного освоения на всей ее протяженности. Это и обусловливает значительную

антропогенную нагрузку, которой подвергается морская среда [21].

Карадагский природный заповедник расположен на побережье Юго-восточного Крыма между пгт Коктебель и пгт Курортное (44°55'45"N, 035°14'48"E). В состав заповедника входит прибрежная акватория (полоса шириной 1 км вдоль береговой линии) площадью 809 га. Заповедный статус акватория, как и горная часть, получила в 1979 г. Прибрежная часть заповедной акватории представлена небольшими бухтами, имеющими статус полной заповедности. Здесь при глубинах 0-10 м вследствие природных процессов разрушения горных пород на склонах Карадага и сваливания обломочного материала в море, сформировался почти сплошной пояс подводных камней размером 10-300 см, заросших макроводорослями с доминированием цистозиры; имеют место также большие глыбы и скалы, вертикально спускающиеся в море, также большей частью заросшие макроводорослями. Песчаные донные отложения у побережья существуют только в виде небольших вкраплений среди нагромождений камней. На отдалении 100-200 м от берега (глубины более 7 м) песок становятся преобладающим типом субстрата; иногда в понижениях рельефа дна наблюдается заиление, изредка встречаются участки, заросшие разреженными зарослями взморника (*Zosterra* sp.).

Результаты исследования и их обсуждение

В ихтиопланктонных пробах, собранных в двух районах исследований – в прибрежных акваториях юго-западной части Крымского полуострова (г. Севастополь) и в юго-восточной – у берегов Карадага (рис. 1) с июня по сентябрь 2020 г., были обнаружены икра и личинки 50 видов рыб из 26 семейств (табл. 1).

В пробах, отобранных в прибрежной акватории г. Севастополя, было идентифицировано 43 вида ихтиопланктона: 22 вида икры и 38 видов личинок рыб (табл. 1). Средняя численность икры составляла 109 экз./м^2, личинок – 30 экз./м^2. Максимальное количество видов (31) было отмечено на станции у выхода из б. Казачья, здесь же была встречена икра редкого вида *Chelidonichthys lucerna* – морского петуха.

Таблица 1 – Видовой состав ихтиопланктона в прибрежных акваториях юго-западной (район г. Севастополя) (I) и юго-восточной части Крымского полуострова (Карадаг) (II) в летний нерестовый сезон 2020 г.

Семейство	Вид	Икра		Личинки	
		I	II	I	II
Engraulidae – анчоусовые	*Engraulis encrasicolus* (L., 1758)	+	+	+	+
Gadidae – тресковые	*Merlangius merlangus* (L., 1758)	+	—	+	—
Ophididae – ошибневые	*Ophidion rochei* Müller, 1845	—	+	+	+
Atherinidae – атериновые	*Atherina mochon pontica* Eichwald, 1831	—	—	—	+
	Atherina hepsetus L., 1758	—	—	—	+
	Atherina bonapartei Boulenger, 1907	—	—	—	+
	Atherina presbyter Cuvier, 1829	—	—	—	+
Belonidae – саргановые	*Belone belone euxini* Günther, 1866	—	—	—	+
Scorpaenidae – скорпеновые	*Scorpaena porcus* L., 1758	+	+	+	—
Triglidae – тригловые, морские петухи	*Chelidonichthys lucerna* (L., 1758)	+	—	—	—
Gobiesocidae – присосковые, морские уточки	*Lepadogaster candolii* Risso, 1810	—	—	+	—
	Diplecogaster bimaculata (Bonnaterre, 1788)	—	—	+	—
Blenniidae – морские собачки	*Aidablennius sphynx* (Valenciennes, 1836)	—	—	+	+
	Parablennius sanguinolentus (Pallas, 1814)	—	—	+	+
	Parablennius tentacularis (Brünnich, 1768)	—	—	—	+
	Parablennius zvonimiri (Kolombatovic, 1892)	—	—	+	+
	Coryphoblennius galerita (L., 1758)	—	—	+	—
	Salaria pavo (Risso, 1810)	—	—	+	+
	Blenniidae spp.	—	—	+	+
Callionymidae – пескарковые, морские мыши	*Callionymus spp.*	+	+	+	—
Gobiidae – бычковые	*Gobius niger* L., 1758	—	—	+	+
	Gobius bucchichi Steindachner, 1870	—	—	+	—
	Pomatoschistus marmoratus (Risso, 1810)	—	—	+	—
	Pomatoschistus minutus (Pallas, 1770)	—	—	+	+
	Pomatoschistus pictus (Malm, 1865)	—	—	+	—
	Gobiidae spp.	—	—	+	+
Labridae – губановые	*Ctenolabrus rupestris* (L., 1758)	+	+	+	—
	Symphodus cinereus (Bonnaterre, 1788)	—	—	+	—
	Symphodus ocellatus (L., 1758)	—	—	+	—
	Symphodus roissali (Risso, 1810)	—	—	+	+
Pomacentridae - помацентровые	*Chromis chromis* L., 1758	—	—	+	+
Mugilidae – кефалевые	*Chelon auratus* (Risso, 1810)	+	+	+	+
	Chelon saliens (Risso, 1810)	+	+	+	—
	Mugil cephalus L., 1758	—	+	—	—
	Mugilidae spp.	+	—	—	—
Carangidae – ставридовые	*Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868)	+	+	+	+
Centracanthidae – смаридовые	*Centracanthidae sp.*	—	—	+	—
Mullidae – барабулевые	*Mullus barbatus* L., 1758	+	+	+	+

Продолжение таблицы 1

Семейство	Вид	Икра		Личинки	
		I	II	I	II
Pomatomidae – луфаревые	*Pomatomus saltatrix* (L., 1766)	+	+	+	+
Sciaenidae – горбылевые	*Sciaena umbra* L., 1758	+	+	+	—
Serranidae – серрановые, каменные окуни	*Serranus scriba* (L., 1758)	+	+	+	+
	Serranidae sp.	+	—	+	—
Sparidae – спаровые	*Diplodus annularis* (L., 1758)	+	+	+	+
	Boops boops (L., 1758)	+	—	—	—
	Sparidae spp.	—	+	+	—
Scombridae – скумбриевые	*Sarda sarda* (Bloch, 1793)	+	+	+	—
Trachinidae – драконовые	*Trachinus draco*	+	+	+	+
Uranoscopidae – звездочетовые	*Uranoscopus scaber* L., 1758	+	+	—	—
Bothidae – ботусовые	*Arnoglossus kessleri* Schmidt, 1915	+	+	+	+
Soleidae – солеевые	*Pegusa nasuta* (Pallas, 1814)	+	+	—	+
	ВСЕГО ВИДОВ	**22**	**20**	**38**	**27**

В летний период в Черном море происходит массовый нерест теплолюбивых видов средиземноморского происхождения, однако, благодаря наличию холодного промежуточного слоя в Чёрном море, икра и личинки некоторых умеренноводных видов рыб с многопорционным нерестом присутствуют в ихтиопланктоне и в летний гидрологический сезон. Так, в пробах, отобранных на станции юго-западного шельфа Крымского полуострова на траверзе бухты Круглой (глубина 52 м), в июне была обнаружена икра умеренноводного мерланга *Merlangius merlangus.* В целом в акватории г. Севастополя большая часть икры была представлена семейством Спаровых Sparidae spp. (39 %). Доли икры ставриды *Trachurus mediterraneus* и хамсы *Engraulis encrasicolus* в пробах были равнозначны (чуть более 20 %). Икра султанки составляла около 10 %, остальные виды в пробах встречались единичными экземплярами (рис. 2 (I)).

Видовой состав личинок рыб в Севастопольском районе был представлен 18 видами с пелагической икрой и 20 видами личинок придонных и донных видов рыб с демерсальной икрой (рис. 3 (I)). Несмотря на меньшее количество видов личинок из пелагической икры по сравнению с демерсальными видами, доля личинок видов из пелагической икры в общей численности личинок

преобладала, составляя 68 %. Основную часть личинок составляли хамса *Engraulis encrasicolus*, ставрида *Trachurus mediterraneus*, семейство Спаровые Sparidae spp. Пятью видами были представлены в прибрежных акваториях семейство бычковых Gobiidae: *Gobius niger, Gobius bucchichi, Pomatoschistus marmoratus, Pomatoschistus minutus, Pomatoschistus pictus*. Их доля в общей численности личинок составляла 20 %. Личинки собачковых (сем. Blenniidae) в ловах составляли незначительную группу. Если по данным 1967-1973 г. [22] личинки непромысловых видов Gobiidae и Blenniidae преобладали в ихтиопланктоне прибрежных районов Севастополя, составляя в сумме около 70%, то в наших ловах их доля сократилась до 23 %. Частично это связано с положением наших станций в устьевой части бухт, выбранным именно потому, что там проявляется зона краевого (приграничного) эффекта [23]: встречаются как рыбы оседлых видов, постоянно обитающие в полузамкнутой акваториях бухт, так и промысловые виды, мигрирующие в этот район на нерест и нагул, чем обеспечивается максимальное видовое разнообразие.

Особенностями пространственного расположения станций отбора проб объясняется также и отсутствие представителей семейства Atherinidae в ловах, выполненных в юго-западной части шельфа Крымского полуострова. Несмотря на то, что личинки и мальки сем. Atherinidae принадлежат к наиболее распространенным и многочисленным прибрежным видам и встречаются вдоль всего побережья Черного моря [9], отбор проб ихтиопланктона в наших исследованиях у берегов г. Севастополя проводился на станциях с глубинами не менее 12 м, тогда как стайки личинок и мальков данного семейства, как правило, сосредотачиваются в непосредственной близости от берега, в литоральной зоне.

Довольно значительную долю (6 %) в планктонных ловах у берегов Севастополя составляли личинки ласточки *Chromis chromis*, отмеченные в большинстве проб июля и августа. По литературным данным личинки этого вида в ихтиопланктоне юго-западного шельфа Крымского полуострова всегда были крайне малочисленны. В период с 1987 г до 1998, во время деградации

экосистемы шельфовых вод Черного моря в связи со вселением гребневика *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 и комплексным влиянием антропогенных факторов, *Chromis chromis* в планктонных ловах в совсем не встречалась [24, 25]. В период наших исследований максимальная численность личинок *Chromis chromis* доходила до 24 экз./м^2, также единичные экземпляры были обнаружены на станции внутри Севастопольской бухты у Константиновского равелина, где этот вид не встречался по крайней мере последние 30 лет.

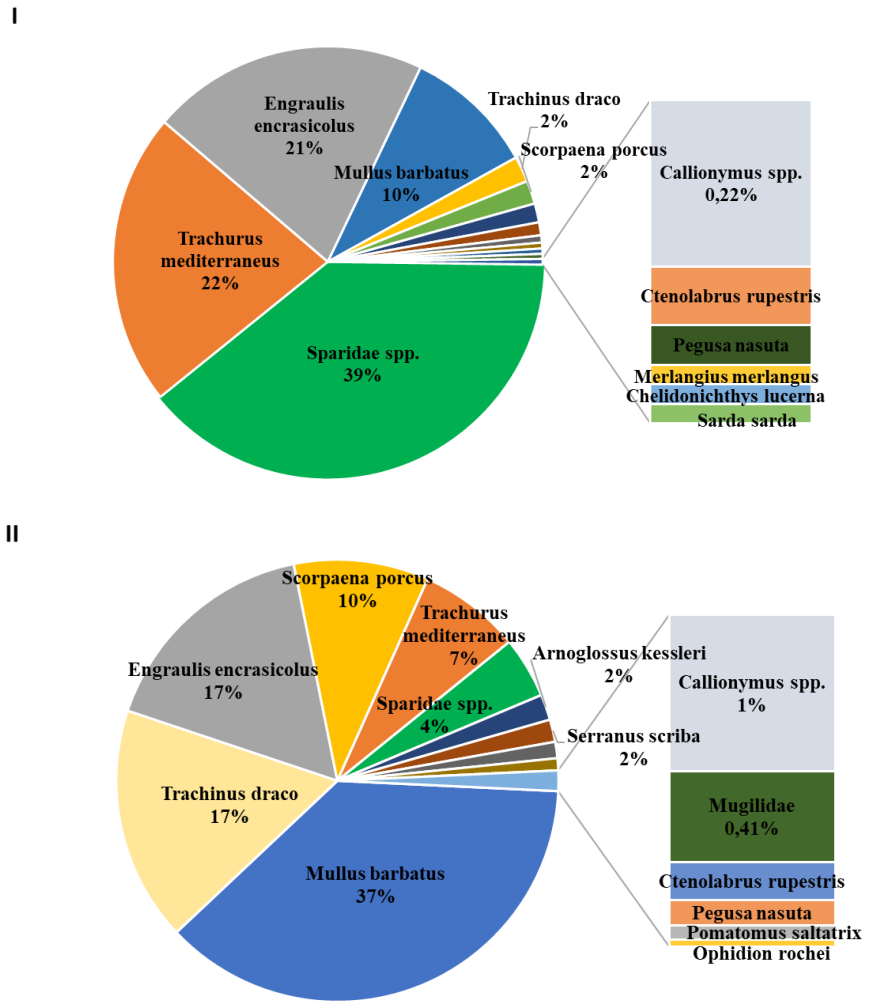


Рисунок 2 – Видовая структура икры рыб в прибрежных районах северной части Черного моря (I – юго-западная часть Крымского полуострова (г. Севастополь), II – Карадаг)

В ихтиопланктоне у берегов Карадага обнаружено 36 видов: икринки 20-ти видов и личики – 27-ми (табл. 1). Максимальные значения обилия

ихтиопланктона наблюдались у морской границы заповедной акватории против мыса Мальчин, у самого мыса и в акватории Львиной бухты. Структура видового состава икры и личинок рыб в прибрежных районах юго-восточной части Крымского полуострова (Карадаг) представлена на рис. 2 (II), 3 (II).

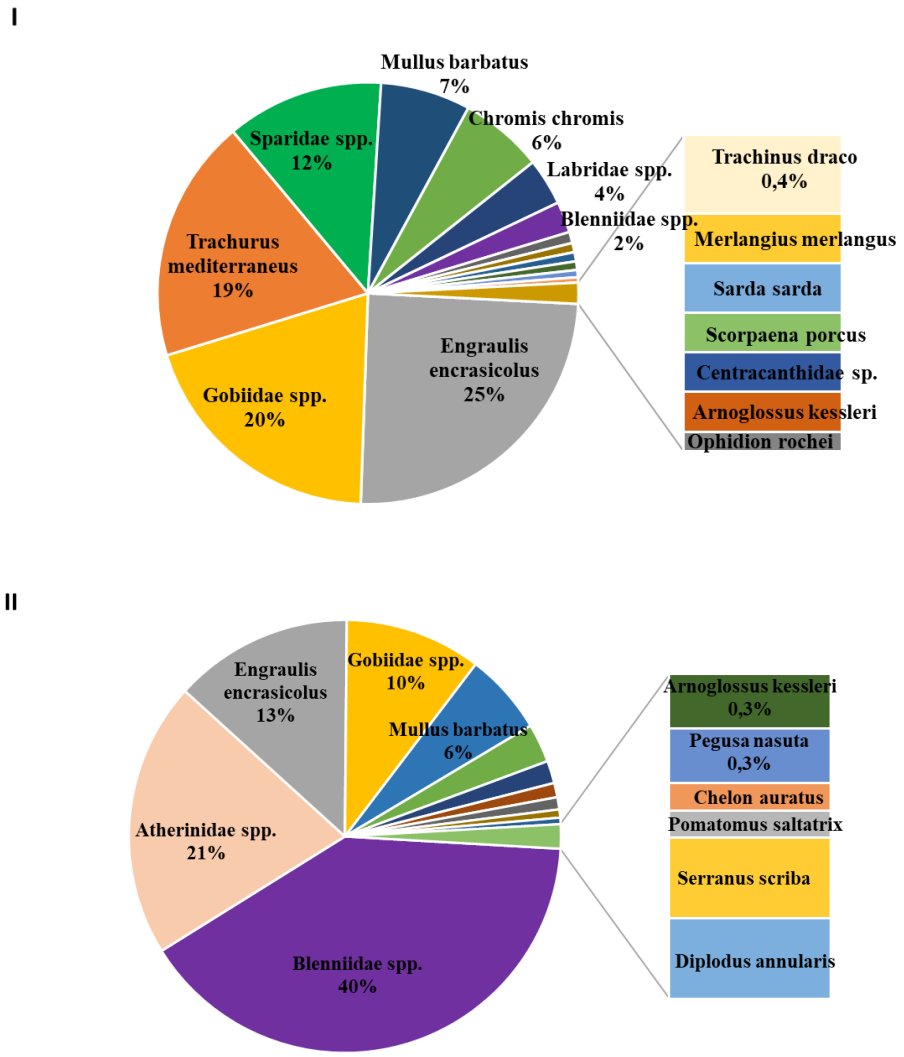


Рисунок 3 – Видовая структура личинок рыб в прибрежных районах северной части Черного моря (I – юго-западная часть Крымского полуострова (г. Севастополь), II – Карадаг)

В прибрежной акватории у Карадага преобладали икра султанки *Mullus barbatus*, морского дракончика *Trachinus draco* и хамсы *Engraulis encrasicolus* (отмечались также их личинки) и личинки семейства Atherinidae,

преимущественно *Atherina presbyter*. Достаточно обычными были икринки скорпены *Scorpaena porcus* и ставриды *Trachurus mediterraneus* (рис. 2 (II), 3 (II)). Из 36 видов, обнаруженных в планктоне акватории у Карадага, 15 видов обладают демерсальной икрой. Личинки их встречаются достаточно редко и малочисленны, за исключением личинок атерин. Так, в отличие от акватории у Севастополя, у Карадага личинки *Chromis chromis* встречались единично.

Икра хамсы *Engraulis encrasicolus*, как и других теплолюбивых видов распространена летом в верхнем квазиоднородном слое, толщина которого доходит до 20-25 м. Однако по данным Т.В. Дехник [9] в нижележащих слоях иногда образуются ее более высокие концентрации, что объясняет большую численность *E. encrasicolus* в вертикальных ловах, отобранных у выходов из бухт г. Севастополя, по сравнению с пробами в мелководных (в большей своей части) станций у Карадага, выполненных горизонтальным методом.

Видовой состав ихтиопланктона обоих районов исследований обнаруживает высокое сходство, а именно 0,73 по индексу Сёренсена [13], причем, если по икре рыб видовое сходство достигало 0,8, то по личинкам – 0,61. При этом структура видового состава ихтиопланктона исследуемых районов, напротив, различается, обнаруживая довольно низкое сходство по индексу Константинова [14] как для икры (0,43), так и для личинок (0,34) (рис.4). Причинами таких структурных различий, вероятно, можно считать с одной стороны пространственную неоднородность в расположении сетки станций в двух исследуемых районах и методике выполнения ловов: пробы у Карадага отбирались в том числе на узкоприбрежных станциях над глубинами от 0 до 10 м, большинство ловов выполнялось в поверхностном горизонте, что определило высокую долю личинок собачковых Blenniidae spp. и атериновых Atherinidae spp., икры *Scorpaena porcus* и *Trachinus draco* в пробах. С другой стороны, пространственное распределение личинок рыб контролируется как их активным поведением, так и пассивными механизмами их переноса в водных массах. Такие океанографические структуры, как течения, вихри управляют формированием

или разрушением скоплений ихтиопланктона. Направление переноса может меняться в зависимости от метеорологической и гидрологической ситуации. Таким образом, не исключена вероятность различных путей формирования ихтиопланктонных сообществ, в том числе в связи с гидрологическими и эколого-географическими особенностями регионов исследования, что, несомненно, должно стать предметом дальнейших исследований.

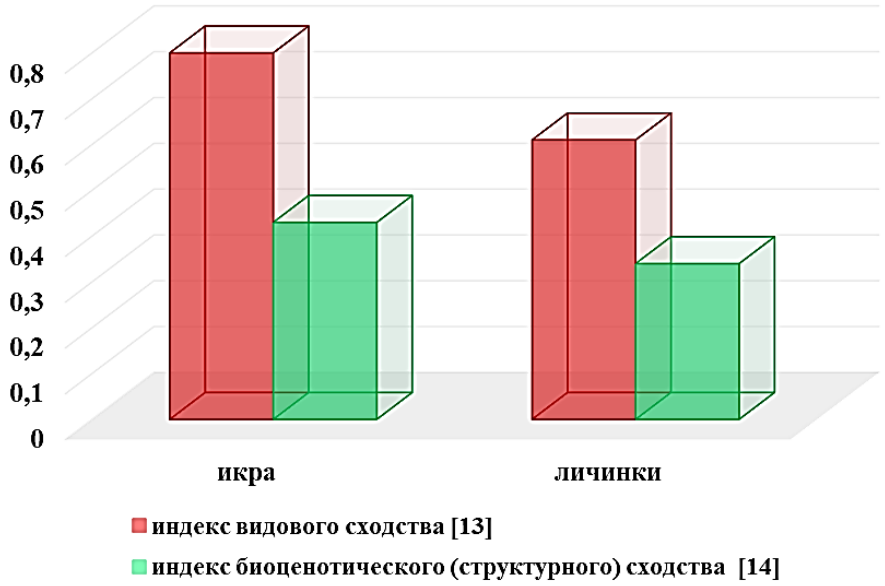


Рисунок 4 – Индексы сходства видового состава и структуры сообществ ихтиопланктона прибрежных акваторий г. Севастополя и у Карадага

Благодаря отсутствию в ихтиопланктоне у юго-западной части Крымского полуострова ярко выраженного доминирования отдельных видов, состояние ихтиопланктонного комплекса в акватории характеризовалось довольно высокими индексами видового богатства и видового разнообразия, схожая картина сложилась и в прибрежных водах у Карадагского заповедника, где более низкие величины индекса видового богатства были обусловлены лишь меньшим по сравнению с акваторией Севастополя количеством видов и большей численностью экземпляров в лове за счет горизонтальной методики отбора проб путем буксирования сети в приповерхностном слое (табл. 2).

Необходимо отметить, что, несмотря на то, что индексы видового разнообразия ихтиопланктона, доминирования и выровненности в прибрежных акваториях юго-западного Крыма практически совпадали с таковыми в июне 2013 года [26], показатели средней численности икры в этом районе исследований различались в 4 раза (41,0 экз./м^2 икры и 6,4 экз./м^2 личинок в 2013 году и 161,5 экз./м^2 икры и 25,1 экз./м^2 личинок в 2020 году). Видовой состав в июне 2020 г. расширился представителями видов *Sciaena umbra, Serranus scriba, Ctenolabrus rupestris, Arnoglossus kessleri.*

Таблица 2 – Биоценотические индексы ихтиопланктона акваторий у г. Севастополя (I) и Карадагского природного заповедника (II)

Индексы	Регион	
	I	II
Индекс видового разнообразия, H	2,88	3,02
Индекс видового богатства, D	23,97	16,46
Индекс доминирования, C	0,21	0,19
Индекс выровненности, e	0,53	0,58

Мы также рассмотрели динамику изменения числа встреченных видов ихтиопланктона и средней численности икры и личинок рыб по данным различных годов исследований на юго-западном шельфе Крымского полуострова [24, 26, 27, 28]. Для анализа использованы данные за июнь (начало летнего нерестового сезона) по станциям, находящимся в устьевой части Севастопольской бухты (рис. 5). Построенная диаграмма указывает на тренд к увеличению как видового разнообразия, так и численности икры и личинок рыб, в том числе и промысловых видов. Величины достоверности аппроксимации и уравнения линий трендов для показателей численности икры, личинок рыб и количества встречаемых видов указаны в табл. 3. Для составления более точных прогнозов при построении линий трендов для численности икры и личинок рыб, а также количества встреченных видов применили полиномиальные тренды. При

установке прогноза на 2-3 периода вперед тенденция возрастания показателей сохраняется, что может указывать на восстановление значимости данного района исследований в качестве района, благоприятного для нереста и нагула природных популяций черноморских рыб, в том числе и промысловых видов.

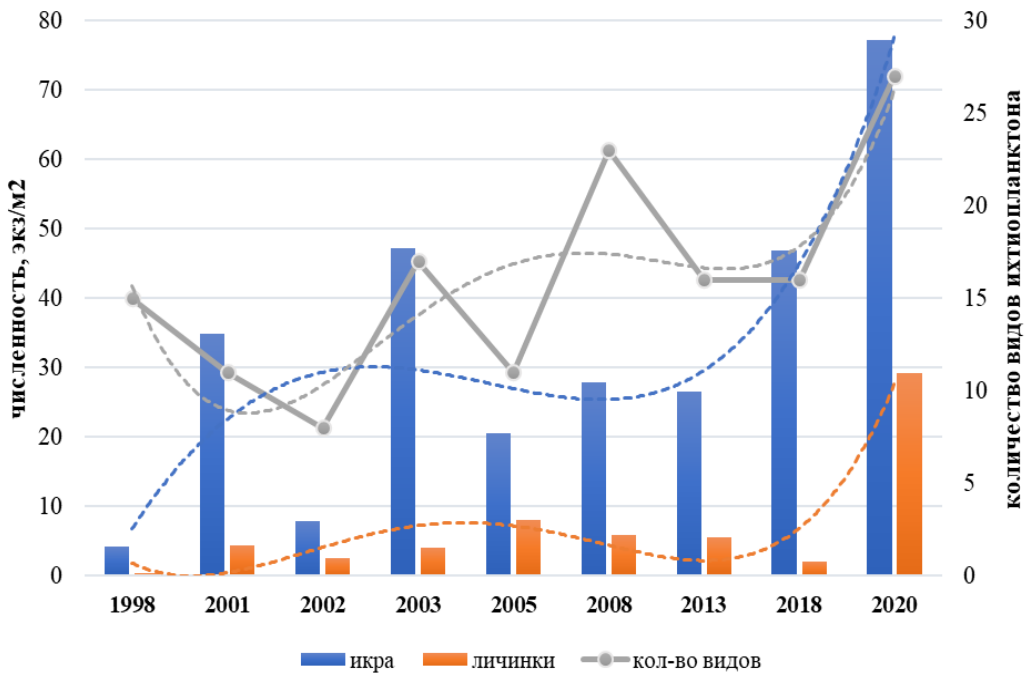


Рисунок 5 – Средняя численность икры и личинок рыб (экз./м^2) и количество видов ихтиопланктона в различные годы исследований в начале летнего нерестового сезона (июнь) в устьевой части Севастопольской бухты

Таблица 3 – Величины достоверности аппроксимации и уравнения линий трендов для показателей численности икры, личинок рыб и количества встречаемых видов ихтиопланктона в разные годы исследований

	Достоверность аппроксимации	Уравнение линии тренда (прогноза)
Икра	$R^2 = 0,7555$	$y = 0,0274x^4 + 0,1838x^3 - 6,3544x^2 + 33,198x - 20,234$
Личинки	$R^2 = 0,8843$	$y = 0,1235x^4 - 2,1609x^3 + 12,386x^2 - 25,246x + 16,722$
Количество видов	$R^2 = 0,6905$	$y = 0,0918x^4 - 1,8567x^3 + 12,871x^2 - 33,681x + 38,222$

Выводы

В прибрежной акватории северо-западной части Черного моря в летний нерестовый сезон 2020 г. было идентифицировано 43 вида ихтиопланктона: 22 вида икры и 38 видов личинок рыб. В ихтиопланктоне у берегов Карадага обнаружено 36 видов: икринки 20-ти видов и личики – 27-ми. Видовой состав ихтиопланктона обоих районов исследований различался незначительно, индекс видового сходства Сёренсена по ихтиопланктону в общем составил 0,73. Видовое сходство по икре рыб достигало 0,8, по личинкам – 0,61. Однако структура видового состава ихтиопланктона исследуемых районов, напротив, обнаружила невысокое сходство по индексу Константинова [14] как для икры (0,43), так и для личинок (0,34). Это могло быть обусловлено как различием в степени удаленности станций от берега, так и вероятными различными путями формирования ихтиопланктонных сообществ, в том числе в связи с гидрологическими и эколого-географическими особенностями регионов исследования.

В акватории г. Севастополя большая часть икры была представлена семейством Спаровых Sparidae spp. (39 %). Доли икры ставриды *Trachurus mediterraneus* и хамсы *Engraulis encrasicolus* в пробах были равнозначны (чуть более 20 %). Икра султанки составляла около 10 %, остальные виды в пробах встречались единичными экземплярами. В прибрежной акватории у Карадага преобладали икра султанки *Mullus barbatus* (37 %), морского дракончика *Trachinus draco* (17 %) и хамсы *Engraulis encrasicolus* (17 %). Достаточно обычными были икринки скорпены *Scorpaena porcus* и ставриды *Trachurus mediterraneus* (7-10 %).

Основную часть личинок в акватории у г. Севастополя составляли хамса *Engraulis encrasicolus*, ставрида *Trachurus mediterraneus*, семейство Спаровые Sparidae spp. Пятью видами были представлены в прибрежных акваториях семейство бычковых Gobiidae: *Gobius niger, Gobius bucchichi, Pomatoschistus marmoratus, Pomatoschistus minutus, Pomatoschistus pictus*. Их доля в общей

численности личинок составляла 20 %. Личинки собачковых (сем. Blenniidae) в ловах составляли незначительную группу. В акватории у Карадага наиболее представленными были личинки атерин (20 %), преимущественно *Atherina presbyter*, личинки хамсы (13 %) и султанки *Mullus barbatus* (6 %).

В прибрежных акваториях западного сектора Черного моря у Крымского полуострова по сравнению с 90-ми гг. прошлого века наблюдается устойчивая тенденция к росту как видового разнообразия, так и численности икры и личинок рыб, в том числе и промысловых видов, что можно рассматривать как признаки восстановления рыбохозяйственной значимости данного района, где формируются благоприятные условия для нереста природных популяций рыб и их выживания на ранних стадиях развития.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ: к.б.н. Климовой Т.Н. за помощь в идентификации ихтиопланктона и ценные советы при подготовке статьи. Дацик Н.А. и к.б.н. Аннинскому Б.Е. за предоставление дополнительных материалов для исследований. Экипажу судов малого научного флота за помощь в сборе ихтиопланктонных проб.

Работа выполнена в рамках бюджетных тем: № 121030100028-0 «Закономерности формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсов Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» и № 121032300019-0 «Изучение фундаментальных физических, физиолого-биохимических, репродуктивных, популяционных и поведенческих характеристик морских гидробионтов».

Список использованной литературы:

1. *Marshall K.N., Duffy-Anderson J.T., Ward E.J., Anderson S.C., Hunsicker M.E., Williams B.C.* Long-term trends in ichthyoplankton assemblage structure, biodiversity, and synchrony in the Gulf of Alaska and their relationships to climate // Progress in Oceanography. 2019. Vol. 170. P. 134-145.
2. *Водяницкий В.А., Казанова И.И.* Определитель пелагических икринок и личинок рыб Черного моря // Тр. ВНИРО. 1954. Т. 28. С. 240-320.
3. *Виноградов К.А.* Список рыб Чёрного моря, встречающихся в районе Карадагской биологической станции, с замечаниями об их биологии и экологии // Труды Карадагской биологической станции. 1949. Вып. 7. С. 76-106.

4. *Овен Л.С.* Пелагические икринки рыб в Черном море у Карадага // Труды Карадагской биологической станции. 1959. Вып. 15. С. 13-30.
5. *Багнюкова Т.В.* Ихтиопланктон акватории Карадагского природного заповедника (Черное море) // Заповідна справа в Україні. 1995. Т.1. С.57-63.
6. *Багнюкова Т.В.* Динамика репродктивных характеристик и интенсивности нереста массовых видов черноморских рыб в районе Карадага. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата биологических наук. Севастополь, 1996. 25 с.
7. *Багнюкова Т.В.* Ихтиофауна // Карадагский природный заповедник. Летопись природы, 1997. Карадаг, 1998. С. 57-65.
8. *Дехник Т. В., Павловская Р.М.* Закономерности распределения, динамики численности и выживания рыб на ранних этапах онтогенеза // Основы биологической продуктивности Черного моря / АН УССР, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского; под общ. ред. В.Н. Грезе. К.: Наук. думка, 1979. Гл. 12, [разд.] 12.3. С. 268-279.
9. *Дехник Т. В.* Ихтиопланктон Черного моря. К.: Наукова думка. 1973, 234 с.
10. *D'Ancona, U.* Uova, larve e stadigiovanili di Teleostei: Gadidae // Fauna e Flora del Goifo di Napoli, Monogr. 1933. Vol. 38. P. 182-255.
11. *Russell F.S.* The eggs and planktonic stages of British marine fishes. London; New York; San Francisco: Acad. Press, 1976. 524 p.
12. World Register of Marine Species – WoRMS. URL: https://www.marinespecies.org (дата обращения: 05.11.2021).
13. *Sörensen T.* A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content // Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biol. krifter. Bd V. 1948. No. 4. P. 1-34.
14. *Константинов А. С.* Использование теории множеств в биогеографическом и экологическом анализе // Успехи современной биологии. 1969. Т. 67. Вып. 1. С. 99-108.
15. *Shannon C.B., Weaver W.* The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): Univ. of Illinois Press, 1963. 345 p.
16. *Simpson E.H.* Measurement of diversity // Nature (London). 1949. Vol. 163. No. 4148. P. 668.
17. *Margalef R.* Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton // Perspectives in Marine Biology. Berkeley: Univ. of California Press, 1958. P. 323-347.
18. *Pielou E.C.* Shannon's formula as a measure of species diversity: its use and measure // Amer. Natur. 1966. Vol. 100. P. 463-465.
19. *Воронин И.Н.* Севастополь: природа, экономика, экология. Симферополь: Крымское уч.-пед. гос. изд-во, 1998. 96 с.
20. *Жунько Л.М., Иванов В.А., Ильин Ю.П., Овсяный Е.И., Романов А.С.* Система экологического мониторинга морской среды Севастопольского региона: обоснование и организационная концепция // Глобальная система наблюдений Черного моря. Фундаментальные и прикладные аспекты. Севастополь: Аквавита, 2000. С. 109-118.
21. Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу / Под ред. Е.В. Павловой, Н.В. Шадрина. Севастополь: Аквавита, 1999. 299 с.
22. *Гордина А.Д.* Значение зарослевых биоценозов в воспроизводстве запасов рыб Черного моря: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.00.10 / Анна Давыдовна Гордина. Севастополь, 1974. 24 с.
23. *Одум Ю.* Экология. М.: Мир. 1986, Т. 2. 376 с.
24. *Климова Т. Н.* Ихтиопланктон Черного моря как индикатор экологического состояния шельфовых вод Украины: автореф. дис. … канд. биол. наук: 03.00.10 / Татьяна Николаевна Климова. М., 2006. 24 с.
25. Современное состояние ихтиофауны Черного моря / Под ред. С.М. Коновалова Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 1995. 215 с.
26. *Климова Т.Н., Вдодович И.В., Загородняя Ю.А., Финенко Г.А., Дацык Н.А.* Ихтиопланктон и трофические взаимоотношения в планктонных сообществах прибрежной акватории

юго-западного Крыма (Черное море) в летний сезон 2013 г. // Морской биологический журнал. 2019. Том 4. № 2. С. 1-11.
27. *Климова Т.Н., Вдодович И.В.* Численность, видовое разнообразие ихтиопланктона и особенности питания личинок рыб в прибрежной акватории юго-западного Крыма в 2000-2009 гг. // Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей / Ред.: В.Н. Еремеев, А.В. Гаевская, Г.Е. Шульман, Ю.А. Загородняя; НАН Украины, Институт биологии южных морей НАН Украины. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. С. 101-116.
28. *Подрезова П. С., Губанов В. В.* Сезонное распределение ихтиопланктона в акватории Севастопольской бухты // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф. 23-26 сентября 2019 г. / Под ред. Л. И. Лукиной, Н. В. Ляминой. Севастополь: СевГУ, 2019. С. 1293-1297.

References:

1. Marshall K.N., Duffy-Anderson J.T., Ward E.J., Anderson S.C., Hunsicker M.E., Williams B.C. Long-term trends in ichthyoplankton assemblage structure, biodiversity, and synchrony in the Gulf of Alaska and their relationships to climate. *Progress in Oceanography*, 2019, vol. 170, pp. 134-145. (In English).
2. Vodyanitskiy V.A., Kazanova I.I. *Opredelitel' pelagicheskikh ikrinok i lichinok ryb Chernogo morya* [Keys to pelagic eggs and larvae of fish of the Black Sea]. *Trudy VNIRO* [Proceedings of the VNIRO], 1954, vol. 28, pp. 240-320. (In Russian).
3. Vinogradov K.A. Spisok ryb Chornogo morya, vstrechayushchikhsya v rayone Karadagskoy biologicheskoy stantsii, s zamechaniyami ob ikh biologii i ekologii [List of fish (species) of the Black Sea found near the Karadag biological station, with comments on their biology and ecology]. *Trudy Karadagskoy biologicheskoy stantsii* [Proceedings of the Karadag Biological Station], 1949, issue 7, pp. 76-106. (In Russian).
4. Oven L.S. Pelagicheskiye ikrinki ryb v Chernom more u Karadaga [Pelagic eggs of fish in the Black Sea near Karadag] *Trudy Karadagskoy biologicheskoy stantsii* [Proceedings of the Karadag biological station], 1959, issue 15, pp. 13-30. (In Russian).
5. Bagnyukova T.V. Ihtioplankton akvatorii Karadagskogo prirodnogo zapovednika (Chernoe more) [Ichthyoplankton in the water area of the Karadag nature reserve (Black Sea)]. *Zapovidna sprava v Ukraïni* [Nature Reserve Activity in Ukraine], 1995, vol. 1, pp.57-63 (In Russian).
6. Bagnyukova T.V. *Dinamika reprodktivnykh kharakteristik i intensivnosti neresta massovykh vidov chernomorskikh ryb v rayone Karadaga. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Dynamics of reproductive characteristics and spawning intensity of mass species of Black Sea fish in the Karadag region. Cand. biol. sci. diss. abstr.]. Sevastopol, 1996, 25 p. (In Russian).
7. Bagnyukova T.V. Ikhtiofauna [Ichthyofauna]. *Karadagskiy prirodnyy zapovednik. Letopis' prirody, 1997* [Karadag Natural Reserve. Chronicle of Nature, 1997]. Karadag, 1998, pp. 57-65. (In Russian).
8. Dekhnik T.V., Pavlovskaya R.M., Greze V.N. (ed.) Zakonomernosti raspredeleniya, dinamiki chislennosti i vyzhivaniya ryb na rannikh etapakh ontogeneza [Patterns of distribution, dynamics of abundance and survival of fish at the early stages of ontogenesis]. *Osnovy biologicheskoy produktivnosti Chernogo morya* [Foundation of the biological productivity of the Black Sea]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1979, chapter 12, pp. 268-279. (In Russian).
9. Dekhnik T. V. *Ikhtioplankton Chernogo morya* [Ichthyoplankton of the Black Sea]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1973, 234 p. (In Russian).
10. D'Ancona, U. Uova, larve e stadigiovanili di Teleostei: Gadidae. *Fauna e Flora del Goifo di Napoli*, Monogr. 1933, vol. 38, pp. 182-255. (In Italian).
11. Russell F.S. The eggs and planktonic stages of British marine fishes. London, New York, San Francisco, Acad. Press, 1976, 524 p. (In English).
12. World Register of Marine Species – WoRMS. (In English). Available at: https://www.marinespecies.org (accessed 05.11.2021).

13. Sörensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biol. Krifter*, Bd V, 1948, no. 4, pp. 1-34. (In English).
14. Konstantinov A.S. Ispol'zovaniye teorii mnozhestv v biogeograficheskom i ekologicheskom analize [The use of set theory in biogeographic and ecological analysis]. *Uspekhi sovremennoy biologii* [Successes of modern biology], 1969, vol. 67, issue 1, pp. 99-108. (In Russian).
15. Shannon C.B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois), Univ. of Illinois Press, 1963, 345 p. (In English).
16. Simpson E.H. Measurement of diversity. *Nature* (London), 1949, vol. 163, no. 4148, p. 668. (In English).
17. Margalef R. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. *Perspectives in Marine Biology*. Berkeley, Univ. of California Press, 1958, pp. 323-347. (In English).
18. Pielou E.C. Shannon's formula as a measure of species diversity: its use and measure. *Amer. Natur.*, 1966, vol. 100, pp. 463-465. (In English).
19. Voronin I.N. *Sevastopol: priroda, ekonomika, ekologiya* [Sevastopol: nature, economy, ecology]. Simferopol, Crimean Educational and Pedagogical State Publ., 1998, 96 p. (In Russian).
20. Zhun'ko L.M., Ivanov V.A., Il'in Yu.P., Ovsyanyy Ye.I., Romanov A.S. Sistema ekologicheskogo monitoringa morskoy sredy Sevastopol'skogo regiona: obosnovaniye i organizatsionnaya kontseptsiya [System of ecological monitoring of the marine environment of the Sevastopol region: justification and organizational concept]. *Global'naya sistema nablyudeniy Chernogo morya. Fundamental'nyye i prikladnyye aspekty* [Global observation system of the Black Sea. Fundamental and applied aspects]. Sevastopol, Akvavita Publ., 2000, pp. 109-118 (In Russian).
21. Pavlova E.V., Shadrin N.V. (ed.) *Akvatoriya i berega Sevastopolya: ekosistemnyye protsessy i uslugi obshchestvu* [Water area and shores of Sevastopol: ecosystem processes and services to society]. Sevastopol, Akvavita Publ., 1999, 299 p. (In Russian).
22. Gordina A.D. *Znacheniye zaroslevykh biotsenozov v vosproizvodstve zapasov ryb Chernogo moray. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [The value of overgrown biocenoses in the reproduction of fish stocks in the Black Sea. Cand. biol. sci. diss. abstr.], Sevastopol, 1974, 24 p. (in Russian).
23. Odum Eu. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow, Mir Publ., 1986, vol. 2, 376 p. (In Russian).
24. Klimova T.N. *Ikhtioplankton Chernogo morya kak indikator ekologicheskogo sostoyaniya shel'fovykh vod Ukrainy. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Ichthyoplankton of the Black Sea as an indicator of the ecological state of shelf waters of Ukraine. Cand. biol. sci. diss. abstr.]. Moscow, 2006, 24 p. (In Russian).
25. Konovalov S.M. *Sovremennoye sostoyaniye ikhtiofauny Chernogo morya* [Current state of the Black Sea ichthyofauna.]. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 1995, 215 p. (In Russian).
26. Klimova T.N., Vdodovich I.V., Zagorodnyaya Yu.A., Finenko G.A., Datsyk N.A. Ikhtioplankton i troficheskiye vzaimootnosheniya v planktonnykh soobshchestvakh pribrezhnoy akvatorii yugo-zapadnogo Kryma (Chernoye more) v letniy sezon 2013 g. [Ichthyoplankton and trophic relationships in plankton communities of the coastal water area of the Southwestern Crimea (Black Sea) in the summer season of 2013]. *Morskoy biologicheskiy zhurnal* [Marine Biological Journal], 2019, vol. 4, no. 2, pp. 1-11 (In Russian).
27. Klimova T.N., Vdodovich I.V.; Eremeev V.N., Gaevskaya A.V., Shulman G.E., Zagorodnyaya Yu.A. (eds.) Chislennost', vidovoye raznoobraziye ikhtioplanktona i osobennosti pitaniya lichinok ryb v pribrezhnoy akvatorii yugo-zapadnogo Kryma v 2000-2009 gg. [Abundance, species diversity of ichthyoplankton and feeding habits of fish larvae in the coastal water area of the southwestern Crimea in 2000-2009]. *Promyslovyye bioresursy Chernogo i Azovskogo morey* [Commercial bioresources of the Black and Azov seas]. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 2011, pp. 101-116 (In Russian).

28. Podrezova P.S., Gubanov V.V.; Lukina L.I., Lyamina N. V. (eds.) Sezonnoye raspredeleniye ikhtioplanktona v akvatorii Sevastopol'skoy bukhty [Seasonal distribution of ichthyoplankton in the water area of the Sevastopol Bay]. *Sbornik statey po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2019», 23-26 sentyabrya 2019 g.* [Collection of articles on materials from the International Scientific and Practical Conference "Ecological, Industrial and Energy Security – 2019", September 23-26, 2019]. Sevastopol, SevGU Publ., 2019, pp. 1293-1297 (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Подрезова Полина Сергеевна	ведущий инженер отдела ихтиологии ФГБУН ФИЦ «ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН» 299011, Севастороль, пр-т Нахимова, 2 polyklim@gmail.com
Podrezova Polina Sergeevna	Lead engineer of the Department of ichthyology A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS 299011, Sevastopol, Nakhimov Avenue, 2 polyklim@gmail.com
Петрова Татьяна Николаевна	Инженер лаборатории биохимии и физиологии гидробионтов Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН» 298188, Республика Крым, г. Феодосия, п. Курортное, ул. Науки, 24. tanysha_07011977@mail.ru
Petrova Tatyana Nikolaevna	Engineer of the Laboratory of Biochemistry and Physiology of Aquatic Organisms T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the RAS – Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS 298188, Republic of Crimea, Feodosia, Kurortnoye stlm., Nauki str., 24 tanysha_07011977@mail.ru
Мальцев Владимир Иннокентьевич	канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимии и физиологии гидробионтов Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН» 298188, Республика Крым, г. Феодосия, п. Курортное, ул. Науки, 24 доцент кафедры водных биоресурсов и марикультуры Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 maltsev1356@gmail.com
Maltsev Vladimir Innokentiyevich	Ph.D. (Biol.), Senior Researcher of the Laboratory of Biochemistry and Physiology of Aquatic Organisms T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the RAS – Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS. 298188, Republic of Crimea, Feodosia, Kurortnoye stlm, Nauki str., 24 Associate Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Mariculture Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 maltsev1356@gmail.com

УДК 591.524.11.574.47(262.5) **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_81**

Сытник Н.А.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЗЕРА ДОНУЗЛАВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. В результате исследований, проводимых с 2019 г. по 2020 г., была проведена оценка содержания загрязняющих веществ в воде и донных отложениях озера Донузлав. Озеро Донузлав является одним из главных мест нагула многих промысловых видов рыб. Результаты исследований экологического состояния озера Донузлав в современных условиях позволяют дать прогнозную оценку эколого-физиологических процессов, обеспечивающих процессы жизнедеятельности гидробионтов в исследуемом водоеме, а также перспектив рыбохозяйственного использования озера Донузлав. Анализ динамики нефтепродуктов и тяжелых металлов в воде озера Донузлав показал, что количественное содержание нефтепродуктов в донных отложениях превышает их концентрацию в поверхностном слое, что говорит об аккумуляции донными отложениями загрязняющих веществ. Наблюдается превышение концентраций в воде никеля, цинка, марганца, железа и ртути, поступающие в поверхностные воды озера со сбросом сточных вод с сельскохозяйственных угодий, промышленными стоками, накоплений в районе порта и в местах дампинга. В работе выделены участки наибольшего и наименьшего загрязнения озера, обращено внимание на основные экологические проблемы и рассмотрены перспективы рыбохозяйственного использования озера Донузлав.
Ключевые слова: экологическое состояние, озеро Донузлав, поллютанты, загрязнение, экосистема, антропогенное воздействие, мониторинг, донные отложения.

Sytnik N.A.

ENVIRONMENTAL PROBLEMS AND PROSPECTS FOR FISHERIES USE OF LAKE DONUZLAV UNDER MODERN CONDITIONS

Abstract. As a result of studies carried out from 2019 to 2020, an assessment of the content of pollutants in the water and bottom sediments of lake Donuzlav was carried out. Lake Donuzlav is one of the main feeding grounds for many commercial fish species. The results of studies of the ecological state of lake Donuzlav in modern conditions make it possible to give a predictive assessment of the ecological and physiological processes that ensure the processes of vital activity of hydrobionts in the investigated reservoir, as well as the prospects for the fishery use of lake Donuzlav. Analysis of the dynamics of oil products and heavy metals in the water of lake Donuzlav showed that the quantitative content of oil products in bottom sediments exceeds their concentration in the surface layer, which indicates the accumulation of pollutants by bottom sediments. There is an excess of concentrations in the water of nickel, zinc, manganese, iron and mercury, entering the surface waters of the lake with the discharge of wastewater from agricultural land, industrial wastewater, accumulations in the port area and dumping sites. The work highlights the areas of the greatest and least pollution of the lake, draws attention to the main environmental problems and considers the prospects for the fishery use of lake Donuzlav.
Keywords: ecological state, Donuzlav lake, pollutants, pollution, ecosystem, anthropogenic impact, monitoring, bottom sediments.

Введение. Тенденции развития современной науки и практики в области рыбного хозяйства направлены на расширенное воспроизводство биологических

ресурсов в пресных и морских водоемах. Озеро Донузлав расположено у западного побережья Крыма. Техногенное вмешательство в 1961 году, вследствие прорыва через косу судоходного канала, привело к соединению озера с Черным морем. Уникальный морской залив обладает рядом благоприятных климатических и океанографических условий, высокой трофностью вод, хорошей продуктивностью мейо- и макробентоса, моллюсков, рыб детритофагов и бентофагов. Все это делает водоем чрезвычайно перспективным для промышленного культивирования рыб, моллюсков и водорослей [1].

Целью исследования является анализ и оценка экологического состояния и перспектив рыбохозяйственного использования озера Донузлав в современных условиях.

Материалы и методы исследования. Мониторинг экологического состояния озера Донузлав проводился специалистами лаборатории рыбохозяйственной экологии отдела «Керченский» ФГБНУ «ВНИРО» в период с 2019 г. по 2020 г. в мае, июне, октябре на станциях отбора проб (рис. 1). Пробы отбирались согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 «Общие требования к отбору проб донных отложений…» и ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб» из придонного и приповерхностного слоев, в которых определялись соленость, температура, водородный показатель, концентрация кислорода, биогенные элементы, тяжелые металлы, нефтеуглеводороды [2, 3].

Количественные оценки загрязняющих веществ получены в Лаборатории рыбохозяйственной экологии отдела «Керченский» ФГБНУ «ВНИРО» при использовании методов фотометрии, атомно-абсорбционной спектрофотометрии, инфракрасной спектрофотометрии.

Оценка уровня загрязненности воды проводилась в сопоставлении с величинами ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов, донных осадков [4].

Результаты исследования и их обсуждение. Отбор проб воды и грунта озера Донузлав был произведен на четырнадцати станциях, представленных на рисунке 1.

Рисунок 1 – Станции отбора проб на озере Донузлав

Отбор проб воды и донных отложений осуществлялся согласно ГОСТ 31861-2012 [2] и ГОСТ 17.1.5.01-80 [3]. Для исследования состояния морской среды использовались средние концентрации за каждый квартал.

Озеро Донузлав общеизвестно значительными залежами морского песка. С 1963 г. промышленную добычу песка в озере осуществляет Евпаторийский морской торговый порт, с 1994 г. добычу песка на северо-западном участке месторождения проводит строительное Управление Черноморского флота – а с 2003 г. – ряд частных компаний. Несмотря на возражения представителей крымской науки, экологов и общественности, добыча песка продолжается до настоящего времени, на что указывают космоснимки, представленные на

рисунке 2 [5]. Помимо этого, в средней части озера активно развиваются мидийные и устричные фермы, в верховье Донузлава – рыбоводное хозяйство.

Рисунок 2 – Колонна грузовиков, готовящаяся к погрузке песка на Северной косе озера Донузлав (в колонне насчитывается 45 автомобилей) [5]

Перечисленные факторы устанавливают перечень контролируемых параметров состояния экосистемы озера Донузлав при осуществлении экологического мониторинга водной среды:

- гидрологический и гидрохимический режим района исследований;
- оценку уровня загрязненности воды и донных отложений района добычи тяжелыми металлами, нефтепродуктами и хлорорганическими соединениями;
- оценку состояния биотической части экосистемы озера Донузлав (фито-, зоопланктон, донное сообщество).

На протяжении долгого периода экосистема озера Донузлав испытывает значительную антропогенную нагрузку, что вызывает необходимость проведения всестороннего мониторинга природной среды.

Кислородный режим – один из важнейших составляющих природных вод, в значительной степени определяющий скорость протекания процессов на биохимическом уровне. Кислород в поверхностных водах необходим для обеспечения условий для дыхания гидробионтов, самоочищения водоемов, окисления органических примесей.

Абсолютное содержание растворенного кислорода в озере неравномерно распределено, характеризуется большим разбросом величин. В весенний период поверхностный слой озера имел достаточно высокую обеспеченность кислородом (8,14-10,76мг/л), что благоприятно отражается на кислородном режиме (рис. 3). За счет большего прогрева воды уменьшение его содержание отмечается на мелководьях (7,97мг/л) [6].

Исследования, проводимые в июне 2020 года, показали повышенные значения (9,03 мг/л) кислорода в поверхностном слое воды на входе в озеро, что очевидно обусловлено воздействием более аэрированных черноморских вод и интенсивного развития процесса фотосинтеза, который приводит к высокому насыщению воды кислородом.

С конца ноября, в начале декабря, вследствие начала процессов общего охлаждения и осеннего перемещения водным масс происходит повышение содержания растворенного кислорода до 11,75 мл/л на поверхности и 12,09 мг/л – у дна в верховье Донузлава. Помимо высокой концентрации растворенного кислорода исследуемая акватория характеризовались пониженным содержанием свободно окисляемого органического вещества: величина $БПК_5$ менялась в границах 0,53-2,72 мг/л. Отмечена специфичность сезонной изменчивости исходного показателя – его максимальное значение в зимний и раннелетний периоды и наименьшее – в весенний.

Гидрохимический режим озера Донузлав оценивался по показателям: минеральный фосфор и азот (аммоний, нитриты, нитраты), металлы (общее железо, медь, никель, свинец, кадмий, цинк, хром, ртуть), растворенный кислород, $БПК_5$, нефтепродукты.

Материал для гидрохимических исследований собирали на постоянных станциях: мидийное хозяйство, устричное хозяйство, фоновый полигон, верховье озера Донузлав (самая глубокая часть), верховье озера Донузлав (300 м от берега), Черное море на входе в озеро Донузлав.

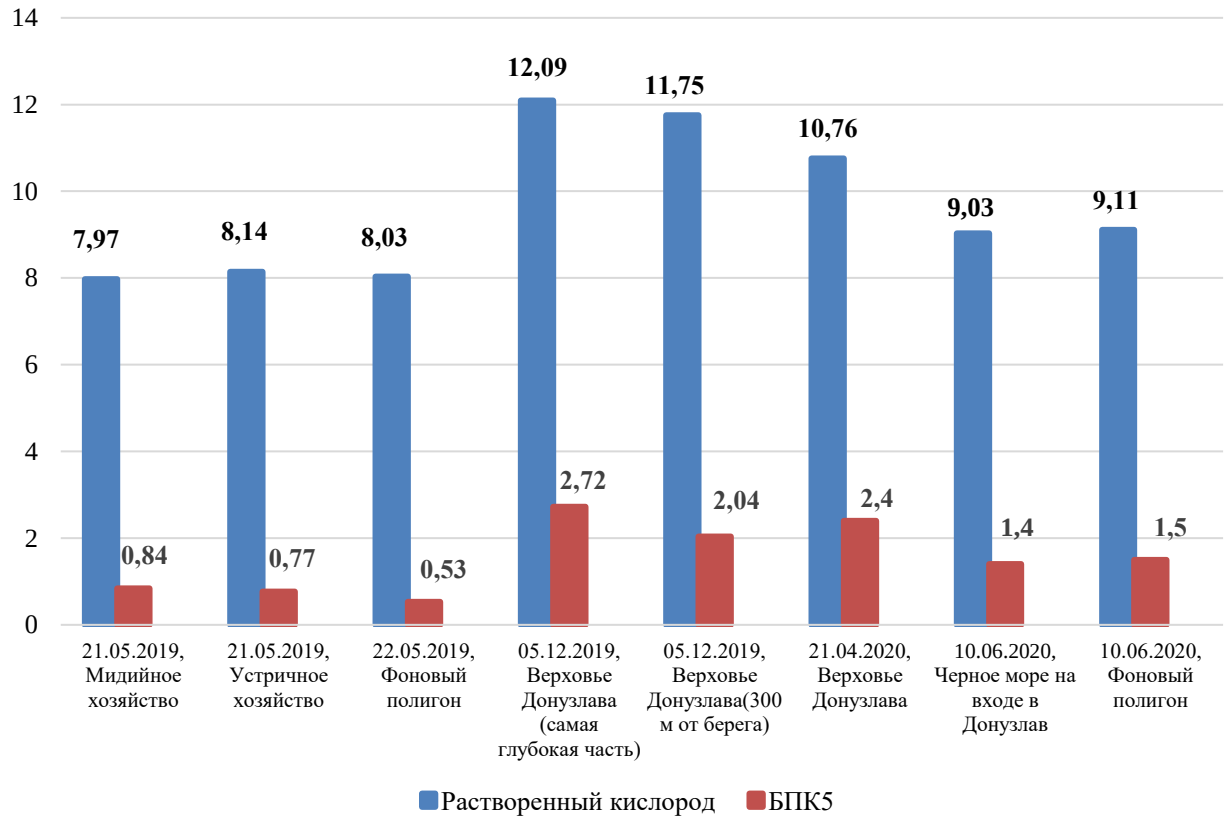


Рисунок 3 – Содержание растворенного кислорода и БПК$_5$ (мгО$_2$/дм^3) в оз. Донузлав в период исследований 2019-2020 гг.

Фосфор является необходимым элементом для жизнедеятельности экосистем, его экологическая роль различна. С одной стороны приток подвижных соединений фосфора способствует развитию водорослей, являющихся звеном в пищевой цепи гидробионтов, а с другой – являются основными компонентами, вызывающими процесс эвтрофирования с последующим сокращением запаса пресных вод.

Поступления фосфатов в озерные системы с подземными водами уступают поверхностному стоку из-за более низких концентраций фосфатов и слабой

интенсивности стока. Образующийся в процессе деструкции фосфор расходуется как питательный и стимулирующий развитие элемент для фитопланктона и водной растительности [7].

Средние концентрации фосфора за период исследований озера колебались в пределах 0,004-0,021 мг/дм^3.

Наибольшие концентрации минерального фосфора зафиксированы в мае 2019 года на станции устричного хозяйства (0,021 мг/дм^3). Это свидетельствует о значительном влиянии мидийно-устричной фермы на экологическое состояние вод озера Донузлав. Переработанная моллюсками пища возвращается в воду в виде соединений фосфора и азота.

Начиная с июня, прослеживается тенденция к уменьшению абсолютного содержания фосфатов, что обусловлено их интенсивным потреблением (до 0,004 мг/дм^3 в наиболее обедненной средней части озера) (рис. 4).

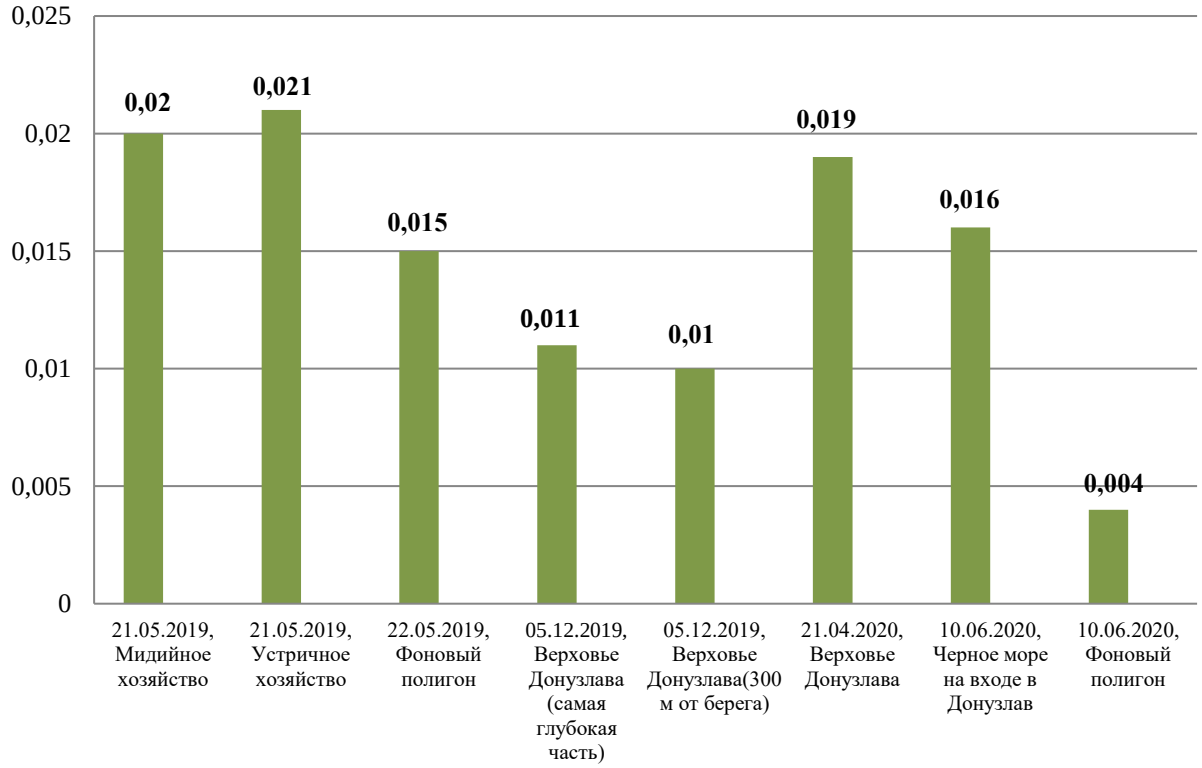


Рисунок 4 – Средние концентрации минерального фосфора (мг/дм^3) в оз. Донузлав в период исследований 2019-2020 г.г.

Также максимальные концентрации фосфатов соответствуют минимуму биомассы и отмечены в верховье Донузлава в апреле 2020 года (0,019 мг/дм^3). Большую роль в привнесении фосфора в озеро играют хозяйственно-бытовые стоки с коттеджных участков, расположенных в береговой зоне Донузлава.

Следует отметить, что полученные в ходе исследований показателей минерального фосфора в поверхностном слое озера Донузлав случаев его дефицита не было выявлено даже в период весенней и осенней вегетации фитопланктона. Это говорит о динамической активности вод исследуемого района, способствующей обогащению фосфатами от мидийно-устричной фермы в течение года.

Азот является важнейшим биогенным элементом, его формы представлены нитритным, нитратным, аммонийным азотом. Средние концентрации нитратов в озере составили 0,009-1,528 мг/дм^3 (рис. 5).

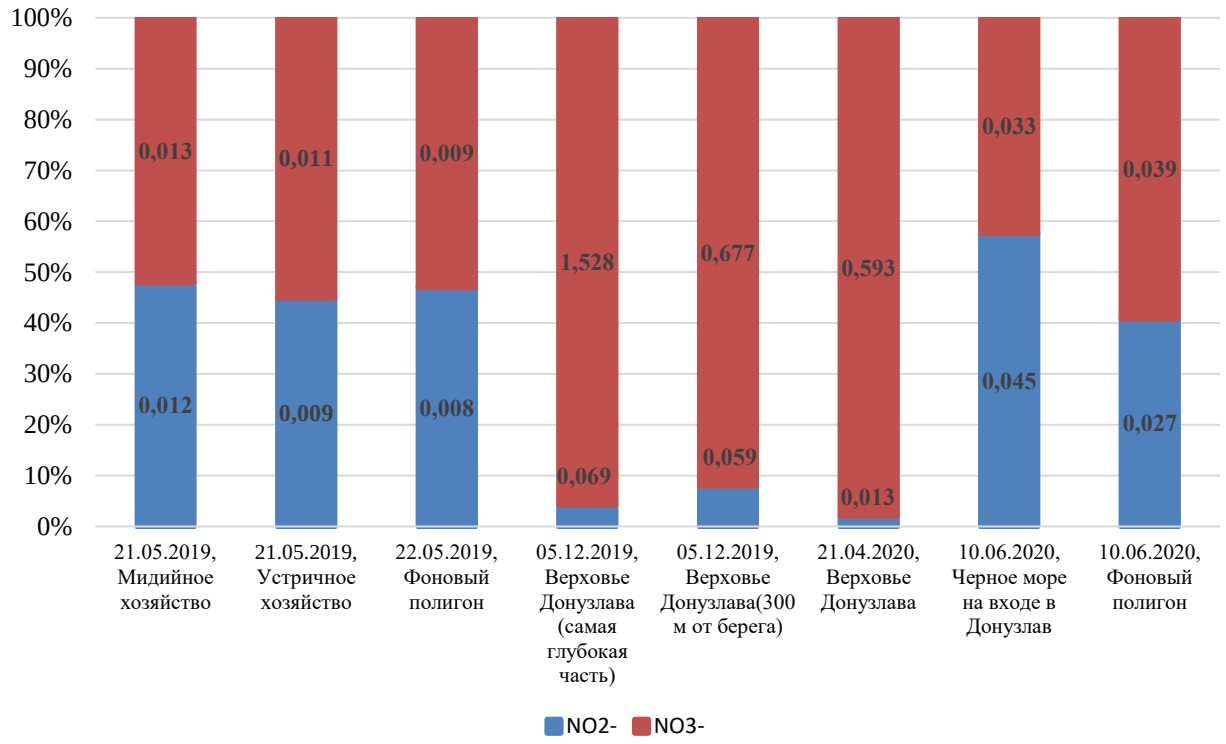


Рисунок 5 – Средние концентрации нитритного и нитратного азота (мг/дм^3) в оз. Донузлав в период исследований 2019-2020 г.г.

Нитратный азот поступает в объект исследования естественным образом посредством конвективного перемешивания вод в зимний период и апвеллингов в летний.

Исследования показали, что содержание нитратов в озере Донузлав в 2-7 раз превышают аналогичные показатели в Черном море, составляя 1,528 мг/дм^3.

Средние концентрации аммонийного азота составили 0,019-0,383 мг/дм^3. Максимальные концентрации определены на станциях мидийного хозяйства (0,383 мг/дм^3) и в верховье Донузлава в зимний период (0,345-0,357 мг/дм^3), что связано с поступлением аммонийного азота со сточными водами и уменьшением процесса фотосинтеза (рис. 6).

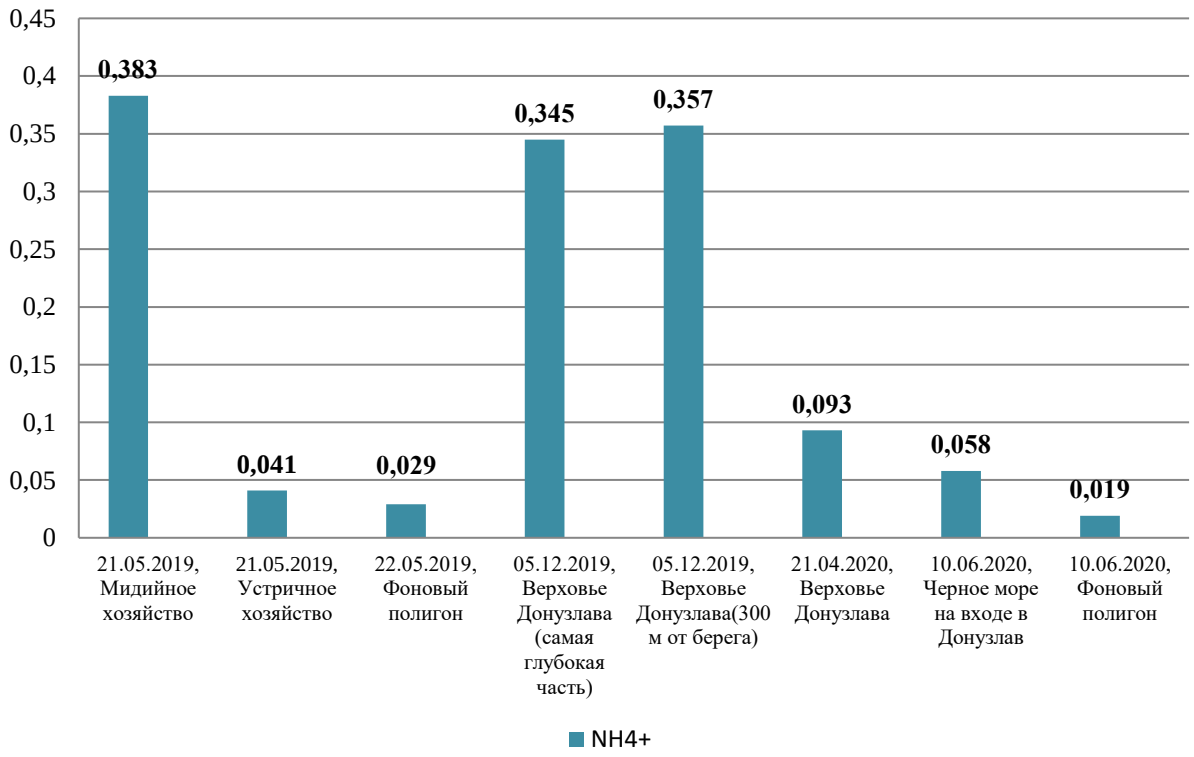


Рисунок 6 – Средние концентрации аммонийного азота (мг/дм^3) в оз. Донузлав в период исследований 2019-2020 г.г.

Минимум концентраций аммонийного азота отмечен в летний (0,058 мг/дм^3) и весенний период (0,029 мг/дм^3), что непосредственно связано со значительным его потреблением фитопланктоном, а также преобладанием

продукционных процессов над деструкционными.

При экологическом мониторинге экосистемы озера одним из наиболее важных и информативных объектов исследования являются донные отложения.

Донные отложения озера Донузлав имеют региональное происхождение. Отмечено также незначительное привнесение обломочных пород из Черного моря в акваторию озера, размыв берегов и процессы выветривания. Северо-западная часть дна Донузлава представлена в основном песками и илами мощностью от 1,3 до 2,4 м. На участках устрично-мидийного хозяйства песчаные отложения сменяются песчано-илистыми фракциями мощностью до 1,0 м.

По минералогическому составу пески относятся к карбонатным и карбонатно-детритовые, а по химическому – карбонатно-кальциевые (88-91 % $CaCO_3$), pH составляет 7,9-8,4. Мощность песчаных отложений колеблется от 0,7 до 20 м.

Отличительной особенность осадков озера Донузлав является повышенное содержание в них органического вещества (1,2-17,7 %) и водорастворимых солей (0,8-32 %), особенно в илистых слоях. Это свидетельствует о специфических условиях осадконакопления, которые существуют в озере. Имеет место тенденция к накоплению тяжелых металлов в донных отложениях.

Поступление нефтепродуктов происходит в основном в результате сброса льяльных вод с судов или из-за аварий на танкерах и нефтепроводах. Все компоненты нефти особо ядовиты для гидробионтов. Нефтепродукты воздействуют на структуру сообществ морских обитателей, вызывая изменения соотношения видов и сокращение их разнообразия.

Сгонно-нагонные процессы привносят обломочные породы из вершинной части озера Донузлав к его устьевым участкам, а также загрязняющие вещества вместе с донными осадками, формируя индивидуальные зоны циркуляции донных отложений.

Станции отбора проб были выбраны с учетом доступности уреза воды и присутствия локальной циркуляции вод и донных отложений. Пробы отбирались

в верховье озера и на входе в Донузлав из акватории Черного моря, что обеспечило возможность отследить изменение исследуемых показателей с удалением от пересыпи.

При оценивании уровня загрязнения вод озера нефтепродуктами использовался показатель $ПДК_{р.х.}$ = 0,05 мг/л, для оценки загрязненности донных отложений была взята классификация, в которой величина загрязнения соответствует благополучию бентосного сообщества [8].

Исследования показали, что содержание нефтепродуктов в водах озера Донузлав варьировало в диапазоне от 0,01 до 0,030 мг/дм^3, в среднем составляя 0,02 мг/дм^3. Максимум содержания нефтепродуктов (0,030 мг/дм^3) наблюдался в декабре 2019 года в верховье озера, а минимум – в глубинной части озера (0,01 мг/дм^3) (табл. 1).

В донных отложениях озера концентрации нефтепродуктов изменялись в диапазоне от 15,80 до 132,090 мг/дм^3, что соответствует I и III уровням загрязнения, возрастающими с юга на север вдоль исследуемого побережья, что является результатом сгонно-нагонных процессов (особенно в зимний период).

Таблица 1 – Содержание нефтепродуктов в воде и донных отложениях озера Донузлав (2019-2020 гг.)

Дата отбора проб	Наименование станции отбора проб	Нефтепродукты в воде, мг/дм^3	Нефтепродукты в ДО, мг/дм^3
05.12.2019	Верховье Донузлава (самая глубокая часть)	0,01	115,7
05.12.2019	Верховье Донузлава (300 м от берега)	0,030	132,090
21.04.2020	Верховье Донузлава	0,03	96,73
10.06.2020	Черное море на входе в Донузлав	0,02	15,80

Евпаторийский морской торговый порт является одним из основных

объектов, загрязняющих акваторию озера Донузлав тяжелыми металлами и нефтепродуктами [9]. В результате деятельности порта, в донных отложениях происходит кумуляция продуктов антропогенного воздействия. Вследствие чего, наблюдается уменьшение насыщения придонных слоев воды озера кислородом. Снижение окислительного потенциала, в свою очередь, может привести к преобладанию восстановительных процессов, которые сопровождаются миграцией из донных отложений в воду соединений металлов, азота и фосфора, что может стать причиной вторичного загрязнения природных вод.

В придонных водах озера Донузлав определялось количественное содержание наиболее опасных групп тяжелых металлов: Cu, Pb, Cd, Cr, Ni, Zn, Fe, Mn, Hg. Для определения металлов в воде использовался метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии.

Зафиксированные максимумы большинства тяжелых металлов в последние годы исследований позволяют сделать вывод о возрастании антропогенной нагрузки на экосистему озера Донузлав (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание микроэлементов, тяжелых металлов в донных отложениях озера Донузлав (2019-2020 гг.)

Дата отбора проб	Наименование станции отбора проб	Cu	Pb	Cd	Cr	Ni	Zn	Fe	Mn	Hg
21.05.2019	Мидийное хозяйство	19,64	4,62	0,09	11,51	25,24	153,05	6746,12	417,69	0,35
21.05.2019	Устричное хозяйство	23,87	4,49	0,19	10,13	33,60	271,23	7506,69	673,05	0,19
22.05.2019	Фоновый полигон	25,52	2,73	0,11	10,30	13,78	57,48	8476,80	421,64	0,19
21.04.2020	Верховье Донузлава	3,26	1,98	0,09	0,89	-	-	-	-	0,11
10.06.2020	Черное море на входе в Донузлав	11,88	1,81	0,08	0,70	4,27	24,8	39,51	8,19	0,09

По полученным данным распределение тяжелых металлов в озере зависит от вида хозяйственной деятельности. Медь, в основном попадает в озеро со стоком с сельскохозяйственных угодий. Свинец привносится с промышленным стоком или же образуется в результате круговорота веществ. Кадмий, преимущественно накапливается в районе порта и в местах дампинга. Здесь же наблюдаются большие концентрации никеля, цинка, марганца, железа и ртути, которые в поверхностные воды озера со сбросом сточных вод индустрии.

Озеро Донузлав уникально по видовому разнообразию, в нем обитает четверть всех рыб, встречаемых в Азово-Черноморском бассейне: 52 вида рыб из тридцати семейств. Из них 30 видов являются оседлыми и 22 вида – мигрантами. Оседлыми являются: бычок–песочник (*Neogobius fluviatilis*), камбала-глосса (*Platichthys flesus*), морской язык (*Solea solea*), рыба–игла (*Syngnathustyphle*), длиннорылый морской конек (*Hippocampus guttulatus*), зеленушка (*Symphodus tinca*), морские собачки (*Parablennius sanguinolentus*) [10].

Мигранты представлены семейством кефалевых: сингиль (*Liza aurata*), пеламида (*Sarda sarda*), черный горбыль (*Sciaena umbra*), севрюга (*Acipenser stellatus*). В озере также встречаются редкие и исчезающие виды: морской конек (*Hippocampus*), черноморская устрица (*Ostrea taurica*). В озере происходит нагул и зимовка кефали, камбалы, сельди, осетровых, черноморской креветки. Обширный спектр таксонов (более 101 вида) в мейобентосе свидетельствует о большом разнообразии условий в биотопах донных отложений и интенсивности их образований в озере.

В центральной части Донузлава биоценоз представлен песком и харовыми водорослями, встречается бычок кругляк (*Neogobius melanostomus*), барабуля (*Mullus*), зеленушка-рябчик (*Symphodus cinereus*), атерина (*Atherina*), сингиль (*Chelon aurata*), собачки морская (*Parablennius sanguinolentus*) и сфинкс (*Aidablennius sphynx*). На илисто-песчаных грунтах (у западного берега) в биоценозе рдеста и харовых водорослей уловы представлены бычком-травяником (*Zosterisessor ophiocephalus*), глазчатым губаном (*Symphodus*

ocellatus), молодью камбалы-глоссы (*Platichthys flesus*), пиленгаса (*Liza haematocheilus*). В глубоких местах озера обитает ставрида обыкновенная (*Trachurus trachurus*), сарган (*Belone belone*), мерланг (*Merlangius merlangus*).

Сезонные вариации температурного режима приводят к значительным изменениям в составе ихтиофауны озера. Осенью более 60 % видов рыб мигрирует на зимовку в Черное море, а в озере остаются только оседлые виды. В мае при температуре воды 15-17 °С начинается миграция годовиков сингиля, лобана, пиленгаса, а также барабули. В летний период нерестовые миграции в Черное море представлены такими рыбами как лобан, пиленгас, а в сентябре – сингиль.

Озеро Донузлав является важным рыбохозяйственным объектом, оно как одно из наиболее продуктивных бассейнов Черного моря относится к водоемам первой категории водопользования.

Осуществление комплекса мероприятий в прибережной или водоохраной зоне водоемов позволит кардинально уменьшить антропогенные нагрузки на аквальные и береговые комплексы, а также улучшить экологическое состояние их водосборных бассейнов.

Выводы. Основными антропогенными процессами, негативно влияющими на экологическое состояние озера Донузлав являются перегрузка и хранение генеральных, навалочных и наливных грузов, сельскохозяйственный комплекс и жилая застройка.

В течение периода исследований сезонная динамика содержания биогенных элементов в воде озера Донузлав и их соотношение определялись главным образом режимом температуры, солености и состоянием морской флоры, что характерно для природных вод, не подверженных значительной антропогенной нагрузке.

Распределение кислорода и биогенных элементов неравномерно по площади озера: в южной, глубоководной части отмечаются повышенные значения насыщения кислородом, сравнительно высокие концентрации

фосфатов при общем снижении их запасов в озере, а также высокое содержание нитратов. За счет ослабления процессов фотосинтеза и бактериального окисления аммонийного азота отмечается повышение его содержания и снижение концентрации нитритов.

Большую роль в поступлении биогенных элементов в озеро играют городские сточные воды и сельскохозяйственный комплекс, которые нередко становятся причиной эвтрофирования с последующим сокращением запаса пресных вод озера.

Оценка негативного воздействия хозяйственной деятельности на состояние окружающей природной среды озера и разработка практических мероприятий по ее уменьшению является первостепенным фактором в решении задач рационального использования природных ресурсов и охраны озера Донузлав.

Анализ динамики нефтепродуктов и тяжелых металлов в воде озера Донузлав показал, что количественное содержание нефтепродуктов в донных отложениях превышает их концентрацию в поверхностном слое, что говорит об аккумуляции донными отложениями загрязняющих веществ. Максимум нефтепродуктов (0,030 мг/дм^3 – поверхностная вода, 132,090 мг/дм^3 – придонная вода) наблюдался в верховье озера, а минимум – в глубинной части озера (0,01 мг/дм^3). Основными факторами, влияющими на увеличение уровня нефтепродуктов, являлись сгонно-нагонные процессы, особенно в зимний период, деятельность морского порта.

По полученным данным распределение тяжелых металлов в озере зависит от вида хозяйственной деятельности. Медь, в основном попадает в озеро со стоком с сельскохозяйственных угодий. Свинец привносится с промышленным стоком или же образуется в результате круговорота веществ. Кадмий, в основном накапливается в районе порта и в местах дампинга. Здесь же наблюдаются большие концентрации никеля, цинка, марганца, железа и ртути, которые в поверхностные воды озера со сбросом сточных вод индустрии.

Водная среда исследуемого объекта и прилегающая часть Черного моря имеет средний уровень загрязнения тяжелыми металлами, не превышает санитарно-допустимых уровней. В период мониторинга гидрохимических параметров экологическая обстановка была благоприятной для промысловых биоресурсов и кормовой базы рыб.

Осуществление комплекса мероприятий в прибережной или водоохраной зоне водоемов позволит кардинально уменьшить антропогенные нагрузки на аквальные и береговые комплексы, а также позволит улучшить экологическое состояние их водосборных бассейнов.

Разработка программы устойчивого развития рыбохозяйственного, рекреационного и промышленного блока озера, которая будет учитывать интересы всех направлений, и регулировать деятельность промышленности и сельского хозяйства, будет способствовать вовлечению в хозяйственную деятельность уникального прибрежного водоема с максимальным сохранением его экосистемы, обеспечению устойчивого эколого-социально-экономического развития региона.

Список использованной литературы:

1. *Тихоненкова Е.Г.* Влияние антропогенной деятельности на экологическое состояние геологической среды и геохимические ландшафты озера Донузлав // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2008. Т. 21 (60). № 3. С. 359-365.
2. ГОСТ 31861-2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200097520 (дата обращения: 06.10.2021).
3. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с Изменением N 1). URL: http://docs.cntd.ru/document/1200012787 (дата обращения: 06.10.2021).
4. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 (ред. от 10.03.2020) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». URL: https://docs.cntd.ru/document/420389120 (дата обращения: 07.10.2021).
5. *Иванютин Н.М.* Современное экологическое состояние озера Донузлав // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 3 (79). С. 47-58. URL: http://wemag.ru/arhiv/2019 (дата обращения: 13.11.2021).
6. *Филиппова Т.В.* Сезонные изменения содержания растворенного кислорода в озере Донузлав // Общество, образование, наука в современных парадигмах развития: Сборник трудов по материалам Национальной научно-практической конференции (26 ноября 2020 г.) / Под общ. ред. Масюткина Е.П.; науч. ред. Попова Т.Н. Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ»,

2020. С. 170-174. URL: http://www.kgmtu.ru/documents/nauka/obcshestvo,obrazovanie,nauka_vparadigmah_1-2020.pdf (дата обращения: 13.11.2021).
7. *Lucas A.* Bioenergetics of aquatic animals. Taylor & Francis, 1996. 169 p.
8. *Миронов О.Г., Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н.* О предельно допустимых концентрациях нефтепродуктов в донных осадках Черного моря // Гидробиологический журнал. 1986. Т. 22. № 6. С. 76-79.
9. *Филиппова Т.В.* Экологические проблемы озера Донузлав и пути их решения // Общество, образование, наука: современные тренды: Сборник трудов по материалам Национальной научно-практической конференции (16 октября 2020 г.) / Под общ. ред. Масюткина Е. П.; науч. ред. Попова Т.Н. Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2020. С. 80-84. URL: http://www.kgmtu.ru/documents/nauka/obcshestvo,obrazovanie,nauka-2020.pdf (дата обращения: 13.11.2021).
10. *Водяницкий В.А.* Определитель фауны Черного и Азовского морей. К.: Наукова думка, 2007. 437 с.
11. *Warmer H., van Dokkum R.* Water pollution control in the Netherlands: policy and practice 2001. Lelystad: RIZA, 2002. 75 p.

References:

1. Tikhonenkova E.G. Vliyanie antropogennoj deyatel'nosti na ekologicheskoe sostoyanie geologicheskoj sredy i geohimicheskie landshafty ozera Donuzlav [The influence of anthropogenic activity on the ecological state of the geological environment and geochemical landscapes of Lake Donuzlav]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Seriya: Geografiya* [Scientific notes of the Tauride National University named after V.I. Vernadsky. Series: Geography], 2008, vol. 21 (60), no. 3, pp. 359-365. (In Russian).
2. *GOST 31861-2012. Mezhgosudarstvennyj standart. Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [GOST 31861-2012. Interstate standard. Water. General requirements for sampling. (In Russian). Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200097520 (accessed 06.10.2021).
3. *GOST 17.1.5.01-80 Ohrana prirody (SSOP). Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob donnyh otlozhenij vodnyh ob"ektov dlya analiza na zagryaznennost' (s Izmeneniem N 1)* [GOST 17.1.5.01-80 Nature Conservation (SSOP). Hydrosphere. General Requirements for Sampling of Bottom Sediments of Water Bodies for Analysis of Pollution (with Amendment No. 1). (In Russian). Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200012787 (accessed 06.10.2021).
4. *Prikaz Minsel'hoza Rossii ot 13.12.2016 N 552 (red. ot 10.03.2020) «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnyh ob"ektov rybohozyajstvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshchestv v vodah vodnyh ob"ektov rybohozyajstvennogo znacheniya»* [Order of the Ministry of Agriculture of Russia of 13.12.2016 N 552 (revised from 10.03.2020) “On approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies”. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/420389120 (accessed 07.10.2021).
5. Ivanyutin N.M. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie ozera Donuzlav [Modern ecological state of Donuzlav lake]. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions], 2019, no. 3 (79), pp. 47-58. (In Russian). Available at: http://wemag.ru/arhiv/2019 (accessed 13.11.2021).
6. Filippova T.V., Masyutkin E.P. (gen. ed.), Popova T.N. (sci. ed.) Sezonnye izmeneniya soderzhaniya rastvorennogo kisloroda v ozere Donuzlav [Seasonal changes in the content of dissolved in Lake Donuzlav]. *Sbornik trudov po materialam Nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii «Obshchestvo, obrazovanie, nauka v sovremennyh paradigmah razvitiya»* [Proceedings based on the materials of the National Scientific and Practical Conference (November 26, 2020) “Society, education, science in modern paradigms of development]. Kerch, FGBOU VO “KGMTU” Publ, 2020, pp. 170-174. (In Russian). Available at:

http://www.kgmtu.ru/documents/nauka/obcshestvo,obrazovanie,nauka_vparadigmah_1-2020.pdf (accessed 13.11.2021).
7. Lucas A. *Bioenergetics of aquatic animals*. Taylor & Francis, 1996, 169 p. (In English).
8. Mironov O.G., Milovidova N.Yu., Kiryukhina L.N. O predel'no dopustimyh koncentraciyah nefteproduktov v donnyh osadkah Chernogo morya [On the maximum permissible concentrations of oil products in the bottom sediments of the Black Sea]. *Gidrobiologicheskij zhurnal* [Hydrobiological journal], 1986, vol. 22, no. 6, pp. 76-79. (In Russian).
9. Filippova T.V. Masyutkin E.P. (gen. ed.), Popova T.N. (sci. ed.) Ekologicheskie problemy ozera Donuzlav i puti ih resheniya [Ecological problems of Lake Donuzlav and ways to solve them]. *Sbornik trudov po materialam Nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii «Obshchestvo, obrazovanie, nauka: sovremennye trendy»* [Proceedings based on the materials of the National Scientific and Practical Conference (October 16, 2020) “Society, education, science: modern trends”]. Kerch, FGBOU VO “KGMTU” Publ, 2020, pp. 80-84. (In Russian). Available at: http: //www.kgmtu.ru/documents/nauka/obcshestvo,obrazovanie,nauka-2020.pdf (accessed 13.11.2021).
10. Vodyanitskiy V.A. Keys to the fauna of the Black and Azov seas. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2007, 437 p. (In Russian).
11. Warmer H., van Dokkum R. *Water pollution control in the Netherlands: policy and practice 2001*. Lelystad, RIZA, 2002, 75 p. (In English).

Сведения об авторах / Information about authors

Сытник Наталья Александровна	канд. биол. наук, доцент кафедры экологии моря Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 amtek-kerch@mail.ru
Sytnik Natalya Aleksandrovna	Ph.D. (Biol.), Associate Professor of the Department of marine ecology Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 amtek-kerch@mail.ru

УДК 621.3 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_99**

Авдеев Б.А.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ МОРСКИХ СУДОВ

Аннотация. В статье проанализированы аспекты по переносу успешных кейсов применения последних достижений в области энергоэффективности в морскую отрасль. Рассмотрен вопрос цифровизации судовой электростанции, судовой энергетической установки и судостроения в целом, показано, что переход к цифровым двойникам неизбежен. Одной из самых актуальных и сложных проблем для всей судовой отрасли является уменьшение углеродного следа в следствии сжигания нефтепродуктов. В свою очередь декарбонизация ставит перед собой такие задачи, как использования ветряных и солнечных источников электроэнергии, аккумуляторов в качестве источника энергии для движителя и переход на новые принципы движения. Даны примеры успешного применение нетрадиционной и альтернативной энергетики на судах, преимущества и сложности при реализации таких источников энергии, как энергия ветра и солнца. Особое место занимают гибридные судовые электростанции, позволяющие обеспечить экономию на 20 % и уменьшить выбросы углекислого газа для судов прибрежного плавания.
Ключевые слова: интеллектуальные сети электроснабжения, морская электроэнергетика, аккумуляторы, гребной двигатель, качество электроэнергии.

Avdeev B.A.

INTELLIGENT ENERGY-EFFICIENT SYSTEMS OF MARINE VESSELS

Abstract. The article analyzes aspects of transferring successful cases of applying the latest achievements in the field of energy efficiency to the maritime industry. The issue of digitalization of the ship power plant, ship power plant and shipbuilding in general is considered, it is shown that the transition to digital twins is inevitable. One of the most pressing and challenging issues for the entire shipping industry is reducing the carbon footprint from burning petroleum products. Decarbonization also entails tasks such as the use of wind and solar power sources, the use of batteries as a source of energy for the propulsion unit and the transition to new principles of motion. Examples of the successful application of non-traditional and alternative energy on ships are considered, the advantages and difficulties in the implementation of such energy sources as wind and solar energy are shown. A special place is occupied by hybrid ship power plants, which allow to provide savings of 20 % and reduce carbon dioxide emissions for coastal vessels.
Keywords: smart grids, marine power, batteries, propulsion, power quality.

Введение. Под судовой энергетической установкой подразумевается комплекс машин, механизмов, теплообменных аппаратов, источников энергии, устройств, трубопроводов и прочих систем — предназначенных для обеспечения движения судна, а также снабжения энергией различных его механизмов. Отдельной установкой выделяют судовую электростанцию – электроэнергетическую систему, предназначенную для генерирования, передачи, распределения электроэнергии между потребителями с последующим

преобразованием в другие виды энергии, необходимые для функционирования судна и бытовых нужд экипажа. Обе системы являются важнейшими системами судна, иными словами, обесточенное судно походит на парализованный слепоглухонемой объект, неспособного на выполнения поставленных заданий. В связи с тем, что автоматизация процессов на современных судах имеет высокий уровень, то разделить судовую энергетическую установку и электростанцию порой невозможно. Изменения в одной приводят к изменениям в другой, поэтому дальнейшее рассмотрение будет вестись для всего электроэнергетического комплекса.

Морская отрасль является очень традиционной отраслью, в которой нововведения приживаются с большим опозданием по сравнению с береговыми предприятиями. Причиной этого консерватизма является довольно закрытое общество производителей и эксплуататоров, излишняя зарегламентированость Международной морской организацией и классификационными обществами (Lloyd's Register of Shipping, Российский морской регистр судоходства, Bureau Veritas, DNV GL Group и др.), высокая капиталоёмкость судна и стоимость устранения аварий. Поэтому прогресс осуществляется очень локально в тех областях, к которым не прилагаются жесткие требования.

Целью исследования является изучение трендов современной электроэнергетики на примере интеллектуальных сетей электроснабжения, которые могли бы повысить экономическую выгоду и надежность работы судовых электроэнергетических комплексов.

Материалы и методы исследования. Вопросами перехода к Индустрии 4.0 занимается большое количество исследователей не только в России, но и во всём мире. До сих пор нет чётких требований, предъявляемых к современным сложных технологическим комплексам будущего, и каждая страна и отрасль делают акценты на разных технологиях. Вопросы, которые касаются развития электроэнергетического комплекса судна, рассматривались в [1-4].

Результаты исследования и их обсуждение. Рассмотрим более подробно

тенденции по переносу опыта использования интеллектуальных сетей электроснабжения в морскую электроэнергетику:

1. Декарбонизация

Декарбонизация – это снижение доли использования углеродного топлива. Для международных компаний вопрос снижения углеродного следа является таким же важным, как и операционная прибыль. Однако найти альтернативу нефтепродуктов – трудная задача, особенно для судов, совершающих большие переходы и потребляющие огромное количество топлива. Международные соглашения о необходимости борьбы с изменением климата заставляет искать компромисс между высокой прибылью и переходом к более дорогостоящим ресурсосберегающим технологиям [2]. Работа в этом направлении усилилась благодаря введению экологических норм, направленных на уменьшение воздействия изменения климата – в первую очередь, положений Приложения VI к Конвенции МАРПОЛ и Индекса проектирования энергоэффективности, а также возможного введения налогов на выбросы углерода. Сейчас делаются смелые шаги по замене дизельного двигателя на электрический двигатель с аккумуляторными батареями. Более подробно этот вопрос будет рассматриваться ниже.

2. Использование альтернативных источников электроэнергии на судах

Данный пункт является самым революционным и спорным. Но при всей сложности и дороговизне, не исключено что решения в этой области получат со временем внедрение на судах. К альтернативным источникам относят использование энергии ветра и солнца [5].

2.1 Энергия ветра

Методы, использующие ветер для обеспечения энергией судов, включают множество способов. Обычно это турбопаруса, спинакеры, мягкие паруса, крылатые паруса и ветряные турбины. Мягкие паруса исторически являются самыми старыми из этих методов, предшествовавшим использованию механических форм движения. В турбопарусе используется эффект Магнуса:

если ветер проходит через вращающийся цилиндр, создается подъемная сила. Эта сила имеет линейную зависимость от скорости ветра, и, в отличие от обычных парусов, поперечный ветер по отношению к судну будет создавать полезную прямую тягу при любой скорости судна, даже если она больше скорости ветра [6].

Единственным судном, использующим ветроэнергетику, является построенное в 2010 году на верфи Cassens Werft судно E-Ship (рисунок 1 а). В нём, в дополнение к двум дизель-генераторам суммарной мощностью 7 МВт, установлены 4 турбопаруса, позволяющие сэкономить 1,2-1,7 МВт мощности в зависимости от погодных условий. Нужно учесть, что наличие ветрогенераторов повышает ветровое сопротивление при движении судна против ветра, а выдаваемая мощность не позволяет заменить их в качестве основного движителя. Так, при мощности на валу 2769 кВт, не задействуя турбопаруса, судно двигалось бы со скоростью 14,3 узла, а с задействованными парусами при той же мощности на валу – со скоростью 16,7 узла. Для достижения такой скорости без парусов, теоретически понадобилось бы 4747 кВт. Из «сэкономленных» 1978 кВт необходимо вычесть 280 кВт, затрачиваемых на вращение турбопарусов, чтобы получить экономию в 1698 кВт.

Рисунок 1 – а) E-Ship; б) Ashington

Также можно отметить судно «Ashington», представленное на рисунке 1 б, и использующее крыло-паруса. В случае ветряных турбин, установленных на судах для выработки электроэнергии, требуется адекватная разностная скорость

ветра над ротором турбины. Для небольших судов и прогулочных лодок необходимо также учитывать гироскопические пары от ветряной турбины, чтобы предотвратить проблемы с остойчивостью на морском пути. При проектировании гребного винта необходимо учитывать некоторую поправку на среднюю мощность, получаемую от ветра, чтобы оптимизировать общие характеристики судна [7].

2.2 Энергия солнца

Фотогальванические методы генерации электроэнергии предлагают подход к выработке электроэнергии небольшой мощности на борту судна. Испытания показали, что максимальный вклад солнечных панелей невелик по сравнению с мощностью, необходимой для управления судном. Средняя необработанная мощность солнечного света является переменной, зависящей от широты и угла, под которым фотоэлектрический элемент расположен по отношению к солнцу. Влияние облачного покрова имеет большое значение с точки зрения энергии, которую можно получить от солнца с помощью этой технологии. Следовательно, погодные условия и положение на планете – это важные факторы, влияющие на развитие потенциала солнечной энергии [8].

Основным ограничением является отсутствие на судне большой площади для размещения солнечных панелей, которая не мешала бы погрузочно-разгрузочным операциям, швартовки или другим целям, для которых судно было спроектировано. Данная технология имеет низкую плотность электроэнергии на единицу массы, даже если эффективность солнечных панелей приблизить к 100%. Таким образом, в сочетании с максимально достижимой удельной мощностью от солнца и ограниченной доступной площадью палубы можно предположить, что вырабатываемая мощность будет использоваться только в локальных масштабах.

Крупнейшим судном на солнечных панелях, которое совершило в 2011 году кругосветное путешествие, стал катамаран Turanor (рисунок 2 а) от Planet Solar длиной 30 м и шириной 15 м. На нем установлено 38 тыс. солнечных

фотоэлементов. Заслуживает внимание французский катамаран Energy Observer (рисунок 2 б), построенный научно-исследовательским институтом CEA-Liten, длиной 30 метров. Отличительная особенность катамарана состоит в том, что основным источником энергии на судне являются не солнечные панели или две ветряные турбины, а система водородного источника – бортовой электролизер, который расщепляет морскую воду на кислород и водород. Последний хранится в газообразной форме в баках и используется в дни, когда безветренно и пасмурно [9].

Рисунок 2 – а) Turanor; б) Energy Observer

3. Переход к полностью электрическим судам

В последние годы произошли значительные улучшения аккумуляторов, их плотность энергии и мощность стала намного выше. Эти новые типы батарей можно заряжать быстрее; они имеют более низкую скорость саморазряда и при перезаряде ёмкость их практически не уменьшается. В морской отрасли требуется значительная мощность, и для всех прибрежных рейсов, кроме самых коротких, выходная мощность обычно должна поддерживаться в течение нескольких дней. Теоретически литий-воздушная батарея может высвободить 11780 Вт·ч при окислении одного килограмма лития [10]. В отличие от большинства других батарей, которые содержат необходимый окислитель внутри батареи, литий-воздушная батарея втягивает кислород из атмосферы во время разряда и высвобождает его во время зарядки. Следовательно, воздушно-

литиевые батареи могут быть очень легкими, но требуют средств подачи и удаления воздуха: аналогично двигателю, работающему на ископаемом топливе. Несмотря на высокую теоретическую плотность энергии литий-воздушной аккумуляторной технологии, достигаемые в настоящее время характеристики ниже, чем первоначально ожидалось от практического устройства (2000 Вт·ч/кг). Тем не менее, разработка литий-воздушных батарей находится на начальной стадии и сталкивается как с успехами, так и с неудачами; включая проблемы со снижением емкости, сроком службы, заметным несоответствием в зарядном и разрядном напряжениях, а также в ограничениях скорости диффузии кислорода [4]. Учитывая, что многие исследовательские группы работают в этой технической области, воздушно-литиевые батареи могут обещать значительный множитель плотности энергии по сравнению с лучшими текущими характеристиками технологии литиево-ионных аккумуляторов. Несмотря на потенциал литий-воздушных аккумуляторов, многие компании в Японии, Китае, Южной Корее, Европе и США считают, что характеристики имеющихся литий-ионных аккумуляторов можно значительно улучшить для морской отрасли.

По оценкам, к 2030 году стоимость как литий-воздушных, так и литий-ионных аккумуляторных батарей, будет аналогичной, а очень большие аккумуляторные блоки, подходящие для морских силовых установок, могут стоить в несколько раз меньше за кВт·ч, чем сейчас. Стоимость подзарядки будет связана со стоимостью электроэнергии, необходимой для зарядки батарей. В случае морских силовых установок это может быть обеспечено за счет ряда возобновляемых источников, питающих энергосистему порта.

В родственной технологии накопление энергии на основе суперконденсаторов было реализовано на небольшом 22-метровом пассажирском пароме Ar Vag Tredan (рисунок 3 а). Это судно совершает короткие рейсы на расстояние около 2,5 морских миль в защищенных водах с максимальной скоростью 10 узлов.

Первое в мире грузовое судно, не требующее присутствия людей на борту

и работающее от электричества, спустят на воду до конца 2021 года. Произведенный в Норвегии электрический автономный контейнеровоз Yara Birkeland (рисунок 3 б) будет перевозить грузы от Бревика до Хереема. Судно способно перевезти 103 контейнера при скорости 13 узлов за счёт двух силовых установок мощностью 900 кВт. На нем установят батарею емкостью семь мегаватт/час. Отсутствие экипажа не только сделает судно экологичнее, но и сократит расходы на зарплату.

а) б)

Рисунок 3 – а) Ar Vag Tredan; б) Yara Birkeland

4. Гибридные суда

Гибридная силовая установка – это вариант, при котором один или несколько режимов питания судна могут использоваться для оптимизации производительности по экономическим, экологическим или эксплуатационным причинам [11, 12]. Чаще всего сегодня различные режимы питают общую электрическую шину, от которой может потребляться мощность для различных целей. Например, новые постройки судов для паромного сообщения между Гебридскими островами, были реализованы таким образом, чтобы обеспечить сохранение окружающей среды, даже в ущерб экономичности [13, 14].

В связи с тем, что Черное и Азовское моря являются внутренними и период их самовыравнивания от антропогенного фактора по сравнению с открытыми морями значительно выше, то целесообразно в Азово-черноморском регионе использовать гибридную установку. Особенно в тех случаях, когда рейсы

совершаются в пределах этого региона или заходы в порт являются частыми (паромы, пассажирские и круизные суда, и т.д.). Примером такой системы может служить схема, представленная на рисунке 4.

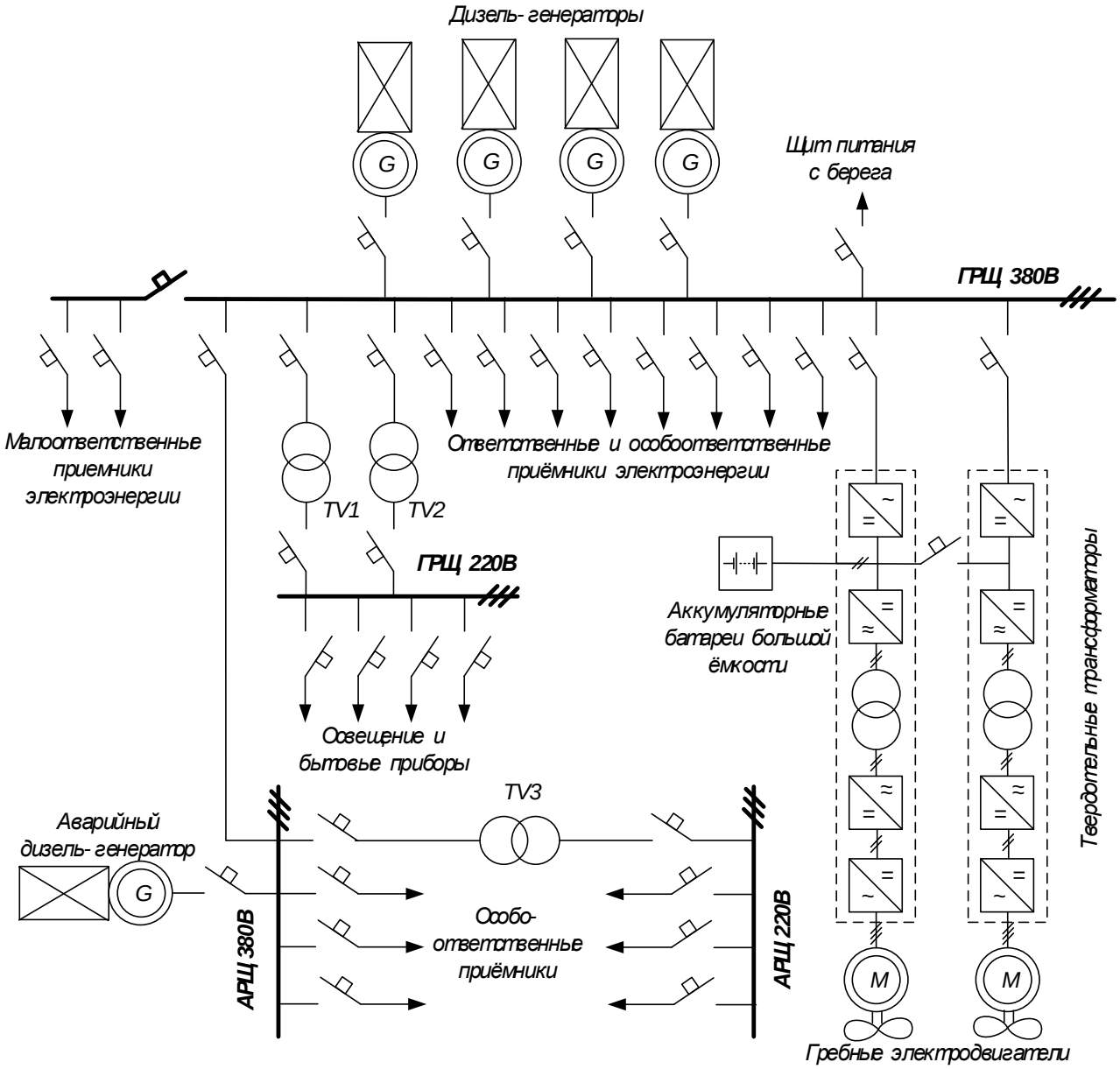


Рисунок 4 – Судовая электростанция с гибридной установкой

Двигательная установка состоит из дизельных двигателей и системы аккумуляторных батарей. В этом случае аккумуляторы можно заряжать либо от дизельных двигателей, либо от наземной сети, когда судно пришвартовано в порту. Во время плавания с малой нагрузкой судно также может работать только от батарей, питающих гребные электродвигатели. Отдельно стоит упомянуть об

ещё одном тренде электроэнергетики, который можно использовать в судовой электростанции – твердотельном трансформаторе [15]. Твердотельный трансформатор – преобразователь переменного тока, построенный на базе силовой полупроводниковой техники и предназначен для передачи, регулирования и распределения электроэнергии между цепями постоянного и переменного тока.

Основанием использования гибридной силовой установки являются:

• пониженный расход топлива;

• снижение воздействия выбросов CO_2 и других загрязняющих веществ;

• неопределенность будущих затрат на топливо;

• страхование от ужесточения экологического законодательства;

• подавление шума;

• возможность работы в режиме нулевого выброса, когда судно находится в порту.

Гибридная дизель-электрическая силовая установка будет использовать как минимум на 20 % меньше топлива для судовой энергетической установки, чем эквивалентная дизель-механическая силовая установка, работающая на проектной скорости с полностью загруженным судном. Эта экономия топлива в целом зависит от стоимости электроэнергии береговой сети. Это также приведет к сокращению выбросов CO_2, а на более низких скоростях и в условиях малой нагрузки может быть достигнута большая экономия топлива [16]. В порту судно может работать только от аккумуляторов с нулевыми выбросами CO_2 на борту судна. Гибридная силовая установка, таким образом, допускает дополнительную степень гибкости конструкции, позволяя конфигурировать судно так, чтобы сбалансированно уравновешивать ограничения экономики и запросов к состоянию окружающей среды, комбинируя различные источники энергии для удовлетворения требований рабочего профиля.

5. Электрификация и автоматизация

Процесс автоматизации судостроения и судоремонта, в том числе на базе

цифровых решений, начал развиваться в конце 2000-х годов. С этого момента идёт цифровая трансформация предприятий и внедрение во всех областях информационно-коммуникационных и вычислительных технологий [1]. С увеличением объема данных, поступающих из считывающих устройств, аналитические службы сосредотачиваются на анализе данных для прогнозирования нагрузки, планирования производства, управления пиками и повышения осведомленности потребителей об эффективности работы как отдельных узлов судовой электроэнергетической системы, так и судом в целом.

Цифровизация – это процесс, включающий в себя внедрение цифровых технологий, перенос процессов в электронный формат, упрощение коммуникации между отделами, автоматизация внутренних процессов и оцифровки всех процессов и документов. Цифровизация также включает понятие интернет-вещей (ИВ) – концепцию сети передачи данных между физическими объектами («вещами»), оснащёнными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой таким образом, чтобы как можно меньше задействовать человека. ИВ позволяет подключать производственные устройства, оснащенные функциями обнаружения, идентификации, обработки, связи, приведения в действие и создания сетей [17]. Сетевой контроль и управление судовым оборудованием, управление курсом и скоростью судна позволят уменьшить численность экипажа, а в некоторых случаях и отказать от него вовсе. Эксперты считают, что перед полноценным переходом на автономные суда необходимо решить некоторые проблемы. Передвижение в крупных портах потребует улучшения системы навигации и диагностики, поскольку при отсутствии человека на борту все внештатные ситуации придется решать компьютеру. Также следует иметь в виду юридические последствия тех или иных происшествий.

Цифровизация системы управления судном позволяет уменьшить количество ошибок, связанных с человеческим фактором. Интеллектуальные системы на базе ИВ позволяют быстро производить и оптимизировать процессы

под новые требования, а также быстро реагировать на перестройку в работе всей отрасли. ИВ может быть применен для управления как судовой электроэнергетической системой, так и для управления судна с капитанского мостика с помощью прогнозного обслуживания, статистической оценки и измерений для обеспечения максимальной надежности [3]. Судовые системы управления могут быть интегрированы с интеллектуальными сетями, что позволяет оптимизировать потребления топлива и электроэнергии.

Выводы. Рассмотрен ряд вариантов развития судовой энергетики. В то время как некоторые из них применимы в краткосрочной перспективе, другие являются среднесрочными и долгосрочными вариантами в связи с необходимыми техническими, коммерческими и юридическими причинами. Некоторые из них вряд ли будут реализованы в разумные сроки. Однако требуется всестороннее изучения этого вопроса, чтобы не отстать от современных достижений в области развития судовых электроэнергетических комплексов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации № МК-5450.2021.4.

Список использованной литературы:

1. *Бурков А.Ф., Миханошин В.В., Нгуен В.Х.* Повышение эффективности управления комбинированными энергетическими установками судов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2020. Т. 12. № 2. С. 381-389. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-381-389.
2. *Шатровский Д.А.* Перспективные энергетические установки большой мощности для морских судов // Судостроение. 2015. № 5. С. 33-35.
3. *Bouman E.A., Lindstad E., Rialland A.I., Strømman A.H.* State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review // Trans. Res. D Trans. Environ. 2017. Vol. 52. P. 408-421. DOI:10.1016/j.trd.2017.03.022.
4. *Zhukov V.A., Sherban S.A., Melnik O.V., Sokolov S.S., Kolesnichenko S.V.* Improvement of Methods and Means of Thermal Control of Ship Power Plants // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus. 2019. P. 389-392.
5. *Курылев А.С., Зайнутдинов Р.А., Курылев С.А.* Технологическое развитие энергоэффективных судов с альтернативными источниками энергии // Промышленная энергетика. 2019. № 7. С. 54- 60.
6. Балахнин В.А., Исаев С.А., Ремизов А.Д., Кажекин И.Е. О возможности использования на судах возобновляемых источников энергии на основе ветроустановок и солнечных панелей // Вестник молодежной науки. 2018. № 5 (17). С. 13.

7. *Trivyza N., Rentizelas A., Theotokatos G., Boulougouris E.* Decision support methods for sustainable ship energy systems: A state-of-the-art review // Energy. 2021. Vol. 239. P. 122288. DOI: 10.1016/j.energy.2021.122288.
8. *Тимофеев С.С.* Альтернативные источники энергии в судовых энергетических системах // Завалишинские чтения'17: сборник докладов. 2017. С. 217-222.
9. Катамаран на солнечных батареях «Turanor PlanetSolar» завершил кругосветное путешествие. URL: http: // korabley.net/news/katamaran_na_solnechnykh_batarejakh_turanor_planetsolar_zavershil_krugosvetnoe_puteshestvie/2012-05-10-1187 (дата обращения: 07.11.2021).
10. *Jeong B., Jeon H., Kim S., Kim J., Zhou P.* Evaluation of the Lifecycle Environmental Benefits of Full Battery Powered Ships: Comparative Analysis of Marine Diesel and Electricity. Journal of Marine Science and Engineering. 2020. Vol. 8. P. 580. DOI: 10.3390/jmse8080580.
11. *Авдеев Б.А.* Расчёт индуктивности для двунаправленного преобразователя постоянного напряжения в автономных подводных аппаратах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология, 2018. № 4. С. 107-114. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-4-107-114.
12. *Авдеев Б.А.* Расчет потерь двунаправленного преобразователя постоянного напряжения судовой электростанции постоянного тока // Энергобезопасность и энергосбережение. 2018. № 6. С. 24-26.
13. *Бурков А.Ф., Миханошин В.В., Нгуен В.Х.* Развитие прибрежного морского транспорта с гибридными энергоустановками на примере Дальневосточного региона // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова 2021. Т. 13. № 1. С. 102-114.
14. *Курылев А.С. Рубан А.Р., Курылев С.А.* Гибридные судовые энергетические установки. Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий // Материалы международной научно-практической конференции «Инфо-2016». М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2016. С. 478-480.
15. *Авдеев Б.А.* Устранение несимметрии трехфазного напряжения с помощью твердотельного трансформатора в интеллектуальных сетях электроснабжения // Вестник Московского энергетического института, 2021. № 4. С. 67-75. DOI: 10.24160/1993-6982-2021-4-67-75.
16. *Sciberras E. A. Zahawi B., Atkinson D. J.* Reducing shipboard emissions-Assessment of the role of electrical technologies // Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017. Vol. 51. P. 227-239. DOI: 10.1016/j.trd.2016.10.026.
17. *Geertsma R.D., Negenborn R.R., Visser K., Hopman J.J.* Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments // Appl. Energy. 2017. Vol. 194. P. 30-54. DOI:10.1016/j.apenergy.2017.02.060.

References:

1. Burkov A. F., Mikhanoshin V. V., Nguyen V. Kh. Povysheniye effektivnosti upravleniya kombinirovannymi energeticheskimi ustanovkami sudov [Improving the efficiency of management of combined power plants of ships]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* [Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], 2020, vol. 12, no. 2, pp. 381-389. (In Russian). DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-381-389.
2. Shatrovskiy D.A. Perspektivnyye energeticheskiye ustanovki bol'shoy moshchnosti dlya morskikh sudov [Perspective power plants of high power for sea vessels]. *Sudostroyeniye* [Shipbuilding], 2015, no. 5, pp. 33-35. (In Russian).
3. Bouman E.A., Lindstad E., Rialland A.I., Strømman A.H. State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review. *Trans. Res. D Trans. Environ*., 2017, vol. 52, pp. 408-421. (In English). DOI:10.1016/j.trd.2017.03.022.

4. Zhukov V.A., Sherban S.A., Melnik O.V., Sokolov S.S., Kolesnichenko S.V. Improvement of Methods and Means of Thermal Control of Ship Power Plants. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus*, 2019, pp. 389-392. (In English).
5. Kurylev A.S., Zainutdinov R.A., Kurylev S.A. Tekhnologicheskoye razvitiye energoeffektivnykh sudov s al'ternativnymi istochnikami energii [Technological development of energy efficient ships with alternative energy sources]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial energy], 2019, no. 7, pp. 54-60. (In Russian).
6. Balakhnin V.A., Isayev S.A., Remizov A.D., Kazhekin I.Ye. O vozmozhnosti ispol'zovaniya na sudakh vozobnovlyayemykh istochnikov energii na osnove vetroustanovok i solnechnykh paneley [On the possibility of using renewable energy sources on ships based on wind turbines and solar panels]. *Vestnik molodezhnoy nauki* [Bulletin of Youth Science], 2018, no. 5 (17), p. 13. (In Russian).
7. Trivyza N., Rentizelas A., Theotokatos G., Boulougouris E. Decision support methods for sustainable ship energy systems: A state-of-the-art review. *Energy*, 2021, vol. 239, p. 122288. (In English). DOI: 10.1016/j.energy.2021.122288.
8. Timofeyev S.S. Al'ternativnyye istochniki energii v sudovykh energeticheskikh sistemakh [Alternative energy sources in ship power systems]. S*bornik dokladov «Zavalishinskiye chteniya'17»* [Collection of reports “Zavalishinskie readings'17”], 2017, pp. 217-222. (In Russian).
9. *Katamaran na solnechnykh batareyakh «Turanor PlanetSolar» zavershil krugosvetnoye puteshestviye* [Catamaran on solar batteries “Turanor PlanetSolar” has completed its round-the-world trip]. (In Russian). Available at: http: // korabley.net/news/ katamaran_na_solnechnykh_batarejakh_turanor_planetsolar_zavershil_krugosvetnoe_puteshestvie/2012-05-10-1187 (accessed 07.11.2021).
10. Jeong B., Jeon H., Kim S., Kim J., Zhou P. Evaluation of the Lifecycle Environmental Benefits of Full Battery Powered Ships: Comparative Analysis of Marine Diesel and Electricity. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, vol. 8, p. 580. (In English). DOI: 10.3390/jmse8080580.
11. Avdeev B.A. Raschyot induktivnosti dlya dvunapravlennogo preobrazovatelya postoyannogo napryazheniya v avtonomnyh podvodnyh apparatah [Calculation of inductance for a bidirectional DC Converter in Autonomous underwater vehicles]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of the Astrakhan state technical University. Series: Marine engineering and technology], 2018, no. 4, pp. 107-114. (In Russian). DOI: 10.24143 / 2073-1574-2018-4-107-114.
12. Avdeev B.A. Raschet poter' dvunapravlennogo preobrazovatelya postoyannogo napryazheniya sudovoj elektrostancii postoyannogo toka [Calculation of losses of a bidirectional DC Converter of a ship's DC power plant]. *Energobezopasnost' i energosberezhenie* [Energy security and energy saving], 2018, no. 6, pp. 24-26. (In Russian).
13. Burkov A.F., Mikhanoshin V.V., Nguyen V.Kh. Razvitiye pribrezhnogo morskogo transporta s gibridnymi energoustanovkami na primere Dal'nevostochnogo regiona [Development of coastal sea transport with hybrid power plants on the example of the Far East region]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova* [Bulletin of the State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], 2021, vol. 13, no. 1, pp. 102-114. (In Russian).
14. Kurylev A. S., Ruban A. R., Kurylev S. A. Gibridnyye sudovyye energeticheskiye ustanovki. Innovatsii na osnove informatsionnykh i kommunikatsionnykh tekhnologiy [Hybrid ship power installations. Innovations based on information and communication technologies] *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Info-2016»* [Materials of the international scientific-practical conference “Info-2016”], Moscow, VSHE Publ., 2016, pp. 478-480. (In Russian).

15. Avdeev B.A. Ustraneniye nesimmetrii trekhfaznogo napryazheniya s pomoshch'yu tverdotel'nogo transformatora v intellektual'nykh setyakh elektrosnabzheniya [Elimination of three-phase voltage asymmetry using a solid-state transformer in smart power supply networks]. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta* [Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute], 2021, no. 4. pp. 67-75. (In Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2021-4-67-75.
16. Sciberras E. A. Zahawi B., Atkinson D. J. Reducing shipboard emissions-Assessment of the role of electrical technologies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, vol. 51, pp. 227-239. (In English). DOI: 10.1016/j.trd.2016.10.026.
17. Geertsma R.D., Negenborn R.R., Visser K., Hopman J.J. Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. *Appl. Energy*, 2017, vol. 194, pp. 30-54. (In English). DOI:10.1016/j.apenergy.2017.02.060.

Сведения об авторах / Information about authors

Авдеев Борис Александрович	канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 dirigeant@mail.ru
Avdeev Boris Aleksandrovich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the Department of Ship’s Electrical Equipment and Automatization Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 dirigeant@mail.ru

УДК 629.5 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_114**

Богатырева Е.В.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКОВ В СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация. В работе рассматриваются методы оценки рисков в судостроительном производстве при разработке технологических процессов, в частности, при стапельных и доковых работах. Проводится анализ существующих методов прогнозирования производственных рисков при монтаже оборудования, управления ими на этапе проектирования и оценка применимости их в судостроительном производстве. В связи с тем, что процессы судостроения являются весьма трудоемкими и требуют высокой интенсивности работы, они являются источниками многих опасностей. Рассматриваются методы, используемые для поддержки инструментов проектирования в судостроении, в частности, корпуса и судовой энергетической установки. Показана целесообразность совместного применения метода Case Based Reasoning (CBR) и кластеризации с необходимостью разработки кодировок случаев в базе данных. Характеристиками производственного процесса при совместном применении этих методов являются риски, как начальные факторы, и потери, как результаты выполнения процесса. Для этой цели следует различать соответствующие опасности и представлять степень этих опасностей с использованием количественных переменных.
Ключевые слова: судостроительное производство, производственные риски, прогнозирование, кластеризация, оценка рисков, классификация рисков.

Bogatyreva E.

METHODS OF RISK ASSESSMENT IN SHIPBUILDING INDUSTRY

Abstract. The paper considers methods of risk assessment in shipbuilding production during the development of technological processes, in particular, during slipway and dock work. The analysis of existing methods of forecasting production risks during installation of equipment, their management at the design stage and assessment of their applicability in shipbuilding production is carried out. Due to the fact that shipbuilding processes are very labor-intensive and require high intensity of work, they are sources of many dangers. The methods used to support design tools in shipbuilding, in particular, the hull and ship power plant, are considered. The expediency of the joint application of the Case Based Reasoning (CBR) method and clustering with the need to develop case encodings in the database is shown. The characteristics of the production process in the joint application of these methods are risks, as initial factors, and losses, as the results of the process. For this purpose, the relevant hazards should be distinguished and the degree of these hazards should be presented using quantitative variables.
Keywords: shipbuilding industry, production risks, forecasting, clustering, risk assessment, risk classification.

Введение. Судостроительное производство является весьма трудоемким и требует обеспечения высокой интенсивности. В результате производственные процессы являются источником многих опасностей, которые являются потенциальными причинами потерь. Поэтому одним из элементов проектирования процессов судостроительного производства, в частности,

производства корпусов судов, является анализ и оценка риска.

Процессы производства крупногабаритных стальных судовых конструкций, например, корпусов и рубок, составляют класс технологически наиболее совершенных производственных процессов стальных усиленных корпусных конструкций (рис. 1). Технологические процессы вне зависимости от назначения конструкции – включают два основных этапа производства: изготовление и сборку. Этап изготовления охватывает операции, в результате которых образуется совокупность структурных элементов (деталей). Фаза сборки состоит из взаимного ориентирования элементов и частей конструкций с последующим их объединением.

Рисунок 1 – Удлинение корпуса судна за счет вставки блока

Судовые конструкции могут состоять из тысяч элементов, что оправдывает проведение многоступенчатой сборки в последовательно-параллельном режиме, где узлы окончательной конструкции также являются результатом многоступенчатой сборки [1]. С учетом этого вводится понятие сборочной единицы, которая будет определяется как конструкция, собранная на одном

рабочем месте без перемещения по горизонтали. Сборочные единицы могут быть классифицированы в соответствии с возрастающей сложностью конструкции в процессе сборки.

В судостроении применяются следующие производственные технологии:

- обработка и подготовка проката: чистка, пескоструйная обработка, покраска;
- резка: ацетилен, кислород, плазма, лазер, механическая;
- механическая обработка: разделка кромок, шлифование сварных швов;
- формование полотнищ: обратная гибка проката, штамповка, прессование, гибка на листогибочных прессах и др.;
- термическая обработка: сушка ацетилено-кислородными горелками, термическое выпрямление;
- сварка.

Некоторые из этих операций выполняются в закрытых цехах, некоторые – снаружи в зависимости от погодных условий. Уровень автоматизации процессов может быть различным в зависимости от уровня серийности и инноваций.

В современном судостроении процессы резки на линиях обработки деталей и сварки при сборке плоских секций преимущественно полностью автоматизированы.

В дополнение к технологическим операциям, упомянутым выше, операции транспортировки и позиционирования конструкций также играют важную роль в процессе судостроения (рис. 2).

Проектирование процесса судостроения является сложной задачей вследствие зависимости от многих факторов. Часть параметров, характеризующих эти факторы, необходимо минимизировать. Это такие параметры, как: затраты энергии, материалов, рабочей силы и т.д. Наряду с максимизацией регулярности производства, минимизируются продолжительности процессов. Максимизируется также стандартизация операций, узлов и пусковых элементов. Важной задачей является минимизация

рисков действующих технологических процессов производства корпусных конструкций и элементов судовой энергетической установки.

Рисунок 2 – Подготовка секции к повороту краном

Целью исследования является анализ существующих методов прогнозирования производственных рисков и оценка применимости их в судостроительном производстве

Материалы и методы исследования

Каждое судостроительное предприятие в своей отчетности использует свою классификацию рисков. Обобщив группировки рисков ряда компаний, можно сделать вывод, о том, что риски в судостроении можно квалифицировать на 4 основные категории: 1) страновые и региональные риски, 2) отраслевые риски, 3) финансовые риски, 4) правовые риски [2].

Общий процесс анализа риска и оценивания риска представлен на рисунке 3 [3].

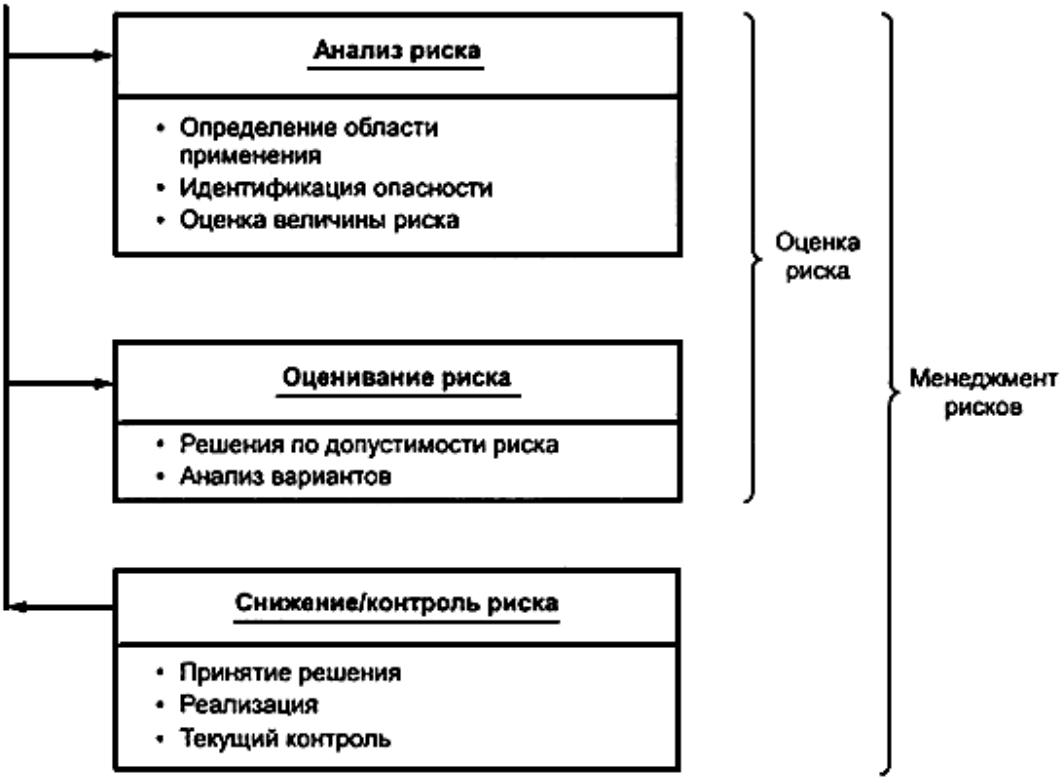


Рисунок 3 – Соотношения между анализом риска и другими действиями по управлению риском

Методы, используемые при анализе рисков технических систем, можно разделить на две группы: качественные и количественные.

Качественные методы используются для определения риска отдельно для каждой из опасностей, выбранных в процессе идентификации. Поэтому эти методы не подходят для определения и оценки общего риска. Однако они могут быть использованы для оценки частичного риска, связанного с определенной опасностью. Типичными методами для этой группы являются матричные методы, используемые, например, в оценке по безопасности судоходства, в технологических процессах и в анализе профессионального риска, а также методы индексирования.

Для определения уровней надежности и опасностей в качественных методах обычно используются шкалы и описания экспертов. Отдельную качественную группу составляют методы дерева отказов [4].

Вторая группа методов, используемых при анализе рисков, – это количественные методы. Их типичными примерами являются вероятностные и статистические методы. Методы, основанные на вероятностных моделях риска, в основном используются для анализа производственных процессов с особенно высоким уровнем риска. Существенным ограничением этого подхода может быть недостаточное знание распределения вероятностей случайных величин и характеристик случайных процессов, влияющих на аварии и уровень потерь.

В статистических методах результаты экспериментальных исследований являются основой оценки риска. Данные о нежелательных авариях и потерях регистрируются в виде статистической выборки. Для получения достаточно большой выборки критерии однородности часто ослабляются. Надлежащий выбор мер риска и принятие соответствующих оценок являются существенными проблемами при использовании этой группы методов, например, количество несчастных случаев со смертельным исходом во время производственного процесса. Важное преимущество вероятностных и статистических методов можно считать, что их можно использовать для оценки общего риска при условии большого набора данных.

Также известны подходы к оценке уровня риска, связанного с внедрением и реализацией производственных процессов [5-7]. Их использование требует дискретизации как потенциала потерь, так и их последствий для отдельных факторов риска [8, 9].

В работах [10, 11] предлагается байесовский метод для анализа рисков производственных процессов в судостроительной промышленности. Они связывают уровень риска с отдельными элементами производственного процесса верфи. Расчеты основаны на базе данных, разработанной большой группой экспертов (несколько сотен человек). Эксперты используют метод прямой оценки для подготовки соответствующей информации и заключения. Этот факт оказывает негативное влияние как на стоимость, так и на время анализа рисков. Это может быть особенно заметно, когда существует множество

различных (например, сотни) вариантов спроектированной технической системы. Такое большое количество вариантов наблюдается на стадии предварительного проектирования процесса судостроения. Определять риск для каждого из них экспертными методами является продолжительным и экономически неэффективным. Это основное ограничение современных программных средств, поддерживающих оценку рисков. Такие коммерческие инструменты требуют активного участия эксперта для ввода данных. Примерами программного обеспечения для оценки рисков являются (все названия являются защищенными торговыми марками): Compliance, CIRSMA, RISC Workbench, ReliaBuilder, Vue-Матрица и другие. Их типичными исходными данными являются: вероятность возникновения опасных событий, частота воздействия опасностей и воздействие/тяжесть травмы/вреда. Многим специализированным программным средствам требуются дополнительные конкретные входные данные, такие, как: возможность избежать вреда, химические параметры опасного вещества, параметры его токсичности, загрязненные среды, зона риска, характер риска, состояние риска.

При подходе, не требующем непосредственного участия экспертов при оценке рисков для каждого из вариантов, рассматриваемых в производственном процессе, используется автоматически обновляемая база данных предыдущих реализованных процессов и метод интеллектуального анализа данных. Преимуществом является снижение затрат и затрат времени на сравнительный анализ. Недостатком является менее точный результат, особенно когда база данных невелика, или разработанный процесс является инновационным и сильно отличается от ранее реализованных процессов.

Среди методов, используемых для поддержки инструментов проектирования в судостроении, используется способ решения проблем на основе уже известных решений – метод Case Based Reasoning (CBR). Он включает в себя область технического проектирования и планирование процесса сборки в производственных процессах. Проблема риска в данном методе не

рассматривается. Ключевой проблемой в методах CBR является кодирование случаев. В данном методе случай представляет собой производственный процесс, описываемый вектором, компонентами которого является количество людей, подверженных воздействию различных факторов риска.

В методе CBR инструментом для фильтрации данных перед прогнозированием является кластеризация.

Для каждого процесса выбирается некоторое подмножество данных. Выбор подходящего подмножества имеет решающее значение. Проблема заключаются как в количестве данных подмножества, так и в выборе рассматриваемых случаев. В работе [12] показано, что, контролируя количество кластеров, легко влиять на качество результатов.

Результаты исследования и их обсуждение. Дополнительная проблема судостроительного производственного процесса – это возникновение определенного типа потерь, которые случаются редко, но имеют относительно большие значения.

В случае судостроения набор данных может сильно отличаться. Процессы могут быть различными с точки зрения технологии и набора существующих опасностей. Часто в базе данных невозможно найти похожий случай на рассматриваемый новый случай. Поэтому здесь сложно использовать классический подход.

Данные, входящие в каждый кластер должны быть объединены каким-либо одним общим признаком и отличаться от данных другого кластера.

Контролирующим фактором метода является количество кластеров в базе данных. Следует изучить возможность минимизации ошибки прогнозирования с помощью этого фактора.

Опасности, которые определены для рассматриваемого класса процессов: механические, электрические, тепловые, эргономические, материальные (связанные со свойствами сырья и веществ), шум, вибрация, излучение и угрозы, создаваемые технологической средой. Принимая во внимание характер

возможных потерь в судостроительном производстве, важными являются риски, которые могут повлиять на здоровье и жизнь, а именно привести к ожогам, поражению электрическим током, ударам, раздавливанию, порезам, потере зрения и т.д. В отношении производства важны опасности, которые приводят к повреждению или разрушению конструкции, вызывая трещины, деформации, разрывы, потерю устойчивости и т.д. Что касается окружающей среды, то существенными являются риски, которые могут привести к токсическому или химическому загрязнению воды, воздуха или почвы.

Все упомянутые группы рисков генерируются элементами, выполняющими производственный процесс (людьми, оборудованием, материалами и т.д.). Очень важным фактом является то, что группы опасностей могут быть связаны с отдельными технологиями, используемыми в производственных процессах судостроения. Также параметры проектирования судовой энергетической установки зависят, в частности, от условий плавания судна, и, как следствие, от конструктивных элементов корпуса. Поэтому следует предполагать, что конкретная технология сопровождается определенным набором рисков, которые необходимо минимизировать.

При наличии базы данных результатов действующих технологических процессов в судостроении применим приведенный ниже алгоритм оценки показателей риска. В результате оценки по данному алгоритму обновляется база данных.

Случаи, которые при осуществления технологического процесса привели к тем или иным потерям, регистрируются в базе данных и подвергаются кластеризации. Затем определяется среднее значение потерь.

Выбор варианта технологического процесса может осуществляться по единственному критерию – минимизации риска. Однако алгоритм не исключает учета других критериев.

После выбора предпочтительного варианта процесс вступает в фазу реализации. Потери, возникшие в результате несчастных случаев, сохраняются, как и вектор воздействия, в базе данных.

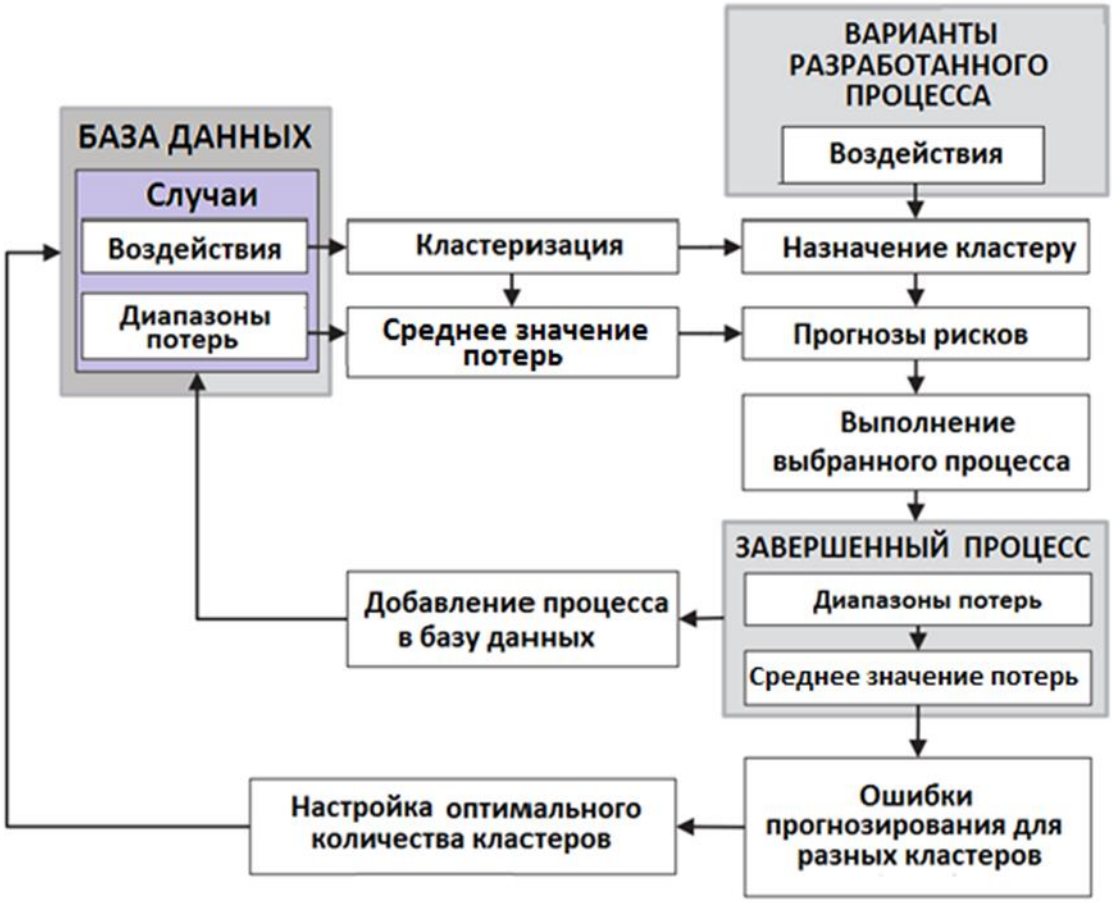


Рисунок 4 – Алгоритм оценки показателей риска

Моделирование прогнозов для различного количества кластеров выполняется на основе потерь. Величина, дающая наименьшую ошибку прогнозирования, учитывается в следующем цикле оценки риска.

Метод использует базу данных завершенных производственных процессов для прогнозирования будущих состояний проектируемого процесса.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод, что для совместного применения метода CBR и кластеризации необходима разработка кодировок случаев в базе данных. Методика должна охватывать весь производственный процесс, существенными характеристиками которого являются риски как начальные факторы и потери как результаты выполнения процесса. Для этой цели следует различать соответствующие опасности и представлять степень этих опасностей с использованием количественных переменных.

Поскольку целью является количественная оценка прогнозирования риска, в дальнейшем необходимо определить метод измерения ошибки прогнозирования.

Список использованной литературы:

1. *Cho K.K., Oh J.S., Ryu K.R., Choi H.R.* An integrated process planning and scheduling system for block assembly in shipbuilding // Annals of CIRP. 1998. Vol. 47. No. 1. P. 419-422.
2. *Таратухин М.В., Фролова В.А.* Классификация рисков на предприятиях судостроительной промышленности // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, 2018. № 1 (1). С. 66.
3. Сайт «Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов». URL: https://docs.cntd.ru/document/1200030153 (дата обращения: 01.12.2021).
4. *Семионичев Д.С.* Практические аспекты применения первого тапа формализованной оценки безопасности в судостроении. Методы анализа опасности и риска // Труды Научно-исследовательского института им. академика А.Н. Крылова. 2009. С. 149-158.
5. *Dey P.K., Kinch J., Ogunlana S.O.* Managing risk in software development projects: a case study // Industrial Management & Data Systems. 2007. Vol. 107. No. 2. P. 284-303.
6. *Dey P.K., Ogunlana S.O., Naksuksakul S.* Risk-based maintenance model for offshore oil and gas pipelines: a case study // Journal of Quality in Maintainance Engineering. 2004. Vol. 10. No. 3. P. 169-183.
7. *McKim R.A.* Risk management – back to basics // Cost Engineering. 1992. Vol. 34. No.12. P. 7-12.
8. *Raftery J.* Risk Analysis in Project Management // E&FN Spon, London. 1994.
9. *Thuyet N.V., Ogunlana S.O., Dey P.K.* Risk management in oil and gas construction projects in Vietnam // International Journal of Energy Sector. 2007. Vol. 1. No. 2. P. 175-194.
10. *Basuki M., Manfaat D., Nugroho S., Dinariyana A.* Probabilistic risk assessment on the shipyard industry using the Bayesian method // International Journal of Technology. 2014. Vol. 5. No. 1. P. 88-97.
11. *Guo J.J., Pandey S., Doyle J. et al.* A review of quantitative risk – benefit methodologies for assessing drug safety and efficacy report of the ISPOR risk – benefit management working group // Value Health. 2010. Vol. 13. No. 5. P. 657-666.
12. *Oyelade O.J., Oladipupo O.O., Obagbuwa I.C.* Application of k-means clustering algorithm for prediction of students' academic performance // International Journal of Computer Science and Information Security. 2010. Vol. 7. No. 1. P. 292-295.

References:

1. Cho K.K., Oh J.S., Ryu K.R., Choi H.R. An integrated process planning and scheduling system for block assembly in shipbuilding. *Annals of CIRP*, 1998, vol. 47, no. 1, pp. 419-422. (In English).
2. Taratuhin M.V., Frolova V.A. Klassifikaciya riskov na predpriyatiyah sudostroitel'noj promyshlennosti [Classification of risks in the shipbuilding industry]. *Nedelya nauki Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnicheskogo universiteta* [Science Week of St. Petersburg State Maritime Technical University]. St. Petersburg, 2018, no. 1 (1), p. 66. (In Russian).
3. *Sayt «Elektronnyj fond pravovyh i normativno-tekhnicheskih dokumentov»* [Site "Electronic fund of legal and regulatory documents"]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200030153 (accessed 01.12.2021).
4. Semionichev D.S. Prakticheskie aspekty primeneniya pervogo tapa formalizovannoj ocenki bezopasnosti v sudostroenii. Metody analiza opasnosti i riska [Practical aspects of the application of the first stage of the formalized safety assessment in shipbuilding. Methods of hazard and risk analysis] *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo instituta im. akademika A.N. Krylova* [Proceedings

of the Scientific Research Institute named after academician A.N. Krylov], 2009, pp. 149-158. (In Russian).
5. Dey P.K., Kinch J., Ogunlana S.O. Managing risk in software development projects: a case study. *Industrial Management & Data Systems*, 2007, vol. 107, no. 2, pp. 284-303. (In English).
6. Dey P.K., Ogunlana S.O., Naksuksakul S. Risk-based maintenance model for offshore oil and gas pipelines: a case study. *Journal of Quality in Maintainance Engineering*, 2004, vol. 10, no. 3, pp. 169-183. (In English).
7. McKim R.A. Risk management – back to basics. *Cost Engineering*, 1992, vol. 34, no.12, pp. 7-12. (In English).
8. Raftery J. Risk Analysis in Project Management. *E&FN Spon*, London, 1994. (In English).
9. Thuyet N.V., Ogunlana S.O., Dey P.K. Risk management in oil and gas construction projects in Vietnam. *International Journal of Energy Sector*, 2007, vol. 1, no. 2, pp. 175-194. (In English).
10. Basuki M., Manfaat D., Nugroho S., Dinariyana, A. Probabilistic risk assessment on the shipyard industry using the Bayesian method. *International Journal of Technology*, 2014, vol. 5, no. 1, pp. 88-97. (In English).
11. Guo J.J., Pandey S., Doyle J. et al. A review of quantitative risk – benefit methodologies for assessing drug safety and efficacy report of the ISPOR risk – benefit management working group. *Value Health*, 2010, vol. 13, no. 5, pp. 657-666. (In English).
12. Oyelade, O.J., Oladipupo, O.O., Obagbuwa, I.C. Application of k-means clustering algorithm for prediction of students' academic performance. *International Journal of Computer Science and Information Security*, 2010, vol. 7, no. 1, pp. 292-295. (In English).

Сведения об авторе / Information about author

Богатырева Елена Владимировна	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 bogatyreva_mf@mail.ru
Bogatyreva Elena Vladimirovna	Ph.D (Engin.), Associate Professor at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 bogatyreva_mf@mail.ru

УДК 681.5 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_126**

Бордюг А.С.

ИДЕОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТИПОРАЗМЕРНЫХ РЯДОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Аннотация. Процесс управления двигателем внутреннего сгорания (ДВС) должен обеспечивать безопасную эксплуатацию судна, в особенности при работе на номинальной мощности в условиях возможного возникновения значительных изменений нагрузки со стороны винта или генератора. Интенсивность изменения нагрузки может привести к серьезным негативным последствиям, в особенности при работе на максимальной мощности, как пример – критическое увеличение частоты вращения коленчатого вала дизеля, которое при срабатывании защиты приводит к отключению двигателя. Большинство современных ДВС оснащаются системами наддува. Создание высокоэффективных компрессоров невозможно без подсистем САПР, которые позволяют, с одной стороны, на основе современных методов расчета в сжатые сроки проанализировать большое количество возможных вариантов исполнения машины, а с другой – широко использовать весь накопленный опытный и расчетный материал, сконцентрированный в банках данных. В настоящей статье рассмотрены основные положения САПР проточной части одноступенчатого центробежного компрессора, например, агрегата наддува двигателей внутреннего сгорания судовой энергетической установки.
Ключевые слова: алгоритм, САПР, судовая энергетическая установка, компрессор, газодинамический расчет.

Bordyug A.S.

IDEOLOGY OF FORMATION OF TYPICAL-SIZED SERIES OF CENTRIFUGAL COMPRESSORS OF A SHIP POWER PLANT ON THE BASIS OF AUTOMATED DESIGN

Abstract. The process of controlling an internal combustion engine (ICE) must ensure the safe operation of the vessel, especially when operating at rated power in conditions of possible significant changes in the load from the propeller or generator. The intensity of the load change can lead to serious negative consequences, especially when operating at maximum power, for example, a critical increase in the engine speed of the engine crankshaft, which, when the protection is triggered, leads to the engine shutdown. Most modern internal combustion engines are equipped with boost systems. The creation of highly efficient compressors is impossible without CAD subsystems, which allow, on the one hand, based on modern calculation methods in a short time, to analyze a large number of possible machine options, and on the other hand, to widely use all the accumulated experimental and calculated material concentrated in data banks. This article discusses the main provisions of the CAD of the flow path of a single-stage centrifugal compressor, for example, a pressurization unit for internal combustion engines of a ship power plant.
Keywords: algorithm, CAD, ship power plant, compressor, gas dynamic calculation.

Введение. Все современные дизельные двигатели оснащаются системами турбонаддува (рис. 1). Для двухтактных судовых двигателей используется система турбонаддува с постоянным давлением. При таком типе турбонаддува

выхлопные отверстия всех цилиндров соединены с общим ресивером, объем которого достаточно велик, чтобы демпфировать колебания давления на выпуске. Основными преимуществами системы постоянного давления являются простая конфигурация ресивера отработавших газов и практически статичные условия на входе в турбину. Недостатками являются недостаточное давление наддува при частичных нагрузках двигателя и медленная реакция системы. Совместная работа компрессора и дизеля оказывает первоочередное влияние на устойчивость работы компрессора, которая лимитирована правилами регистра для судовых дизельных установок во всем диапазоне эксплуатационных режимов. Компрессор вводит внутреннюю обратную связь, а также временное запаздывание и неопределенность в системе и, следовательно, может влиять на относительную стабильность и переходный отклик [1]. В процессе эксплуатации в связи с неправильной эксплуатацией (поздней заменой смазочного масла, низкий уровень), нарушения правил эксплуатации компрессора происходит его повреждение.

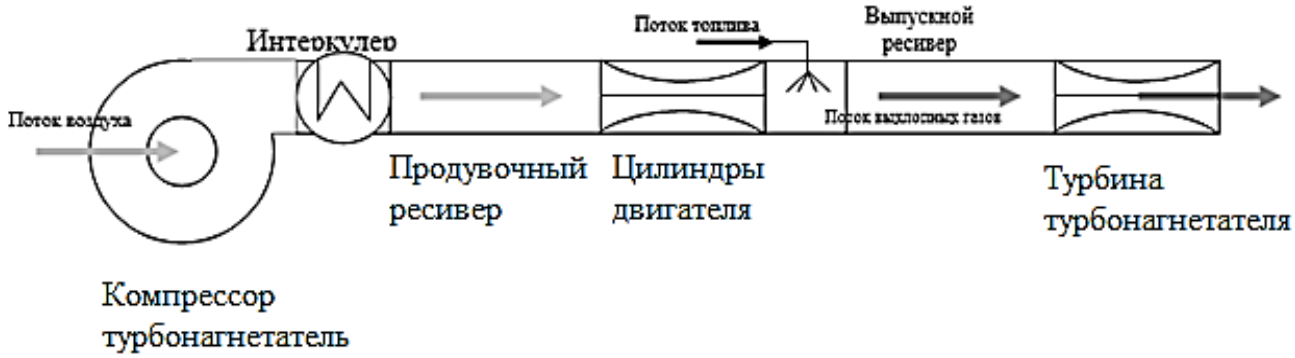


Рисунок 1 – Упрощённая структурная схема системы турбонадува современного дизельного двигателя

Одним из основных факторов разработки эффективно функционирующего оборудования является внедрение систем автоматизированного проектирования (САПР). При разработке САПР необходимо обеспечить гибкость системы, т. е. возможность решать с ее помощью разнообразные задачи, возникающие при

проектировании и доводке турбокомпрессоров.

1. Проектирование ступени турбокомпрессора при отсутствии ограничений по диаметральным размерам и числу оборотов ротора.

2. Проектирование ступени при заданных в минимальном диаметре втулки рабочего колеса и диаметре выхода из лопаточного диффузора. Обычно такие ограничения появляются при проектировании ступени в заданном унифицированном корпусе.

3. Проектирование ступени с заданным числом оборотов ротора при наличии ограничений по диаметру втулки рабочего колеса и диаметру выхода из лопаточного диффузора или без них.

4. Проектирование ступени с учетом любых ограничений по размерам и числу оборотов ротора.

5. Доводка ступени после ее экспериментального исследования.

6. Расчет характеристики ступени.

7. Профилирование высокоэффективных элементов ступени (рабочее колесо, диффузор и т. п.) на основе анализа структуры идеального и вязкого потоков.

8. Оптимизация параметрического ряда турбокомпрессоров в заданном диапазоне производительности и отношения давлений.

В связи с изложенным, **целью** настоящего **исследования** является улучшение эксплуатационных качеств компрессора с помощью расчетов и разработанных алгоритмов САПР для системы проточной части одноступенчатого центробежного компрессора и – как результат – повышение надежности и безотказности дизеля. Для достижения поставленной цели в работе решена следующая научная задача: разработка алгоритмов САПР, анализирующие большое количество возможных вариантов исполнения машины, используя весь накопленный опытный и расчетный материал, сконцентрированный в банках данных. Данные расчеты увеличивают эксплуатационные качества компрессора, повышают надежность и

безотказность.

Материалы и методы исследования. Первые CAD-системы появились еще на заре вычислительной техники – в 1960-х гг. Именно тогда в компании General Motors была разработана интерактивная графическая система подготовки производства, а в 1971 г. Ее создатель – доктор Патрик Хэнретти (его называют отцом САПР) – основал компанию Manufacturing and Consulting Services (MCS), оказавшую огромное влияние на развитие этой отрасли. По мнению аналитиков, идеи MCS составили основу почти 70 % современных САПР. В России наиболее распространены следующие САПР: система КОМПАС (разработчик — компания АСКОН), T-FLEX CAD (разработчик – компания «Топ Системы») и AutoCAD (фирмы Auto- DESC). Их неоспоримым достоинством является полное соответствие нормативным документам – Единой системе конструкторской документации (ЕСКД), определяющей требования к оформлению чертежей изделий. Процесс проектирования компрессора любой САПР можно разделить на следующие этапы: эскизный, технический и рабочее проектирование. При расчетах и конструировании выделяют следующие особенности:

1. Компрессор должен быть надежен, работать долгое время без остановки и быть ремонтопригодным.

2. КПД машины должен быть на высоком уровне даже на режиме максимальной нагрузки.

3. Массогабаритные показатели должны удовлетворять требованиям по установке. Запасы прочности материала, из которого выполнен компрессор должен быть минимальными, но достаточными для обеспечения надежной работы.

4. Компрессор должен быть рассчитан на весь период эксплуатации.

5. Машина должна быть технологична, т. е. иметь такую конструкцию отдельных деталей, чтобы их изготовление было бы в максимальной степени просто и дешево. Способы обработки деталей должны быть, как правило,

согласованы с имеющимся на заводах оборудованием и применяемой технологией производства. Используемые материалы должны быть по возможности дешевыми и легко обрабатываемыми.

6. Весьма важным является применение стандартизованных и унифицированных компрессоров, деталей и узлов. Прежде всего должны быть стандартизованы основные параметры машин и их типоразмеры. Должны проектироваться серии машин на ряд стандартных параметров и должно осуществляться их серийное изготовление. При проектировании необходимо применять по возможности максимальное число стандартизованных узлов и деталей, например муфт, уплотнений, маслонасосов, болтов, гаек, шпилек, шпонок и т. д. Основные размеры, допуски и посадки, качество поверхности необходимо выбирать по стандарту. Стандартизация помогает использовать дешевые стандартные детали, стандартный мерительный и режущий инструменты.

Результаты исследования и их обсуждение. При анализе проточной части турбокомпрессоров важной задачей являются определение поля скоростей идеального газа в каналах или в решетках профилей и за ними при заданном поле скоростей на входе. При этом все геометрические размеры канала или решетки считаются заданными. Такая задача называется прямой. При проектировании проточной части более важной является обратная задача. Она сводится к нахождению контура канала или профиля и других геометрических характеристик решеток при заданных полях скоростей на входе и выходе. При этом обычно еще задаются некоторые геометрические (например, максимальная толщина профиля и ее расположение) и аэродинамические (например, распределение скоростей по профилю или стенке канала) параметры.

Как уже указывалось, аналитическое решение основных уравнений течения идеального газа возможно лишь в некоторых частных случаях. Этим требованиям отвечает схема САПР, изображенная на рис. 2. Рассмотрим ее подробнее.

Рисунок 2 – Схема САПР проточной части одноступенчатого центробежного компрессора

Проектирование ступени разделяется на три этапа: предварительное проектирование ступени, профилирование элементов и уточненный газодинамический расчет. Поток газа в реальной ступени турбокомпрессора является пространственным потоком, в котором параметры в различных точках имеют неодинаковые значения. Для характеристики потока особенно важно установить величину и направление скорости в каждой точке. При газодинамическом расчете принимается равенство частот вращения компрессора и турбины. Расчет основан на уравнении одномерного установившегося

движения идеального газа, с использованием опытно полученных коэффициентов для конкретном модели турбокомпрессора. Данный расчет служит для определения основных параметров турбокомпрессора: рабочих колес компрессора и турбины, диффузоров, воздухосборника, соплового венца, газоподводящего корпуса, а также профилирование рабочего колеса компрессора и лопаточного диффузора. На первом этапе производятся газодинамический расчет и оптимизация основных геометрических и газодинамических параметров ступени по заданию с учетом указанных ограничений. Здесь определяются оптимальные значения коэффициентов расхода и напора ступени Ф и $\psi_т$ (экономичность, надежность, устойчивость по помпажу и т.д.), диффузорности рабочего колеса n_ω, безлопаточного C_{32} и лопаточного C_{43} диффузоров и рассчитываются число оборотов ротора, окружная скорость рабочего колеса u_2 и геометрические размеры всех характерных сечений проточной части ступени.

При необходимости приближенно может быть рассчитана характеристика ступени. При этом используются упрощенные модели потерь, максимально отражающие достигнутый на сегодняшний день уровень эффективности элементов проточной части в зависимости от характерных геометрических и газодинамических параметров элементов ступени при условии их тщательного профилирования [2].

Применение простой модели потерь позволяет на этом уровне проектирования быстро производить вариантный расчет и оптимизацию в режиме диалога, использовать по ряду параметров градиентные методы многомерной оптимизации.

Блок-схема этапа предварительного проектирования показана на рис. 3. Соответствующий пакет прикладных программ включает программы: прямого (расчет газодинамических параметров ступени по заданным основным геометрическим размерам) и обратного (расчет основных геометрических размеров по заданным газодинамическим параметрам) газодинамического

расчета, многомерной оптимизации методом покоординатного спуска, расчета ожидаемой эффективности элементов ступени, построения эскиза проточной части и ряд вспомогательных программ.

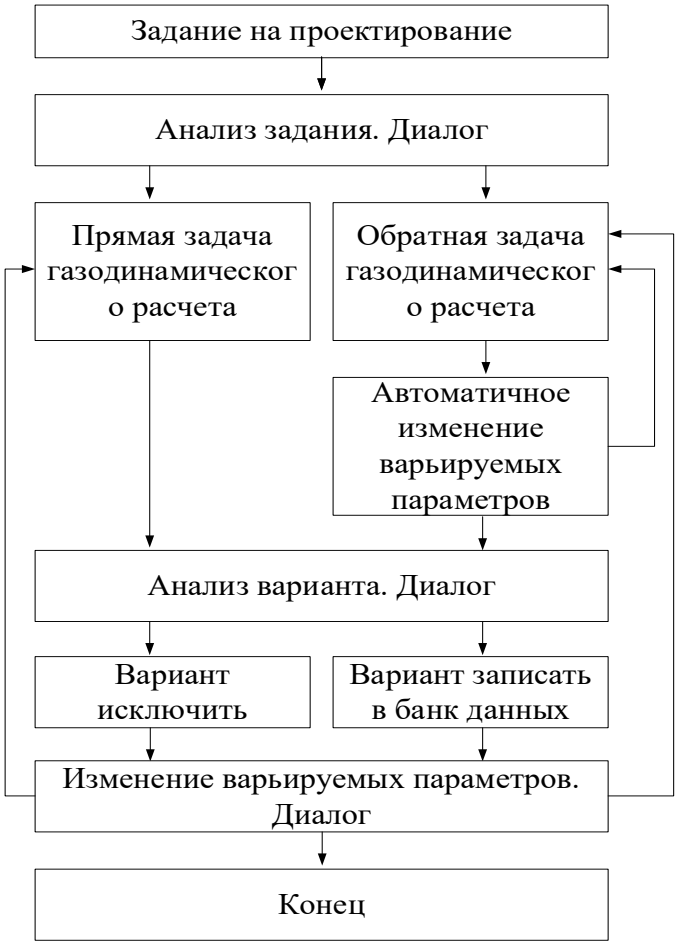


Рисунок 3 – Блок-схема этапа предварительного проектирования газодинамического расчета

Алгоритм обратного газодинамического расчета предусматривает построение проточной части на заданные параметры ($\overline{m}$, π^*, $T_н$, $P_н$, R, k) при задании основных газодинамических соотношений (Ф, $\psi_т$, $n_ω$, C_{32} и т. д.). Реализованы два варианта алгоритма: проектирование ступени без ограничений на радиальные размеры (Dвт и D_4) и при фиксированных Dвт и D_4. При этом задается или условный коэффициент расхода ступени Ф, или число оборотов ротора n.

Если при проектировании ступени имеются ограничения, не учтенные в алгоритме обратной задачи, их выполнение можно обеспечить или многократным решением обратной задачи, варьируя газодинамическими соотношениями, или использованием программы прямого газодинамического расчета. При этом оптимизация проточной части на заданные параметры (m и π) осуществляется варьированием числа оборотов и геометрических размеров характерных сечений в рамках установленных ограничений. При организации диалога для ускорения работы предусмотрена возможность изменения не всех геометрических параметров ступени, а их части.

После выполнения предварительного проектирования компрессора просматриваются ступени, имеющиеся в банке данных и выбирается соответствующая. Если с учетом всех существующих ограничений не удалось выбрать конкретную высокоэффективную ступень, просматриваются имеющиеся в банке данных типовые элементы ступени и решается вопрос возможности их использования. Если же с учетом имеющихся ограничений не удалось подобрать часть или все элементы из банка данных или делается попытка их улучшения, то на основе анализа структуры идеального и вязкого потоков в элементах ступени осуществляется профилирование этих элементов.

На рис. 4 в качестве примера приведена блок-схема профилирования рабочего колеса и безлопаточного диффузора. Блок-схема реализована в двух вариантах: упрощенном и более точном [3-4].

В первом – при расчете эффективности используются приближенный метод расчета квазитрехмерного идеального потока, интегральные методы расчета пограничных слоев на лопатках и ограничивающих поверхностях и приближенная схема отрывного течения с нулевой скоростью в зоне отрыва и постоянной – на границе струи. Аналитическое описание геометрии проточной части, автоматическая подготовка исходных данных к программам расчета распределений скоростей и параметров пограничного слоя, графический вывод формы проточной части и результатов расчета структуры потока позволяют осуществить профилирование элементов в режиме диалога на ЭВМ [5-8].

Рисунок 4 – Блок-схема профилирования рабочего колеса и безлопаточного диффузора

Во втором варианте проводим расчет структуры потока по более точным

методам расчета идеального течения, численным методам расчета пограничных слоев и полностью вязкого течения, что позволяет уточнить картину обтекания входных кромок колеса или диффузора, положение точки отрыва, рассчитать характеристики элементов и при необходимости сделать корректировку проточной части.

В обоих вариантах потери в рабочем колесе и безлопаточном диффузоре определяются по результатам расчета параметров пограничных слоев или полностью сомкнувшихся течений через разность энергии потоков на входе и выходе. Аналогично рассчитываем и профилирование лопаточного диффузора [9-10].

Проверочный расчет и расчетную доводку компрессора проводим по примеру предварительного расчета. При этом вместо расчета ожидаемых значений коэффициентов потерь элементов используются экспериментальные характеристики элементов, выбранных из банка данных, или расчетные характеристики элементов, спрофилированных на втором этапе проектирования.

Выводы. Предложенные алгоритмы САПР позволяют на основе современных методов расчета в сжатые сроки проанализировать большое количество возможных вариантов исполнения машины, используя весь накопленный опытный и расчетный материал, сконцентрированный в банках данных. Данные расчеты увеличивают эксплуатационные качества компрессора, повышают надежность и безотказность.

Список используемой литературы:

1. *Бордюг А.С.* Повышение надежности судового малооборотного дизеля в условиях дестабилизирующих воздействий: дисс. … канд. техн. наук: 05.08.05 / Александр Сергеевич Бордюг. СПб., 2018. 148 с.
2. *Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б.* Центробежные компрессоры. Л.: Машиностроение, 1982. 271 с.
3. *Селезнев К.П., Савин Б.Н.* Основы применения САПР в компрессоростроении. Л., 1986. 81 с.
4. *Бордюг А.С.* Применение циклического тестирования аппаратного обеспечения морских систем управления // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2020. Т. 16. № 3. С. 77-82.
5. *Никитенко Я.А., Железняк А.А.* Методы повышения достоверности контроля диагностических характеристик оборудования // Актуальные аспекты и приоритетные

направления развития транспортной отрасли. Материалы молодежного научного форума студентов и аспирантов транспортных вузов с международным участием. М., 2019. С. 210-214.
6. *Бордюг А.С.* Моделирование интегрированных преобразователей энергии в судовых многогенераторных системах // Сборник трудов по материалам II Национальной научно-практической конференции преподавателей и аспирантов «Морские технологии: проблемы и решения – 2020» / Под общ. ред. Е.П. Масюткина. Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2020. С. 47-51.
7. *Sokolov S., Nyrkov A., Chernyi S., Nazarov N.* Use of social engineering methods in transport: methods, protection, facts, consequences // Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Commemorating the 90th anniversary of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. P. 57-66.
8. *Bordug A., Smetuch N., Antipenko I., Yashin A.* Analysis of dynamic processes in maritime engines of ships // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. P. 816-824.
9. *Chernyi S.G., Bordug A.S., Kozachenko L.N., Erofeev P.A., Zhukov V.A.* The reliability assessment of functioning of autonomous power system of drilling rigs // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. 2020. P. 259-263.
10. *Зарицкий С.П.* Диагностическое обслуживание оборудования КС. М.: ИРЦ «Газпром». Обз. инф. Серия «Газовая промышленность на рубеже XXI века», 2000. 156 с.

References

1. Bordyug A.S. *Povishenie nadeznosti sudovogo malooborotnogo dizela v usloviyach destabiliziruyushish vozdeistviyu. Diss. … kand. tech.nauk* [Improving the reliability of a marine low-speed diesel engine in conditions of destabilizing influences. Cand. tech. sci. diss.]. St. Petersburg, 2018, 148 p. (In Russian).
2. Seleznev K.P., Galerkin Yu.B. *Tsentrobeznie kompressori* [Centrifugal compressors]. St. Petersburg, 1982, 271 p. (In Russian).
3. Seleznev K.P., Savin B.N. *Osnovi primeneniva SARP v kompressorostoenii* [Fundamentals of CAD application in compressor engineering]. St. Petersburg, 1986, 81 p. (In Russian).
4. Bordyug A.S. Primeneniye tsiklicheskogo testirovaniya apparatnogo obespecheniya morskikh sistem upravleniya [Application of cyclic testing of marine control system hardware]. *Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye kompleksy i sistemy* [Electrical and information complexes and systems], 2020, vol. 16, no. 3, pp. 77-82. (In Russian).
5. Nikitenko Y.A., Zheleznyak A.A. Metody povysheniya dostovernosti kontrolya diagnosticheskikh kharakteristik oborudovaniya [Methods for increasing the reliability of monitoring the diagnostic characteristics of equipment]. *Materialy molodezhnogo nauchnogo foruma studentov i aspirantov transportnykh vuzov s mezhdunarodnym uchastiyem «Aktualnyye aspekty i prioritetnyye napravleniya razvitiya transportnoy otrasli»* [Materials of the youth scientific forum of students and graduate students of transport universities with international participation “Actual aspects and priority directions of development of the transport industry”]. Moscow, 2019, pp. 210-214. (In Russian).
6. Bordyug A.S., Masyutkin E.P. (ed.) Modelirovaniye integrirovannykh preobrazovateley energii v sudovykh mnogogeneratornykh sistemakh [Modeling of integrated power converters in ship multi-generator systems. In the collection] *Sbornik trudov po materialam II Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley i aspirantov «Morskiye tekhnologii: problemy i resheniya – 2020»* [Collection of works based on the materials of the 2nd National scientific and practical conference of teachers and graduate students “Marine technologies: problems and solutions – 2020”]. Kerch, KGMTU Publ., 2020, pp. 47-51. (In Russian).

7. Sokolov S., Nyrkov A., Chernyi S., Nazarov N. Use of social engineering methods in transport: methods, protection, facts, consequences. *Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. Commemorating the 90th anniversary of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Lecture Notes in Civil Engineering*, 2021, pp. 57-66. (In English).
8. Bordug A. Analysis of dynamic processes in maritime engines of ships. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, pp. 816-824. (In English).
9. Chernyi S.G., Bordug A.S., Kozachenko L.N., Erofeev P.A., Zhukov V.A. The reliability assessment of functioning of autonomous power system of drilling rigs. *Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering*. 2020, pp. 259-263. (In English).
10. Zaritsky S.P. *Diagnosticheskoye obsluzhivaniye oborudovaniya KS* [Diagnostic maintenance of compressor station equipment]. Moscow, Gazprom Publ., Review inf. Series: Gas industry at the turn of the XXI century, 2000, 156 p. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Бордюг Александр Сергеевич	канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 alexander.bordyug@mail.ru
Bordyug Aleksandr Sergeevich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the Department of electrical equipment of ships and industrial automation Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 alexander.bordyug@mail.ru

УДК 629.1 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_139**

Ивановская А.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КАНАТНОЙ СИСТЕМЫ С КОНЕЧНЫМ НАТЯЖЕНИЕМ

Аннотация. В работе рассмотрены основные принципы математического моделирования канатных тяговых систем. Необходимость исследования тяговой системы вызвана возможным проявлением резонанса, вызывающего ударные нагрузки во время подъема груза. Явление резонанса может наблюдаться вследствие продольных и поперечных колебаний подъемных и компенсирующих канатов, которые вызваны возбуждениями в процессе наматывания барабана, приводя к неустойчивому положению системы. Рассмотрены основные аспекты математического моделирования канатных тяговых систем для анализа динамических характеристик подъемного каната и самого привода грузоподъемного оборудования. Предложенный алгоритм исследования поведения тяговой системы с конечным натяжением, выполненный на основе энергетического метода, позволит моделировать и проектировать приводы палубных устройств рыбопромыслового судна с более высокой точностью, что является необходимым при автоматизации оборудования.
Ключевые слова: канатные тяговые системы, продольные и поперечные колебания, явление резонанса.

Ivanovskaya A.

SIMULATION OF ROPE SYSTEM DYNAMICS WITH FINAL TENSION

Abstract. The paper considers the basic principles of mathematical modeling of rope traction systems. The need to study the traction system is caused by the possible manifestation of resonance, which causes shock loads during the lifting of the load. The resonance phenomenon can be observed due to the longitudinal and transverse vibrations of the hoisting and compensating ropes, which are caused by excitations during the process of winding the drum, leading to an unstable position of the system. The main aspects of mathematical modeling of rope traction systems for the analysis of the dynamic characteristics of the hoisting rope and the drive itself of the hoisting equipment are considered. The proposed algorithm for investigating the behavior of a traction system with a finite tension, based on the energy method, will make it possible to model and design drives of deck devices for a fishing vessel with a higher accuracy, which is necessary for equipment automation.
Keywords: rope traction systems, longitudinal and lateral vibrations, resonance phenomenon.

Введение

Благодаря способности выдерживать относительно большие осевые нагрузки, канатные системы широко применяются в грузоподъемных системах судна [1-5]. Динамические характеристики традиционных подъемных систем довольно тщательно изучены многими отечественными и зарубежными учеными. Общеизвестно, что продольные и поперечные колебания подъемных и компенсирующих канатов вызваны возбуждениями в процессе наматывания барабана. Когда частота таких возбуждений совпадает с собственной частотой

системы, то в соответствующей точке возникает резонанс, вызывающий ударные нагрузки во время процесса подъема. Эти нагрузки приводят к неустойчивому положению системы, вызывая интерес со стороны исследователей.

Целью работы является попытка проанализировать методы динамического моделирования канатной системы с конечным натяжением.

Материалы и методы исследования

Существуют основных три метода непрерывного динамического моделирования [1-10]. Это методы, основанные на уравнении Лагранжа, на принципе Гамильтона и методы конечных элементов. В целом, известные исследования грузоподъемного оборудования в основном сосредоточены на традиционных подъемных системах, а также не представлено унифицированных моделей.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим основные аспекты математического моделирования канатных тяговых систем для анализа динамических характеристик подъемного каната и самого привода грузоподъемного оборудования.

Примем следующие допущения:

- линейные плотности подъемных, направляющих и компенсирующих канатов одинаковы;

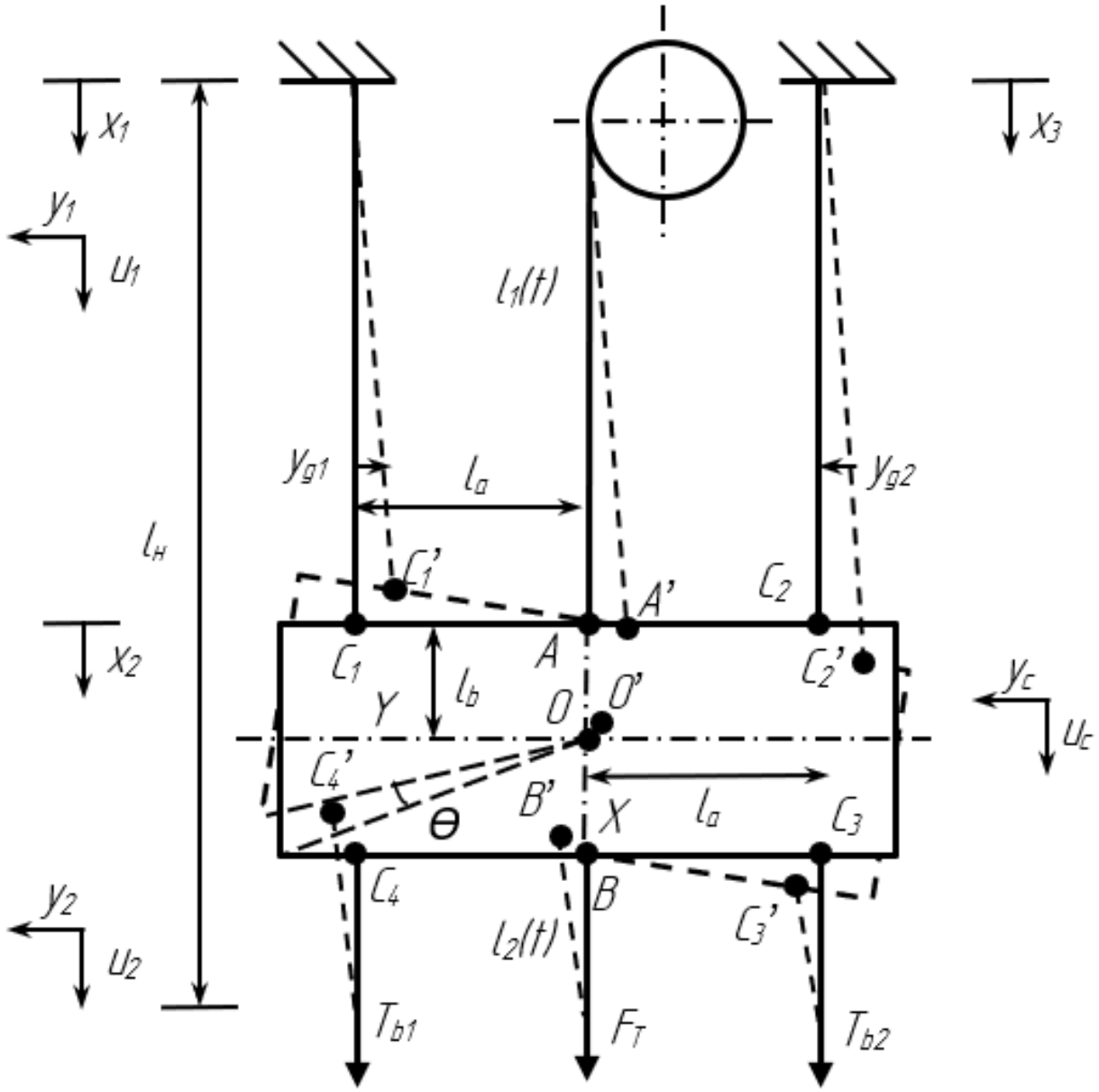
- жесткость канатов на изгиб не рассматривается;

- поперечные колебания, вызванные небольшим осевым возбуждением фрикционного барабана, не учитываются.

Представим тяговую тросовую систему в виде основных частей: приводного барабана, направляющих тросов, подъемного, транспортировочного и компенсационного тросов (рис 1).

Здесь $T_{\text{н}i}, i = 1, 2$ – натяжение направляющих тросов; $T_{\text{к}}$ – натяжение компенсирующих тросов; $l_i(t), i = 1, 2$ – длина подъемного и компенсирующего канатов; $v_i(t), i = 1, 2$ и $a_i(t), i = 1, 2$ – соответственно их скорости и ускорения; $u_i(t), i = 1, 2$ – продольные динамические перемещения подъемного и

компенсирующего канатов в положении x и времени t; $y_i(t), i = 1, 2$ – поперечные динамические перемещения подъемного и компенсирующего канатов в положении x и времени t; u_c, y_c и θ – продольные, поперечные и вращательные динамические смещения транспортного средства; $y_{gi}, i = 1, 2$ – поперечные динамические перемещения направляющего троса; $A(B)$ – точка соединения подъемного (транспортирующего) троса и поднимаемого груза; $C_i, i = 1, 2$ – точки соединения между направляющими тросами и поднимаемым грузом; O – точка центра тяжести груза, определяющая систему координат O-XY;



$l_н$ – длина направляющего троса; l_a – горизонтальное расстояние между точкой соединения C_i и центром тяжести груза O; l_b – полувысота поднимаемого груза.

Рисунок 1 – Физическая модель тяговой тросовой системы

На основе физической модели была разработана математическая модель с использованием уравнения Лагранжа первого рода. Рассмотрим его составляющие. Так, кинетическую энергию рассчитываем следующим образом:

$$T_k = \frac{1}{2}\int_0^{l_1(t)} \rho_1 \left(\frac{Dy_1(x_1,t)}{Dt}\right)^2 dx_1 + \frac{1}{2}\int_0^{l_1(t)} \rho_1 \left(v_1 + \frac{Du_1(x_1,t)}{Dt}\right)^2 dx_1 + \frac{1}{2}\int_0^{l_2(t)} \rho_2 \left(\frac{Dy_2(x_2,t)}{Dt}\right)^2 dx_2 + \frac{1}{2}\int_0^{l_2(t)} \rho_2 \left(v_2 + \frac{Du_2(x_2,t)}{Dt}\right)^2 dx_2 + \frac{1}{2}m_c(v_1 + \dot{u}_c)^2 + \frac{1}{2}m_c\dot{y}_c^2 + \frac{1}{2}J_c\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{2}\int_0^{l_н} \rho_g \left(\frac{\partial y_{g_i}(x_3,t)}{\partial t}\right)^2 dx_3, \quad (1)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_g – линейные плотности подъемного, компенсационного и направляющего каната соответственно;

m_c – масса транспортируемого груза;

J_c – момент инерции груза;

x_1, x_2, x_3 – линейные координаты подъемного, компенсационного и направляющего канатов соответственно.

Согласно рисунку 1: $0 \le x_1 \le l_1(t)$, $0 \le x_2 \le l_2(t)$ и $0 \le x_3 \le l_н$. Оператор $\frac{D}{Dt}$ представляет собой производную и может быть определен следующим образом:

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_i \frac{\partial}{\partial x_i}, i = 1,2, \quad (2)$$

Потенциальная энергия тяговой системы является функцией виброперемещения и определяется по зависимости

$$P_e = \int_0^{l_1(t)} \left[T_1(x_1,t)\varepsilon_1 + \frac{1}{2}EA\varepsilon_1^2\right] dx_1 + \int_0^{l_2(t)} \left[T_2(x_2,t)\varepsilon_2 + \frac{1}{2}EA\varepsilon_2^2\right] dx_2 +$$
$$+ \sum_{i=1}^{2} \int_0^{l_н} T_{g_i}(x_3,t)\varepsilon_{g_i} dx_3 - \int_0^{l_1(t)} \rho_1 g u_1(x_1,t) dx_1 - \int_0^{l_2(t)} \rho_2 g u_2(x_2,t) dx_2 -$$
$$-m_c g u_c, \quad (3)$$

где EA – осевая жесткость канатов;

$T_i(x_i,t)$ и $T_{g_i}(x_i,t)$, $i = 1,2$ – натяжение канатов в положении x_i;

ε_i, $i = 1,2$ – упругие деформации канатов.

$$\varepsilon_1 = u_{1,x}(x_1,t) + \frac{1}{2}y_{1,x}^2(x_1,t);$$
$$\varepsilon_2 = u_{2,x}(x_2,t) + \frac{1}{2}y_{2,x}^2(x_2,t); \quad (4)$$
$$\varepsilon_3 = \frac{1}{2}y_{g,x}^2(x_3,t).$$

Энергия рассеивания каната может быть рассчитана на основе демпфирования каната следующим образом:

$$D_e = \frac{1}{2}\int_0^{l_1(t)} \mu_1 u_{1,x}^2(x_1,t) dx_1 + \frac{1}{2}\int_0^{l_1(t)} \mu_2 y_{1,x}^2(x_1,t) dx_1 +$$
$$\frac{1}{2}\int_0^{l_2(t)} \mu_1 u_{2,x}^2(x_2,t) dx_2 + \frac{1}{2}\int_0^{l_2(t)} \mu_2 y_{2,x}^2(x_2,t) dx_2 + \frac{1}{2}\int_0^{l_н} \mu_g y_{g,x}^2(x_3,t) dx_3, \quad (5)$$

где μ_1, μ_2, μ_g – распределенные коэффициенты демпфирования подъемного, компенсационного и направляющего канатов соответственно.

Как показано на рисунке 1, перемещение центра тяжести поднимаемого груза может быть представлено как $[u_c, y_c]^T$ в данной системе координат. Используя матрицу преобразования, условия ограничения для канатной тяговой системы могут быть получены как

$$g_z(t) = [g_1^T(t) \quad g_2^T(t) \quad g_3^T(t)\,], \quad (6)$$

где $g_1(t)$ – взаимосвязь ограничений между подъемным канатом и поднимаемым грузом;

$g_2(t)$ – взаимосвязь ограничений между компенсирующим канатом и грузом; $g_3(t)$ – взаимосвязь ограничений между направляющим канатом и грузом.

Так как поворот грузовой системы минимальный, то $sin\theta \approx \theta$ и $cos\theta \approx 1$. С учетом граничного возбуждения на барабане поперечное смещение подъемного каната можно выразить в виде

$$y_1(x_1, t) = \bar{y}_1(x_1, t) + \bar{h}_{y1}(x_1, t), \tag{7}$$

где $\bar{y}_1(x_1, t)$ выбирается таким образом, чтобы соответствовать однородным граничным условиям и $\bar{h}_{y1}(x_1, t)$ компенсировать эффекты граничного возбуждения, которым не удовлетворяет $\bar{y}_1(x_1, t)$. Учитывая, что возбуждение имеет линейное распределение, функция распределения $\bar{h}_{y1}(x_1, t)$ определяется как полином первого порядка в положении x_1 и времени t, который может быть выражен следующим образом:

$$\bar{h}_{y1}(x_1, t) = e_y(t) \cdot \left(1 - \frac{x_1}{l_1(t)}\right). \tag{8}$$

Принимая во внимание геометрические ограничения этой модели, однородные граничные условия на барабане, подъемной системе и конце компенсационного троса могут быть получены в виде

$$\begin{gathered} u_1(0, t) = 0, \\ \bar{y}_1(0, t) = 0, \\ y_2(l_2(t), t) = 0. \end{gathered} \tag{9}$$

Тогда граничные условия в верхней части грузоподъемной системы и на конце направляющего каната могут быть получены как

$$\begin{aligned} y_{g_1}(0,t) &= 0, \\ y_{g_2}(0,t) &= 0, \\ y_{g_1}(l_{\text{н}},t) &= 0, \\ y_{g_2}(l_{\text{н}},t) &= 0. \end{aligned} \tag{10}$$

Для получения динамических уравнений введем два новых безразмерных параметра ξ_1 и ξ_2. Исходная, изменяющаяся во времени область $[0, l(t)]$, преобразуется в фиксированную область $[0, 1]$. Следовательно, зависимые переменные $u_i(x_i, t)$, $\overline{y}_1(x_i, t)$ и $y_2(x_i, t)$ становятся $\hat{u}_i(\xi_i, t)$, $\hat{y}_1(\xi_i, t)$ и $\hat{y}_2(\xi_i, t), i = 1,2$. Их частные производные по ξ_i и t станут

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y(x_i,t)}{\partial x_i} &= \frac{1}{l_i(t)} \frac{\partial \hat{Y}(\xi_i,t)}{\partial \xi_i}, \\ \frac{\partial Y(x_i,t)}{\partial t} &= \frac{\partial \hat{Y}(\xi_i,t)}{\partial t} + \frac{v_i(t)\xi_i}{l_i(t)} \frac{\partial \hat{Y}(\xi_i,t)}{\partial \xi_i}, i = 1,2, \end{aligned} \tag{11}$$

где $Y(x_i, t)$ представляет $u_i(x_i, t)$, $\overline{y}_1(x_i, t)$ и $y_2(x_i, t), i = 1,2$; $\partial\hat{Y}(\xi_i, t)$ обозначает $\hat{u}_i(\xi_i, t)$, $\hat{y}_1(\xi_i, t)$ и $\hat{y}_2(\xi_i, t), i = 1,2$.

Зависимая переменная $y_{g_i}(x_3, t)$ становится $y_{g_i}(\xi_3, t)$ с введением переменной ξ_3. Ее частные производные по ξ_3 и t будут

$$\begin{aligned} \frac{\partial Y(x_3,t)}{\partial x_3} &= \frac{1}{L_{guide}} \frac{\partial \hat{Y}(\xi_3,t)}{\partial \xi_3}, \\ \frac{\partial Y(x_3,t)}{\partial t} &= \frac{\partial \hat{Y}(\xi_i,t)}{\partial t}. \end{aligned} \tag{12}$$

Соответственно, выражение натяжения каната и граничные условия для старых переменных $x_i, i = 1,2,3$ преобразуются в новые выражения для $\xi_i, i = 1,2,3$.

Основываясь на непрерывных характеристиках канатов, координаты динамического смещения могут быть аппроксимированы с использованием метода дискретизации для непрерывных систем. Он использует линейную комбинацию конечных модальных функций для аппроксимации откликов системы, которые состоят из функций дискретного порядка и модальных функций. Выбор модальных функций должен соответствовать ограничениям граничных условий. Дискретные результаты могут быть получены следующим образом:

$$\begin{gathered}
\hat{u}_1(\xi_1, t) = \sum_{i=1}^{N_1} \varphi_{1i}(\xi_1) q_{1i}(t), \\
\hat{u}_2(\xi_2, t) = \varphi_{20}(\xi_2) q_{20}(t) + \sum_{i=1}^{N_1} \varphi_{2i}(\xi_2) q_{2i}(t), \\
\hat{y}_1(\xi_1, t) = \sum_{i=1}^{N_2} \kappa_{1i}(\xi_1) r_{1i}(t), \\
\hat{y}_2(\xi_2, t) = \sum_{i=1}^{N_2} \kappa_{2i}(\xi_2) r_{2i}(t), \\
\hat{y}_{g1}(\xi_3, t) = \sum_{i=1}^{N_3} \psi_{1i}(\xi_3) k_{1i}(t), \\
\hat{y}_{g2}(\xi_3, t) = \sum_{i=1}^{N_3} \psi_{2i}(\xi_3) k_{2i}(t).
\end{gathered} \tag{13}$$

где N_1 и N_2 обозначают дискретный порядок продольного и поперечного смещений подъемного и компенсирующего каната соответственно. N_3 обозначает номер режима поперечного смещения направляющего каната. $q_{1i}(t)$, $q_{2i}(t)$, $r_{1i}(t)$, $r_{2i}(t)$, $k_{1i}(t)$ и $k_{2i}(t)$ – обобщенные координаты тяговой системы. $\varphi_{1i}(\xi_1)$, $\varphi_{2i}(\xi_2)$, $\kappa_{1i}(\xi_1)$, $\kappa_{2i}(\xi_2)$, $\psi_{1i}(\xi_3)$ и $\psi_{2i}(\xi_3)$ – соответствующие пробные функции, удовлетворяющие однородным граничным условиям и уравнениям связи системы. Таким образом, пробные функции можно описать следующим образом:

$$\varphi_{1i}(\xi_1) = sin\left(\frac{2i-1}{2}\pi\xi_1\right),$$
$$\varphi_{20} = \frac{1}{2},$$
$$\varphi_{2i}(\xi_2) = \sqrt{2}cos(i\pi\xi_2), \tag{14}$$
$$\kappa_{1i}(\xi_1) = sin\left(\frac{2i-1}{2}\pi\xi_1\right),$$
$$\kappa_{2i}(\xi_2) = cos\left(\frac{2i-1}{2}\pi\xi_2\right),$$
$$\psi_{1i}(\xi_3) = sin(i\pi\xi_3).$$

Здесь $1 \leq i \leq N_i$. Подставляя уравнение (14) в уравнение (13), производные переменных времени и положения тела могут быть получены следующим образом:

$$\widehat{W}_{i,t}(\xi,t) = \sum_{i=1}^{N_1} A_i(\xi)\dot{p}_i(t),$$
$$\widehat{W}_{i,\xi_i}(\xi,t) = \sum_{i=1}^{N_1} A'_i(\xi)p_i(t),$$
$$\widehat{W}_{i,tt}(\xi,t) = \sum_{i=1}^{N_1} A_i(\xi)\ddot{p}_i(t), \tag{15}$$
$$\widehat{W}_{i,\xi_i\xi_i}(\xi,t) = \sum_{i=1}^{N_1} A''_i(\xi)p_i(t),$$
$$\widehat{W}_{i,\xi_i,t}(\xi,t) = \sum_{i=1}^{N_1} A'_i(\xi)\dot{p}_i(t).$$

где $\widehat{W}_i(\xi,t)$ представляет функции $\hat{u}_1(\xi_1,t)$, $\hat{u}_2(\xi_2,t)$, $\hat{y}_1(\xi_1,t)$, $\hat{y}_2(\xi_2,t)$, $\hat{y}_{g1}(\xi_3,t)$ и $\hat{y}_{g2}(\xi_3,t)$. $A_i(\xi)$ представляет функции $\varphi_{1i}(\xi_1)$, $\varphi_{2i}(\xi_2)$, $\kappa_{1i}(\xi_1)$, $\kappa_{2i}(\xi_2)$, $\psi_{1i}(\xi_3)$ и $\psi_{2i}(\xi_3)$. $p_i(t)$ представляет функции $q_{1i}(t)$, $q_{2i}(t)$, $r_{1i}(t)$, $r_{2i}(t)$, $k_{1i}(t)$ и $k_{2i}(t)$.

Подставляя уравнение (15) в уравнения (1), (3) и (5), дискретизированная кинетическая энергия и потенциальная энергия вводятся в уравнение Лагранжа первого порядка.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \mathrm{T}_k}{\partial \dot{q}_j}\right) - \frac{\partial K_e}{\partial q_j} + \frac{\partial D_e}{\partial \dot{q}_j} + \frac{\partial E_e}{\partial q_j} = Q_j + \sum_{k=1}^{n} \lambda_k \frac{\partial g_k}{\partial q_j}. \tag{16}$$

Динамическое уравнение для системы можно получить следующим образом:

$$\begin{cases} \mathrm{M}(t)\ddot{\mathrm{q}}(t) + \mathrm{C}(t)\dot{\mathrm{q}}(t) + \mathrm{K}(t)\mathrm{q}(t) = \mathrm{F}(t) + \mathrm{N}(t) + \mathrm{G}^T\lambda \\ \mathrm{g}_z(\mathrm{q}, t) = 0 \end{cases}, \quad (17)$$

где, $\mathrm{M}(t)$, $\mathrm{C}(t)$, $\mathrm{K}(t)$ и $\mathrm{F}(t)$ – матрицы массы, демпфирования, жесткости и силы соответственно. $\mathrm{N}(t)$ является связующим звеном, обусловленным взаимодействием поперечных и продольных колебаний.

Здесь $q = \left(k_{11}, \dots, k_{1N_3}, k_{21}, \dots, k_{2N_3}, q_{11}, \dots, q_{1N_1}, q_{20}, q_{21}, \dots, q_{2N_1}, r_{11}, \dots, r_{1N_2}, r_{21}, \dots, r_{2N_2}, q_{c_1}, q_{c_2}, q_{c_3}\right)^T$ – вектор обобщенных координат. Смещения перемещения u_c, y_c и θ обозначаются как q_{c_1}, q_{c_2} и q_{c_3}, соответственно. g_z представляет уравнения связей. $\mathrm{G} = \frac{\partial \mathrm{g}_z(t)}{\partial \mathrm{q}}$ является якобиевой матрицей уравнений связи. $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8]$ – множители Лагранжа, которые обозначают силы связи между канатами и транспортным средством.

Выводы. Предложенный алгоритм исследования динамического поведения тяговой системы с конечным натяжением, выполненный на основе энергетического метода, позволит моделировать и проектировать приводы палубных грузоподъемных устройств рыбопромыслового судна с более высокой точностью, что является необходимым при автоматизации оборудования.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ 32579-2013. Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Части 1-5. М.: Стандартинформ, 2015.
2. Российский морской регистр судоходства. Правила по грузоподъемным устройствам морских судов. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2016. 79 с.
3. *ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016.*
4. *Тё А.М.* Эксплуатация судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств. Л., 2014. 86 с.
5. *Башуров Б.П., Скиба А.Н., Чебанов В.С.* Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов: учебное пособие. Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2009. 192 с.
6. *Бабаков И.М.* Теория колебаний. М.: Наука, 1976. 592 с.

7. *Ананьев И.В.* Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем. М.-Л.: ОГИЗ, Гостехиздат, 1946. 223 с.
8. *Бидерман В.Л.* Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. 408 с.
9. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. М.: Машиностроение, 1985. 472 с.
10. *Ivanovskaya A.V.* The research of the dynamic of the mechanical system with variable parameters // Journal of Vibroengineering. 2010. Vol. 12. Issue 4. P. 494-499.

References:

1. GOST *32579-2013. Krany gruzopod"emnye. Principy formirovaniya raschetnyh nagruzok i kombinacij nagruzok. Chasti 1-5* [State Standard 32579-2013. Cranes hoisting. Principles of forming design loads and combinations of loads. Parts 1-5]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. (In Russian).
2. *Rossijskij morskoj registr sudohodstva. Pravila po gruzopod"emnym ustrojstvam morskih sudov* [Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the lifting devices on marine vessels], St. Petersburg, 2016, 79 p. (In Russian).
3. *GOST 27.002-2015. Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya* [State Standard 27.002-2015. Reliability in technology. Terms and definitions]. Moscow, Standardinform Publ., 2016. (In Russian).
4. Tyoh A.M. *Ekspluataciya sudovyh vspomogatel'nyh mekhanizmov, sistem i ustrojstv* [Operation of ship auxiliary mechanisms, systems and devices]. Leningrad, 2014, 86 p. (In Russian).
5. Bashurov B.P., Skiba A.N., Chebanov V.S. *Funkcional'naya nadezhnost' i kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sudovyh vspomogatel'nyh mekhanizmov* [Functional reliability and control of the technical condition of ship's auxiliary mechanisms]. Novorossiysk, MGA named after Admiral F.F. Ushakov Publ., 2009, 192 p. (In Russian).
6. Babakov I.M. *Teoriya kolebanij* [Oscillation theory]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 592 p. (In Russian).
7. Anan'ev I.V. *Spravochnik po raschetu sobstvennyh kolebanij uprugih sistem* [Handbook on the calculation of natural oscillations of elastic systems]. Moscow-Leningrad, OGIZ, Gostekhizdat Publ., 1946, 223 p. (In Russian).
8. Biderman V.L. *Teoriya mekhanicheskih kolebanij* [Theory of mechanical vibrations]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 408 p. (In Russian).
9. Timoshenko S.P. *Kolebaniya v inzhenernom dele* [Fluctuations in engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ, 1985, 472 p. (In Russian).
10. Ivanovskaya A.V. The research of the dynamic of the mechanical system with variable parameters. *Journal of Vibroengineering*, 2010, vol. 12, issue 4, pp. 494-499. (In English).

Сведения об авторе / Information about author

Ивановская Александра Витальевна	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 invkerh@yandex.ru
Ivanovskaya Aleksandra Vital’evna	Ph. D (Engin.) Associate Professor at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 invkerh@yandex.ru

УДК 621.31 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_150**

Капустянский М.С., Новых А.В., Свириденко И.И.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ НА МОРСКИХ ПЛАВУЧИХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРАХ

Аннотация. Рассмотрены морские плавучие ветрогенераторы с системами аккумулирования энергии. Представлен анализ существующих морских ветроустановок, продемонстрированы тенденции их развития, показаны их преимущества и недостатки. Проанализированы особенности морских плавучих ветроустановок, показаны их преимущества, приведены примеры реализации известных пилотных проектов. Рассмотрены методы аккумулирования энергии на морских плавучих ветроустановках, обеспечивающие повышение эффективности электрогенерации, снижающие зависимость от изменения погоды, а также условий переменной нагрузки в сети. Представлен вариант компоновки основных элементов морской плавучей ветроустановки и схема соединения компрессора и турбины с генератором. Приведены результаты оценочных расчетов возможного диапазона мощности оборудования плавучих ветроустановок и ожидаемых энергозатрат на производство электроэнергии с системами аккумулирования. Сделан вывод о перспективности использования морских плавучих ветроустановок с системами аккумулирования энергии.
Ключевые слова: морская ветроэнергетика, плавучий ветрогенератор, аккумулирование энергии, производство и хранение сжатого/сжиженного воздуха, эффективность.

Kapustyansky M.S., Novykh A.V., Sviridenko I.I.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY STORAGE METHODS ON OFFSHORE FLOATING WIND GENERATORS

Abstract. Offshore floating wind generators with energy storage systems are considered. An analysis of existing offshore wind turbines is presented, trends in their development are demonstrated, their advantages and disadvantages are shown. The features of offshore floating wind turbines are analyzed, their advantages are shown, examples of the implementation of well-known pilot projects are given. Methods of energy storage on offshore floating wind turbines, which provide an increase in the efficiency of power generation, reduce dependence on weather changes, as well as conditions of variable load in the network, are considered. A variant of the layout of the main elements of an offshore floating wind turbine and a connection diagram of a compressor and a turbine with a generator are presented. The results of estimated calculations of the possible range of capacity of the equipment of floating wind turbines and the expected energy consumption for the production of electricity with storage systems are presented. It is concluded that the use of offshore floating wind turbines with energy storage systems is promising.
Keywords: offshore wind power, floating wind turbine, energy storage, production and storage of compressed or liquefied air, efficiency.

Введение. Морская ветроэнергетика среди всех известных направлений возобновляемой энергетики развивается наиболее эффективно и считается самой перспективной. Строительство ветроэнергетических установок всех известных типов по сравнению с вводом других возобновляемых источников энергии (ВИЭ), несмотря на целый ряд организационных проблем, главная из которых –

отчуждение больших участков земли для их размещения, идет наиболее высокими темпами. Доля ветроэнергетики от общего производства электроэнергии в мире по разным оценкам [1] составляет сегодня 1,5-2,0 %.

Эффективность использования ветра в море для производства электроэнергии на 30 % выше, чем на суше, так как на морских просторах нет препятствий, приводящих к завихрениям и потере скорости ветра. Проблема отчуждения земли не затрагивает развитие морской ветроэнергетики. По данным «The EU Blue Economy Report 2020» [2] доля вводимых только в странах ЕС в эксплуатацию прибрежных ветряных установок за последние несколько лет постоянно увеличивалась (рис. 1). На конец 2020 года из всех ветрогенераторов суммарной установленной мощностью 773000 МВт на морские установки приходится 4,5 % [3].

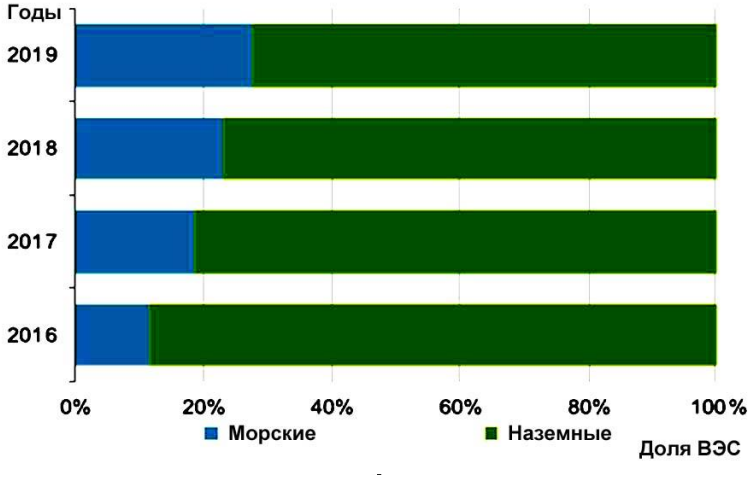


Рисунок 1 – Соотношение вводимых мощностей морской и береговой ветроэнергетики в ЕС [2]

Обозначенная в европейской энергетике еще в 2012 году как «стратегия голубого роста», интенсивное использование энергии морского происхождения, называемой также «голубой энергией», рассматривается Европейской комиссией в качестве приоритетных для обеспечения устойчивого роста европейской экономики. По мнению зарубежных аналитиков [2, 4], высокий

потенциал энергия морского ветра, стратегическая социально-экономическая и экологическая добавленная стоимость делают морскую ветроэнергетику возобновляемым источником, призванным играть решающую роль в достижении климатически нейтральной европейской экономики уже к 2050 году.

В нашей стране отношение к морской ветроэнергетике не столь оптимистичное и, соответственно, темпы ее развития более скромные, а о морской ветроэнергетике можно говорить пока только как о зарождающемся направлении. Тем не менее, учитывая географическое положение России, а также особое внимание, которое в последнее время уделяется у нас созданию морских ветроустановок [5], перспективность развития этого направления среди других ВИЭ однозначна. Согласно оценкам российских экспертов Ассоциации развития возобновляемой энергетики, Россия обладает высоким потенциалом в морской ветрогенерации. Наиболее перспективным регионом для ее развития считается Каспийское море и Астраханская область, где к 2024 году планируется ввести в строй ветровые электростанции суммарной мощностью 377 МВт [6]. С учетом же высокой стоимости морских ветрогенераторов и длительного срока их окупаемости, при создании морских ветроустановок должны применяться наиболее эффективные технологии реализации ВИЭ, позволяющие снизить зависимость от погодных условий и колебаний нагрузки в энергосети.

Целью исследования является обзор существующих морских плавучих ветроустановок, тенденций их развития, а также анализ метода аккумулирования энергии на морских плавучих ветроустановках для повышения эффективности электрогенерации на этих сравнительно новых, достаточно дорогих, но зато лишенных зависимости от глубины моря для своего размещения, и поэтому – наиболее перспективных морских ВИЭ.

Материалы и методы исследования. При проведении исследований использовались результаты выполненного авторами анализа основных типов морских ветроустановок, тенденций их развития и размещения в море, сравнения характеристик и возможности использования в локальных энергосистемах.

Рассматривались существующие морские стационарные и плавучие ветрогенераторы, анализировались особенности их использования в различных энергосистемах, сопоставлялись результаты реализации известных пилотных проектов, проводилось сравнение их преимуществ и недостатков.

В связи с тем, что особое внимание при разработке и эксплуатации морских ветроэнергетических установок должно уделяться обеспечению эффективности получения и использования электроэнергии на этих достаточно дорогих объектах ВИЭ, полностью зависящих от погодных условий, основным направлением проведенного анализа стало исследование возможности аккумулирования энергии непосредственно на ветроустановках. Именно метод аккумулирования энергии обеспечивает повышение эффективности электрогенерации за счет снижения зависимости от изменения погоды, а также условий переменной нагрузки в сети. Кроме того, на основе анализа известных конструкций плавучих ветрогенераторов был разработан вариант компоновки основных элементов морской плавучей ветроустановки с системой аккумулирования энергии и предложена схема соединения компрессора и турбины с генератором. Анализ характеристик плавучих ветроустановок и моделирование термодинамических циклов возможных систем аккумулирования энергии позволил выполнить оценочные расчеты диапазона мощности их основного оборудования и ожидаемых энергозатрат на производство электроэнергии.

Использование стационарных морских ветроустановок имеет свою достаточно продолжительную историю. Однако, из-за ограничений по глубине шельфа: от 15 до 30 м, на котором их можно размещать, широкого распространения на бескрайних океанских просторах они не получили.

В течение последних десяти лет отмечается тенденция к увеличению удаления от береговой линии стационарных морских ветроустановок (рис. 2) [7]. Еще в 2010 году морские ветроустановки в Европе выносились в море на удалении от побережья в среднем чуть более десяти километров. В 2013 году – в

среднем уже на 20 километров, в 2016 году – более чем на 30 километров, в 2018 году – на 40 километров, а 2019 году – в среднем на 59 километров.

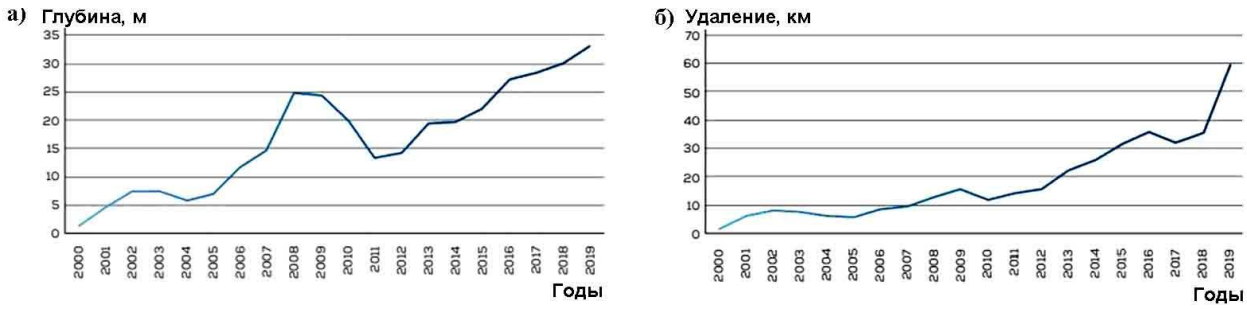


Рисунок 2 – Диахроническая эволюция средней глубины размещения морских ветроустановок (а) и их удаления от побережья (б) [7]

Соответствующая тенденция к росту прослеживается и с глубиной шельфа для размещения стационарных ветрогенераторов. В 2011 году ветроустановки располагались на шельфе с глубиной менее 15 м, в 2015 году – более 20, в 2019 году – уже более 30 м. Но районами их расположения в основном оставались прибрежные зоны и, как правило, с интенсивным судоходством.

Плавучие ветроустановки, расположение которых в океане не ограничено глубиной, не имеют этого недостатка. Их основанием являются, как правило, полупогружные конструкции, фиксирующиеся относительно морского дна швартовочно-анкерной трехточечной системой. Подобные сооружения обладают высокой волноустойчивостью, необходимой остойчивостью при штормовом ветре, а также ледостойкостью.

Пока эти установки находятся в стадии реализации пилотных проектов. Первая в Европе плавучая ветроустановка появилась в 2009 году в 10 км от юго-западного побережья Норвегии: проект компании «Hywind» с турбиной мощностью 2,3 МВт. С 2015 года у побережья Шотландии реализуется второй проект норвежской компании «Statoil» и шотландской – «Peterhead» с ветроустановкой мощностью 30 МВт, состоящей из пяти плавающих ветровых турбин по 6 МВт, размещенных на глубинах более 100 м в 25 км от берега [8].

В Португалии в пяти километрах от побережья Агусадора развернут третий пилотный проект, известный как «WindFloat». Его цель – демонстрация экономического потенциала и надежности этой технологии, которая даст основание говорить о ее дальнейшей коммерциализации. Ветроустановка включает 4 турбины общей мощностью 25 МВт [8]. Проект реализуется под руководством консорциума компаний, включая французскую группу «Engie», португальскую «EDPR», японскую «Mitsubishi Corp - Chiyoda Corp» и испанскую «Repsol». Параллельно разрабатываются аналогичные проекты в Великобритании, Португалии, Норвегии, Франции.

На рис. 3 изображены основные типы несущих конструкций морских ветрогенераторов [9]. Традиционно их располагают на одиночных опорах, треногах, фермовых основаниях или массивных гравитационных платформах, стационарно установленных на дне шельфовой зоны.

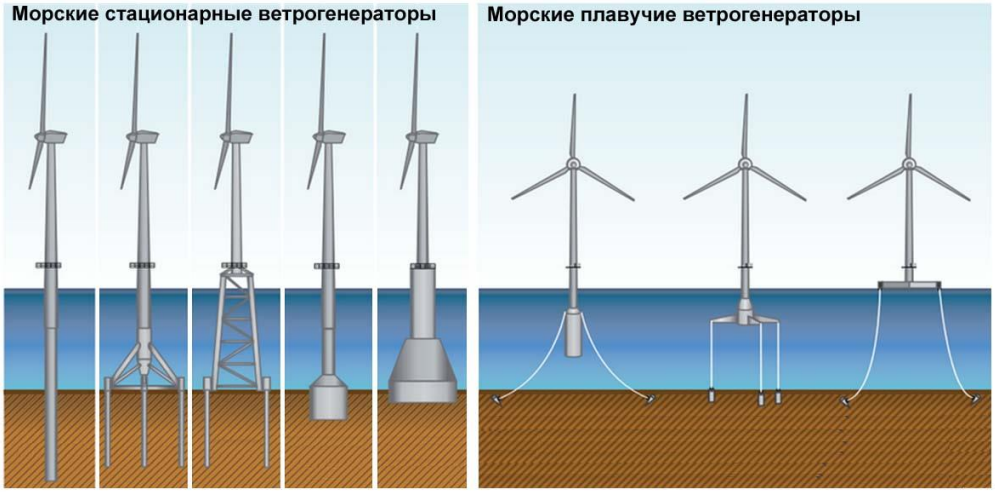


Рисунок 3 – Основные типы конструкций морских ветроустановок [9]

И лишь три типа из известных восьми имеют плавучие платформы: на одном плавучем цилиндрическом буе [10] или на плавучем подводном, надводном или полупогружном треугольном основании [11] (рис. 4). Последний тип стал основой создания самой большой на сегодня плавающей ветроустановки в мире. Ветрогенератор, разработанный и изготовленный

японскими специалистами, имеет мощность 7 МВт, высота его составляет 105 м, установлен в 20 км от побережья Фукусимы, фиксируется относительно дна с помощью четырех 20-тонных якорей. Его конструкция может выдержать воздействие морских волн и волн цунами, высотой до 20 м.

Рисунок 4 – Варианты конструкций плавучих платформ ветрогенераторов [10, 11]

Также необходимо отметить испанские разработки плавучих ветрогенераторов. На данный момент ведется разработка нескольких уникальных проектов, таких как:

- первая в Испании ветровая турбина на телескопической башне, которая позволит удешевить на 30 % строительство «ветровых полей»;

- проходящая испытания первая в мире плавучая ветроустановка с двумя турбинами, опирающиеся на одну общую платформу (рис. 5) [12].

Рисунок 5 – Перспективные конструкции плавучих морских ветрогенераторов [12]

В перспективе рассматривается применение плавучих модульных конструкций морских ветроустановок [13], которые могут образовывать целые ветроэнергетические поля или фермы (рис. 6), а также плавучих поплавковых конструкций с летающими ветрогенераторами, соединенными с поплавковым основанием кабель-тросом (рис. 7) [14, 15].

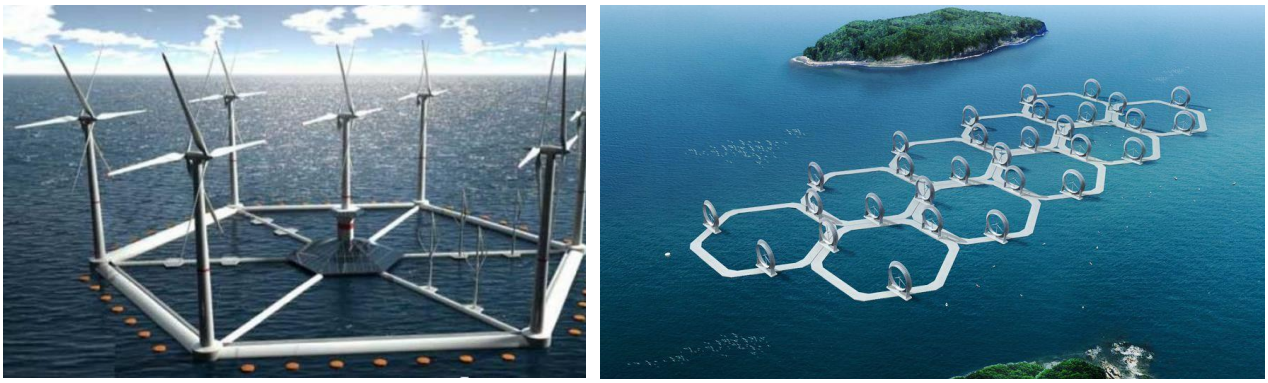


Рисунок 6 – Варианты конструкций плавучих модульных ветрогенераторов [13]

Рисунок 7 – Летающий ветрогенератор на базе морской плавучей установки [14, 15]

Результаты исследования и их обсуждение. Нестабильность работы энергосистем, связанная с использованием ВИЭ, зависящих от погодных условий и времени суток, остается одной из нерешенных проблем, особенно для локальных и распределенных энергосистем [16]. Наиболее эффективным методом решения проблемы выравнивания суточной нагрузки в энергосети является применение технологий аккумулирования энергии. Реализация этих технологий позволяет, с одной стороны, повысить эффективность традиционной энергетики, а с другой – расширить возможности возобновляемой энергетики, в

первую очередь солнечной и ветровой. Особое значение метод аккумулирования энергии приобретает для локальных и замкнутых энергосистем.

Для морской ветроэнергетики самой перспективной технологией повышения эффективности генерации является аккумулирование энергии непосредственно на плавучей платформе ветрогенератора. Метод предусматривает использование автономной системы хранения тепловой энергии, использующей сжатый или сжиженный воздух, либо азот.

На рис. 8 представлен вариант реализации этого метода на морском плавучем ветрогенераторе с поплавковым основанием. Ветроустановка имеет автономную гидро-пневмоаккумулирующую систему, в которой избыточная энергия ветра используется для привода гидропоршня с преобразованием в энергию давления сжатого воздуха. Давление в аккумуляторе, расположенном в поплавковом основании, регулируется или поддерживается путем заряда/разряда сжатого воздуха с помощью гидравлической системы, насос которой работает от электроэнергии, вырабатываемой ветротурбиной. В системе накопления энергии сжатым воздухом реализуется почти изотермическое сжатие/расширение и накопление энергии до преобразования в электрическую энергию. Морская вода используется в качестве жидкостного поршня для сжатия воздуха. Жидкостный поршень создает положительное газовое уплотнение, обеспечивает пространство для сжатия с большой площадью поверхности для увеличения теплопередачи и использует океан в качестве источника/поглотителя теплоты. Сжатый воздух хранится в «открытом аккумуляторе», где объем воздуха изменяется за счет вытеснения жидкости. Возможность обмена энергией в открытом аккумуляторе путем добавления или отбора газа или жидкости обеспечивает преимущества управления системой, включая сохранение переходных процессов большой мощности и прямое управление давлением воздуха независимо от уровня накопления энергии [17, 18].

Особенностью этой схемы аккумулирования является подводное хранилище воздуха, где в условиях низкой температуры давление воздуха будет

падать. Создать хорошо теплоизолированное подводное хранилище слишком дорого, поэтому КПД такой схемы следует ожидать не более 50 %. Другой особенностью этой установки является расположение емкости высокого давления на дне, что требует для соединения с открытым аккумулятором иметь гибкий шлангокабель высокого давления и достаточно большой длины.

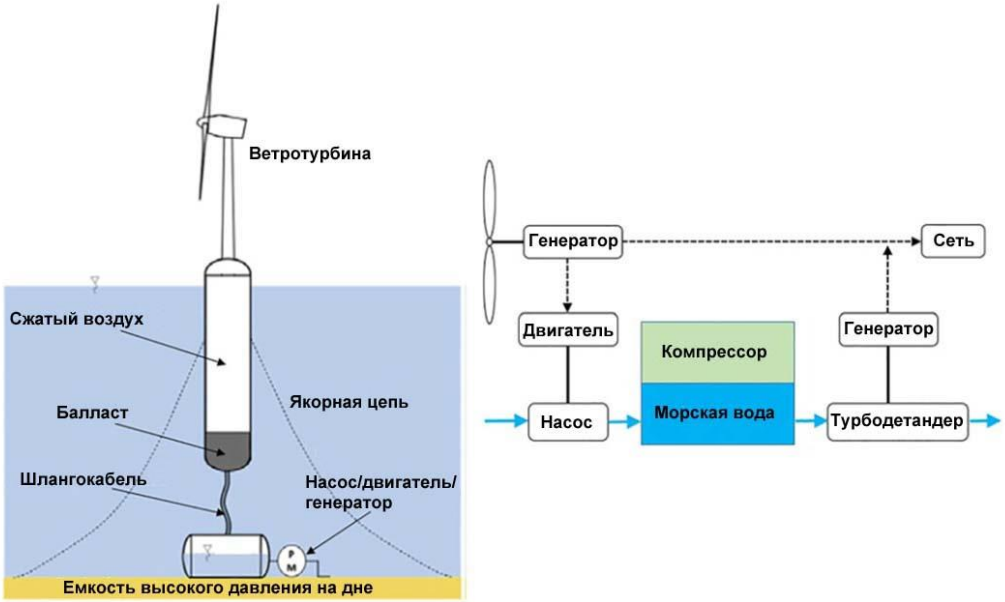


Рисунок 8 – Схема плавучей установки с ветряной турбиной и автономной гидро-пневмоаккумулирующей системой [17, 18]

Исключить этот конструктивный недостаток возможно, используя для размещения воздушных аккумуляторов опорные колонны плавучей или полупогружной платформы, имеющие герметичную конструкцию. Балластная система платформы обеспечит регулирование в них давления воздуха. На самой платформе достаточно места для размещения компрессорного оборудования, нет необходимости в резервных электрогенераторах. В отсутствие ветра сжатый воздух будет подаваться на основной ветрогенератор, вращая турбину. Нами разработан вариант компоновки основных элементов морской плавучей ветроустановки и схема соединения компрессора и турбодетандера с генератором (рис. 9). Подобная конфигурация позволяет вращать электрогенератор в отсутствие ветра.

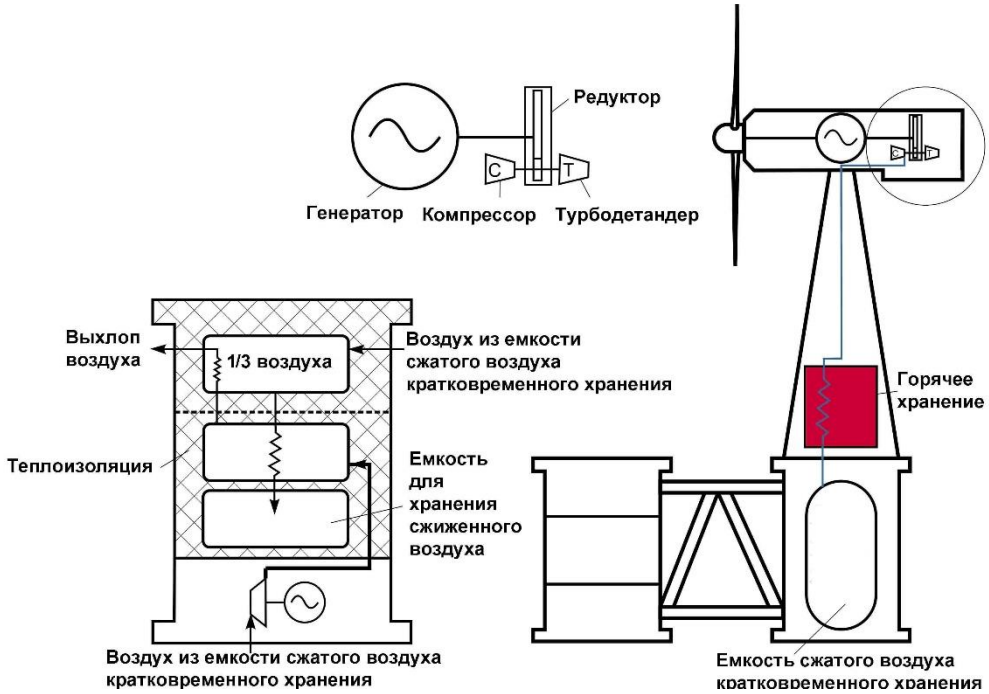


Рисунок 9 – Система хранения энергии сжатого воздуха – Compressed Air Energy Storage (CAES) с аккумулятором на морской плавучей ветроустановке

Размещение на одном валу с электрогенератором компрессора и турбины дает возможность обеспечить максимальное использование электрогенератора для накопления энергии. Полученная от ветрогенератора избыточная электроэнергия используется для работы компрессора, сжимающего воздух. Сжатый воздух накапливается и хранится в воздушном аккумуляторе. При недостатке силы ветра для поддержания требуемой мощности ветрогенератора уже турбиной сжатого воздуха будет вырабатываться необходимая дополнительная энергия.

Еще одним перспективным способом хранения избыточной энергии является использование сжиженного воздуха или азота. При этом азот является более безопасным теплоносителем, так как хранение сжиженного воздуха сопряжено с большой взрыво- и пожароопасностью.

Жидкий воздух – это атмосферный воздух, охлажденный до температуры его сжижения. Сжиженный воздух после нагревания и изменения своего

агрегатного состояния значительно расширяется и увеличивается в объеме, что делает его потенциально перспективным для накопления и хранения энергии. Предлагается запасать потенциальную энергию в виде сжиженного воздуха, который в дальнейшем может храниться в условиях атмосферного давления в цистернах, размещенных в основаниях морских ветрогенераторов. Подобный метод разработан компанией Highview Power Storage, а схема аккумулирования энергии изображена на рис. 10 [19].

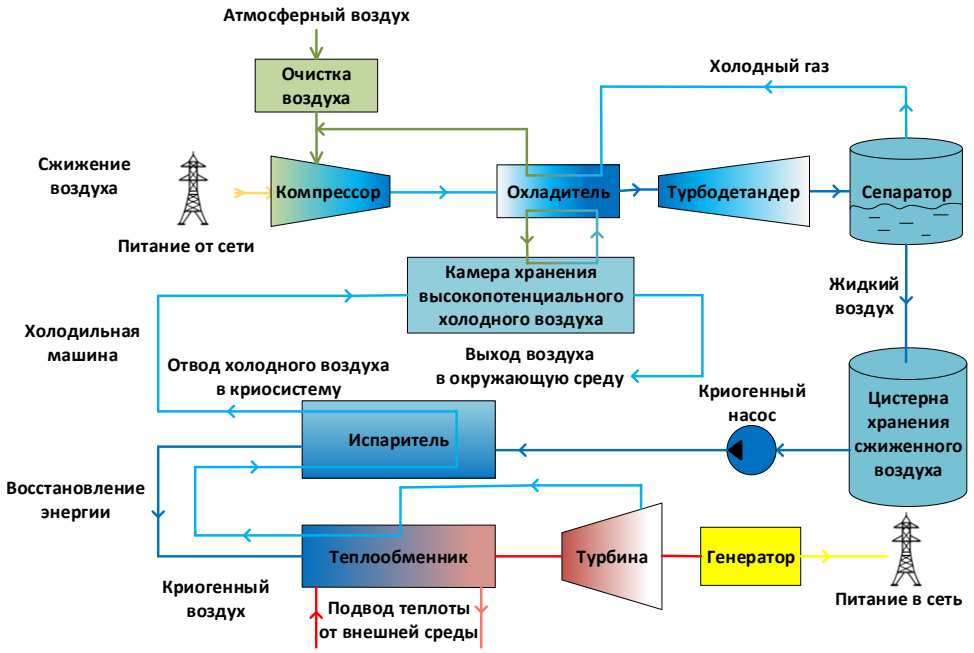


Рисунок 10 – Схема установки аккумулирования энергии компании Highview Power Storage [19]

Особенностью разработки является то, что излишек выработанной электроэнергии идет на понижение температуры воздуха до уровня –190 °С. При этом получают энергоноситель, который принято называть «криогенный воздух». Его хранят в отдельной цистерне при давлении 1 бар. Эта технология получила название хранения энергии воздуха в жидком виде или в виде криогенной энергии – Liquid Air Energy Storage (LAES). Технология LAES, предложенная британскими разработчиками, обладает рядом преимуществ в

отличие от метода заряда электрических батарей или обеспечения работы станций перекачивания воды [20]. Выработанная, но не использованная внешним потребителем электроэнергия идет на понижение температуры воздуха и последующее его сжижение. Для хранения криогенного воздуха используются две отдельные теплоизолированные емкости.

Перевод сжиженного воздуха в газообразное состояние для соответствия параметрам окружающей среды происходит за счет нагрева в специальном теплообменнике при давлении 70 бар. Полученный после газификации воздух, подается на турбину, обеспечивающую выработку электроэнергии. При этом не весь охлажденный воздух используется в процессе, но он не теряется, в атмосферу не выбрасывается, а улавливается специальным оборудованием для повторного использования при сжижении воздуха [21].

Исходя из опыта компании Highview Power Storage, нагревание сжиженного воздуха до температуры окружающей среды компенсирует до 50 % энергетических затрат от самого процесса сжижения [22]. Как будет показано ниже, если температуру криогенного воздуха повысить еще больше, то уровень компенсации энергозатрат возрастет от 75 до 120 %. При этом для нагрева воздуха можно использовать утилизацию бросовой тепловой энергии.

Криогенное хранилище энергии компании Highview Power Storage мощностью 5 МВт, пройдя необходимые испытания, введено в эксплуатацию недалеко от Манчестера [23]. Подобная криоустановка эксплуатируется на электростанции, вырабатывающей электричество из биомассы в городе Слау [24]. В планах компании – повышение мощности своих аккумулирующих установок до уровня 8-10 МВт, а также строительство четырех крупных аккумуляторов энергии на сжиженном воздухе, в состав которых войдут две аккумулирующие емкости для жидкого воздуха по 7700 т и восемь 25 мегаваттных турбин [22].

На основе рассмотренного выше анализа, предлагаемого различными производителями электро- и теплоэнергетического оборудования и установок

для аккумулирования и преобразования тепловой энергии в электрическую, нами была произведена расчетная оценка возможного диапазона мощности задействованного оборудования, затрат на производство электроэнергии на морских ветроустановках и эффективности системы аккумулирования энергии.

На рис. 11 и 12 представлены расчетные оценки зависимостей, соответственно, мощности воздушного компрессора от конечного давления сжатого воздуха и мощности турбодетандера от начального давления подаваемого на него сжатого воздуха в системе аккумулирования, представленной на рис. 9. Сопоставление мощности привода компрессора и мощности турбодетандера показывает, что эффективность системы аккумулирования энергии (отношение полезной энергии к затраченной на привод компрессора) с помощью сжатого воздуха будет обеспечена, но в реальных условиях ее значение не будет превышать 30 %. При конечном давлении 5 МПа требуемая мощность на привод компрессора составит 640 кВт, а при том же расходе воздуха через турбодетандер полезная энергия составит 200 кВт.

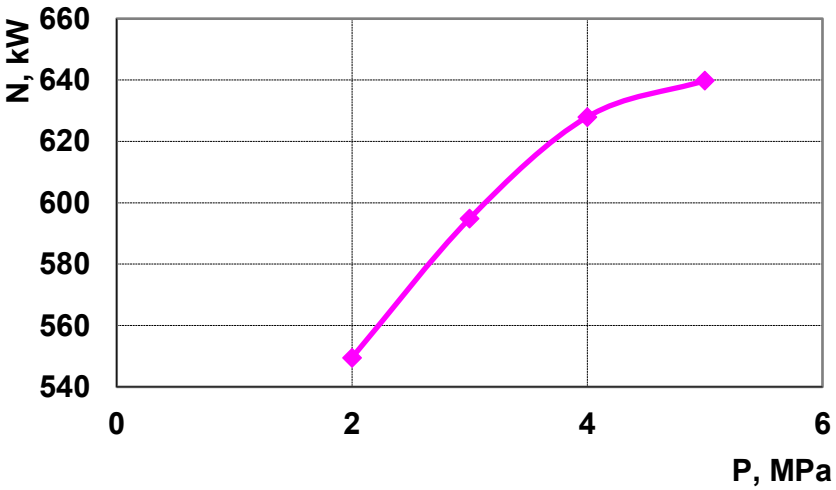


Рисунок 11 – Зависимость мощности компрессора от конечного давления (при постоянном расходе 1 кг/с)

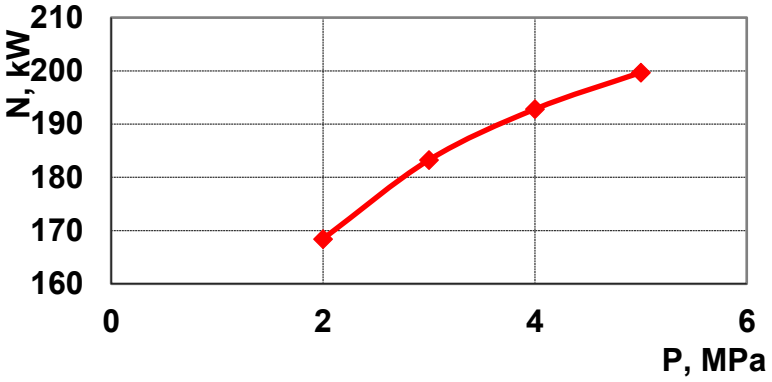


Рисунок 12 – Зависимость мощности турбодетандера от начального давления (начальная температура перед турбодетандером 15 °С, конечное давление – несколько выше атмосферного)

Применяя вторую схему (рис. 10), в которой воздух после турбодетандера используется для охлаждения и сжижения воздуха во второй – теплоизолированной цистерне, можно реализовать более эффективный в термодинамическом плане цикл длительного хранения энергии. В этом случае, подавая воздух на турбодетандер при температуре 15 °С и начальном давлении в диапазоне от 2 до 5 МПа, на выходе можно получить воздух с температурой, соответственно, от –140 до –180 °С (рис. 13), который можно использовать для предварительного охлаждения воздуха перед его сжижением.

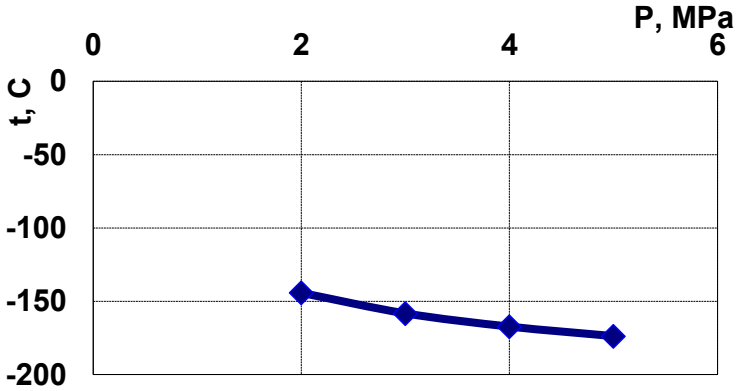


Рисунок 13 – Изменение температуры после детандера

В этом случае, согласно результатам опытной эксплуатации установки

компании Highview Power Storage (рис. 10), эффективность системы аккумулирования энергии может быть повышена до 50 %. Обратная газификация жидкого воздуха будет производиться за счет теплоты океана. И наконец, если воздух дополнительно подогреть до температуры 200-500 °С, эффективность системы аккумулирования энергии можно довести до уровня более 100 %.

На рис. 17 приведены расчетные значения полезной мощности турбодетандера в зависимости от начального давления и температуры предварительного подогрева. Из графика видно, что по мере роста температуры дополнительного подогрева воздуха полезная энергия турбодетандера значительно выше затрат энергии на сжатие воздуха (рис. 11).

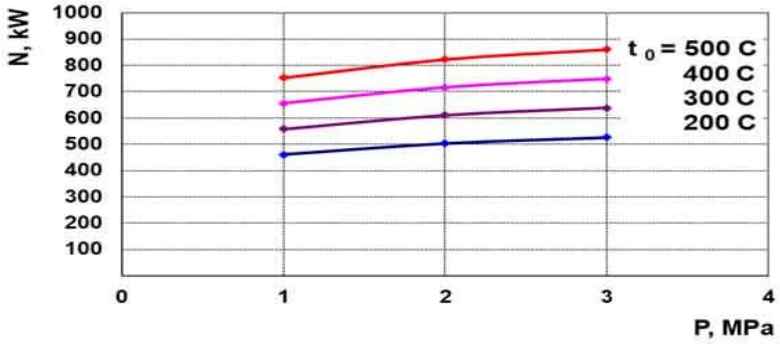


Рисунок 14 – Зависимость мощности турбины от давления и температуры воздуха перед турбиной

С повышением температуры воздуха растет теплосодержание сжатого воздуха перед турбиной, что обеспечит выработку гораздо большего количества электроэнергии, чем было ее затрачено на сжатие воздуха в компрессоре. При этом в качестве дополнительного источника тепловой энергии для нагрева сжатого воздуха может использоваться избыточная электроэнергия, выработанная самим ветрогенератором, тепловая энергия от системы аккумулирования, а также солнечная энергия.

Выводы. Преимущество морской ветроэнергетики определяется отсутствием необходимости отчуждения земли для размещения ветроустановок, а также высокой, по сравнению с сушей, эффективностью использования ветра

для производства электроэнергии.

Создание плавучих ветроустановок позволяет исключить две основные проблемы, сдерживающие их широкомасштабное применение: зависимость размещения от глубины моря и привязку к расположению на шельфе в прибрежных зонах, как правило, с интенсивным судоходством.

Для решения третьей проблемы: обеспечения их эффективности при нестабильной генерации из-за погодных условий, необходимо использовать технологии аккумулирования энергии непосредственно на самой ветроустановке. Именно в море не будет ограничений для размещения оборудования хранения энергии, в частности, резервуаров для сжатого/сжиженного воздуха. Проще решается задача обеспечения пожарной безопасности при использовании сжиженного воздуха.

Совмещение плавучих ветрогенераторов с системами аккумулирования энергии обеспечит снижение себестоимости всей электрогенерирующей установки. В этом случае не потребуется дублирования генераторов и отпадает необходимость в размещении дополнительных емкостей для хранения сжатого или сжиженного воздуха.

Эффективность термодинамических циклов, реализуемых в рассмотренных методах аккумулирования энергии, будет обеспечена постоянством параметров и бесконечностью массы морской воды, как при выполнении функции теплоприемника для охлаждения сжимаемого воздуха, так и низкопотенциального источника теплоты – при газификации сжиженного воздуха. Дополнительный подогрев воздуха перед турбодетандером до температуры 200-500 ºС позволит повысить эффективность системы аккумулирования энергии до уровня более 100 %.

Рассмотренные особенности морских плавучих ветрогенераторов с системами аккумулирования энергии и расчетные оценки ожидаемой эффективности позволяют сделать вывод о перспективности их широкого использования.

Список использованной литературы:

1. Ветроэнергетика в России: состояние и перспективы развития. URL: https://fb.ru/article/379529/vetroenergetika-v-rossii-sostoyanie-i-perspektivyi-razvitiya (дата обращения: 10.06.2021).
2. The EU Blue Economy Report 2020. URL: https://www.msp-platform.eu/practices/eu-blue-economy-report-2020 (дата обращения: 02.06.2021).
3. Ветроэнергетическая отрасль мира: итоги 2020 года. URL: https://www.eprussia.ru/articles/vetroenergeticheskaya-otrasl-mira-itogi-2020-goda.htm (дата обращения: 17.05.2021).
4. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future. European Commission, Brussels. 19.11.2020. COM(2020) 741 final. 26 p.
5. Альтернативная энергетика: перспективы развития рынка ВИЭ в России. URL: https://delprof.ru/press-center/open-analytics/alternativnaya-energetika-perspektivy-razvitiya-rynka-vie-v-rossii/ (дата обращения: 17.07.2021).
6. Астраханская область рассматривается как первый в России регион для развития морской ветроэнергетики. URL: https://www.eprussia.ru/news/base/2020/6390105.htm (дата обращения: 07.07.2021).
7. Eólica marina europea: cada vez más grande, cada vez más lejos, en aguas cada vez más profundas. URL: https://www.energias-renovables.com/eolica/la-eolica-marina-ya-es-mas-barata-20200211 (дата обращения: 15.06.2021).
8. Плавающие ветрогенераторы: признаки многообещающего будущего. URL: https://ensat.ru/news/greenenergy/184.html (дата обращения: 12.06.2021).
9. Floating wind turbine concepts: fixed-bottom foundation & floating offshore concepts. URL: https://twitter.com/iea/status/577862013331718147 (дата обращения: 01.06.2021).
10. Ветряки на воде – в Шотландии появится первая плавающая электростанция. URL: https://mplast.by/novosti/2015-11-13-vetryaki-na-vode-v-shotlandii-poyavitsya-pervaya-plavayushhaya-elektrostantsiya/ (дата обращения: 01.06.2021).
11. Самый большой в мире морской ветрогенератор. URL: https://masterok.livejournal.com/2472384.html (дата обращения: 01.06.2021).
12. En esta base de Canarias se investiga la eólica marina del futuro. URL: https://www.eleconomista.es/canarias/amp/10637181/En-esta-base-marina-de-Canarias-se-investiga-la-eolica-marina-del-futuro (дата обращения: 04.06.2021).
13. *Радченко П.М.* Морской плавучий ветропарк // Наука и транспорт. Морской и речной транспорт. 2013. № 1 (5). С. 82-86.
14. Makani's first offshore energy kite fligt. URL: https://www.youtube.com/watch?v=F6NW0QeKLZA (дата обращения: 10.09.2021).
15. Голландцы заставят беспилотники добывать электричество URL: https://nplus1.ru/news/2017/04/25/tethered (дата обращения: 10.09.2021).
16. *Новых А.В., Свириденко И.И.* Аккумулирование энергии // Безопасность, эффективность, ресурс. Сб. тез. докл. 13-й Межд. научн.-практ. конф. по атомной энергетике. Севастополь, Оргкомитет МНПК АЭ-2017. СевГУ. С. 132-135.
17. Compressed air energy storage for offshore wind turbines. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Compressed-Air-Energy-Storage-for-Offshore-Wind-Li-Loth/c9b23bea20236c8c695e3ec148165c06b7aa6d03/ (дата обращения: 10.08.2021).
18. *Saadat M., Shirazi F.A., Li P.Y.* Modeling and control of an open accumulator compressed air energy storage (CAES) system for wind turbines. Applied Energy. 2015. No. 137. P. 603-616. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.085.
19. Ученые рассматривают сжиженный воздух в качестве серьезной альтернативны традиционным аккумуляторам. URL: http://energycraft.org/ekonomiya-elektroenergii/ uenye-

rassmatrivaut-siennyj-vozduh-v-kaestve-sereznoj-alternativny-tradicionnym-akkumulatoram.html (дата обращения: 07.09.2021).
20. Liquid Air Energy Storage. URL: https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/electricalpower/images/newsnevents/hies2017/presentations/hies2017_highview.pdf (дата обращения: 07.07.2021).
21. Создан инновационный аккумулятор для чистой энергии. URL: https://zen.yandex.ru/media/id/5b47636c1f242d00a9b94510/sozdan-innovacionnyi-akkumuliator-dlia-chistoi-energii-5c0acbb31d594500ab44cb9a?utm_source=serp (дата обращения: 27.06.2021).
22. *Vecchi A., Li Y., Ding Y., Mancarella P., Sciacovelli A.* Liquid air energy storage (LAES): A review on technology state-of-the-art, integration pathways and future perspectives // Advances in Applied Energy. 2021. Vol. 3. P. 100047. DOI: 10.1016/j.adapen.2021.100047.
23. Крупнейшая в мире криогенная электростанция открыта в Англии. URL: https://ecotechnica.com.ua/energy/1814-krupnejshaya-v-mire-kriogennaya-elektrostantsiya-otkryta-v-anglii-video.html (дата обращения: 05.06.2021).
24. Криоэнергетика: криогенная электростанция. URL: https://www.popmech.ru/technologies/12689-prodavtsy-vozdukha-krioenergetika/ (дата обращения: 22.06.2021).

References:

1. *Vetrojenergetika v Rossii: sostojanie i perspektivy razvitija* [Wind power in Russia: state and development prospects]. (In Russian). Available at: https://fb.ru/article/379529/ vetroenergetika-v-rossii-sostoyanie-i-perspektivyi-razvitiya (accessed 10.06.2021).
2. The EU Blue Economy Report 2020. (In English). Available at: https://www.msp-platform.eu/practices/eu-blue-economy-report-2020 (accessed 02.06.2021).
3. *Vetrojenergeticheskaja otrasl' mira: itogi 2020 goda* [Wind power industry of the world: results of 2020]. (In Russian). Available at: https://www.eprussia.ru/articles/ vetroenergeticheskaya-otrasl-mira-itogi-2020-goda.htm (accessed 17.05.2021).
4. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future. European Commission, Brussels, 19.11.2020, COM(2020) 741 final, 26 p. (In English).
5. *Al'ternativnaja jenergetika: perspektivy razvitija rynka VIJe v Rossii*. [Alternative energy: prospects for the development of the RES market in Russia]. (In Russian). Available at: https://delprof.ru/press-center/open-analytics/alternativnaya-energetika-perspektivy-razvitiya-rynka-vie-v-rossii/ (accessed 17.07.2021).
6. *Astrahanskaja oblast' rassmatrivaetsja kak pervyj v Rossii region dlja razvitija morskoj vetrojenergetiki* [Astrakhan Region is considered as the first region in Russia for the development of offshore wind energy]. (In Russian). Available at: https://www.eprussia.ru/news/base/2020/6390105.htm (accessed 07.07.2021).
7. Eólica marina europea: cada vez más grande, cada vez más lejos, en aguas cada vez más profundas. (In Spanish). Available at: https://www.energias-renovables.com/eolica/la-eolica-marina-ya-es-mas-barata-20200211 (accessed 15.06.2021).
8. *Plavajushhie vetrogeneratory: priznaki mnogoobeshhajushhego budushhego* [Floating wind turbines: signs of a promising future]. (In Russian). Available at: https://ensat.ru/news/greenenergy/184.html (accessed 12.06.2021).
9. Floating wind turbine concepts: fixed-bottom foundation & floating offshore concepts. (In English). Available at: https://twitter.com/iea/status/577862013331718147 (accessed 01.06.2021).
10. *Vetrjaki na vode – v Shotlandii pojavitsja pervaja plavajushhaja jelektrostancija* [Wind turbines on the water – the first floating power plant will appear in Scotland]. (In Russian). Available at:

https://mplast.by/novosti/2015-11-13-vetryaki-na-vode-v-shotlandii-poyavitsya-pervaya-plavayushhaya-elektrostantsiya/ (accessed 01.06.2021).
11. *Samyj bol'shoj v mire morskoj vetrogenerator* [The world's largest offshore wind turbine]. (In Russian). Available at: https://masterok.livejournal.com/2472384.html (accessed 01.06.2021).
12. En esta base de Canarias se investiga la eólica marina del futuro. (In Spanish). Available at: https://www.eleconomista.es/canarias/amp/10637181/En-esta-base-marina-de-Canarias-se-investiga-la-eolica-marina-del-futuro (accessed 04.06.2021).
13. Radchenko P.M. Morskoj plavuchij vetropark [Offshore floating wind farm]. *Nauka i transport. Morskoj i rechnoj transport.* [Science and transport. Sea and river transport], 2013, no. 1 (5), pp. 82-86. (In Russian).
14. Makani's first offshore energy kite fligt. (In English). Available at: https://www.youtube.com/watch?v= F6NW0QeKLZA (accessed: 10.09.2021).
15. *Gollandcy zastavjat bespilotniki dobyvat' jelektrichestvo* [The Dutch will force drones to generate electricity]. (In Russian). Available at: https://nplus1.ru/news/ 2017/04/25/tethered (accessed: 10.09.2021).
16. Novykh A.V., Sviridenko I.I. Akkumulirovanie energii [Energy storage]. *Bezopasnost', jeffektivnost', resurs: Sb. tez. dokl. 13-j Mezhd. nauchn.-prakt. konf. po atomnoj jenergetike.* [Safety, Efficiency, Resource: Collection of Abstracts of the 13th Int. Scientific and Practical Conf. on Nuclear Energy]. Sevastopol, Organizing Committee ICNPE NE-2017. SevGU Publ., pp. 132-135. (In Russian).
17. Compressed air energy storage for offshore wind turbines. (In English). Available at: https://www.semanticscholar.org/paper/Compressed-Air-Energy-Storage-for-Offshore-Wind-Li-Loth/c9b23bea20236c8c695 e3ec148165c06b7aa6d03/ (accessed 10.08.2021).
18. Saadat M., Shirazi F.A., Li P.Y. Modeling and control of an open accumulator compressed air energy storage (CAES) system for wind turbines. *Applied Energy*, 2015, no. 137, pp. 603-616. (In English). DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.085.
19. *Uchenye rassmatrivajut szhizhennyj vozduh v kachestve ser'eznoj al'ternativny tradicionnym akkumuljatoram* [Scientists are considering liquefied air as a serious alternative to traditional batteries]. (In Russian). Available at: http:// energycraft.org/ekonomiya-elektroenergii/uenye-rassmatrivaut-siennyj-vozduh-v-kaestve-sereznoj-alternativny-tradicionnym-akkumulatoram.html (accessed 07.09.2021).
20. Liquid Air Energy Storage. (In English). Available at: https://warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/grouplist/electricalpower/images/newsnevents/hies2017/presentations/hies2017_highview.pdf (accessed 07.07.2021).
21. *Sozdan innovacionnyj akkumuljator dlja chistoj energii* [Created an innovative battery for clean energy]. (In Russian). Available at: https://zen.yandex.ru/media/id/5b47636c1f242d00a9b94510/sozdan-innovacionnyi-akkumuliator-dlia-chistoi-energii-5c0acbb31d594500ab44cb9a?utm_source=serp (accessed 27.06.2021).
22. Vecchi A., Li Y., Ding Y., Mancarella P., Sciacovelli A. Liquid air energy storage (LAES): A review on technology state-of-the-art, integration pathways and future perspectives. *Advances in Applied Energy*, 2021, vol. 3, pp. 100047. (In English). DOI: 10.1016/j.adapen.2021.100047.
23. *Krupnejshaja v mire kriogennaja jelektrostancija otkryta v Anglii* [The world's largest cryogenic power plant opened in England]. (In Russian). Available at: https://ecotechnica.com.ua/energy/1814-krupnejshaya-v-mire-kriogennaya-elektrostantsiya-otkryta-v-anglii-video.html (accessed 05.06.2021).
24. *Kriojenergetika: kriogennaja jelektrostancija* [Cryoenergy: cryogenic power plant]. (In Russian). Available at: https://www.popmech.ru/technologies/12689-prodavtsy-vozdukha - krioenergetika/ (accessed 22.06.2021).

Сведения об авторах / Information about authors

Капустянский Михаил Сергеевич	докторант факультета промышленной, компьютерной и экологической инженерии Университет Ла-Лагуна Испания, г. Сан-Кристобаль-де-ла-Лагуна, Санта-Крус-де-Тенерифе, 38204, Калле Ираклио Санчес, 43 mkapustyansky@mail.ru
Kapustyansky Mihail Sergeevich	Doctorate in Industrial, Computer and Environmental Engineering University of La Laguna Spain, Calle Heraclio Sanchez, 43, San Cristobal de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, 38204 mkapustyansky@mail.ru
Новых Александр Владимирович	канд. техн. наук, докторант факультета промышленной, компьютерной и экологической инженерии Университет Ла-Лагуна Испания, г. Сан-Кристобаль-де-ла-Лагуна, Санта-Крус-де-Тенерифе, 38204, Калле Ираклио Санчес, 43 alexandr.novykh@gmail.com
Novykh Alexandr Vladimirovich	Ph.D. (Engin.), Doctorate in Industrial, Computer and Environmental Engineering University of La Laguna Spain, Calle Heraclio Sanchez, 43, San Cristobal de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, 38204 alexandr.novykh@gmail.com
Свириденко Игорь Иванович	канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений» Севастопольский государственный университет 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33 i.sviridenko@mail.ru
Sviridenko Igor Ivanovich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ship Power Stations and Constructions Sevastopol State University 299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33 i.sviridenko@mail.ru

УДК 62-192 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_171**

Клименко Н.П., Ивановская А.В., Шаратов А.С., Овчаренко И.К., Гумена Т.И.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ФУНДАМЕНТОВ ПОД СУДОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

Аннотация. Приведен метод оценки надёжности судовых вспомогательных механизмов с помощью системы критериев, которые позволяют получить общую картину функциональной надёжности машин в эксплуатации. Указано влияние этих свойств на степень выполнения функций, возлагаемых на агрегаты. В данной работе приводятся результаты, позволяющие расширить область изменения частоты и амплитуды силы, вызывающей колебания в режиме пуска и остановки судовых технических средств, определять точно аналитические значения относительного динамического коэффициента и устанавливать точное значение предельной нагрузки на металлоконструкцию фундамента под судовые технические средства. Использованы методы фидуциальных вероятностей и доверительных множеств. Полученные в этой работе результаты могут быть использованы как для расчёта обычных фундаментов под судовые технические средства, установленные на виброизоляторах, так и для расчёта фундаментов с виброизоляцией, оборудованных динамическими гасителями колебаний.
Ключевые слова: надежность, судовые технические средства, прогнозирование надежности, распределение вероятностей, металлоконструкции элементов, виброизолированный фундамент.

Klimenko N.P., Ivanovskaia A.V., Sharatov A.S., Ovcharenko I.K., Gumena T.I.

STRENGTH AND RELIABILITY OF METAL STRUCTURES IN THE FOUNDATIONS IS ESTIMATED FOR MARINE TECHNICAL EQUIPMENT

Abstract. A method for assessing the reliability of ship auxiliary mechanisms using a system of criteria that allows you to get a general picture of the functional reliability of machines in operation is presented. The influence of these properties on the degree of performance of the functions assigned to the units is indicated. In this work, results are given that allow us to expand the range of changes in the frequency and amplitude of the force that causes oscillations in the mode of starting and stopping ship technical equipment, to determine precisely the analytical values of the relative dynamic coefficient and to establish the exact value of the ultimate load on the metal structure of the foundation for ship technical equipment. The methods of fiducial probabilities and confidence sets were used. The results obtained in this work can be used both for calculating conventional foundations for ship technical equipment installed on vibration isolators, and for calculating foundations with vibration isolation, equipped with dynamic vibration dampers.
Keywords: reliability, ship technical means, reliability prediction, probability distribution, metal structures of elements, vibration-insulated foundation.

Введение. Для выполнения оценки надёжности судовых технических средств (СТС) часто пользуются системой критериев, которые позволяют получить общую картину функциональной надёжности машин в эксплуатации, но и влияние этих свойств на степень выполнения функций, возлагаемых на машину. Применяемая номенклатура показателей надёжности, имеет ряд недостатков, поэтому основное внимание следует уделять нормам надёжности,

включаемых в нормативно-техническую документацию.

Для судовых вспомогательных механизмов, при оценке последствий отказа (простои из-за отказов), рекомендуют использовать показатели: гамма-процентный ресурс; средний ресурс; срок службы; коэффициент готовности; наработка на отказ; коэффициент технического использования и готовности. Для СТС нормы надёжности следует рассчитывать до капитального ремонта или до списания. Для выполнения точного прогнозирования надёжности СТС необходима информация об изменениях работоспособности объектов. Информация о надёжности этих объектов необходима на всех этапах их создания, при проектировании, изготовлении, испытаниях и эксплуатации. На стадии проектирования СТС такую информацию можно получить расчётным путём. Качество и достоверность расчётов позволяют определить заложенный уровень надёжности рассматриваемого объекта.

Прогнозировать надёжность новых проектируемых СТС можно только аналитическим расчётным методом. Данные методы позволяют определить показатели надёжности и параметры, которые определяют прочность конструкции, а также особенности эксплуатации СТС. Для прогнозирования показателей надёжности необходимо знать аналитические закономерности, полученные эмпирическим путём в соответствии с параметрами протекания процесса технологии работы машины, её сборочных единиц и деталей.

Однако при изготовлении СТС надёжность их зачастую не соответствует запроектированной. При поступлении готовой машины в эксплуатацию нередко надёжность резко снижается за счёт несовершенства эксплуатации, содержания ремонтов, замены материалов при изготовлении и других факторов.

Для установки вспомогательных механизмов (дизель-генераторы, дизель-компрессоры и другие механизмы, установленные на общей фундаментной раме), применяют резино-металлические амортизаторы типа КАС — корабельный амортизатор сварной, АКСС — амортизатор корабельный сварной со страховкой и АПС — амортизатор пластинчатый сварной. Наибольшее

распространение получили амортизаторы типа АКСС, имеющие около десяти типоразмеров [1].

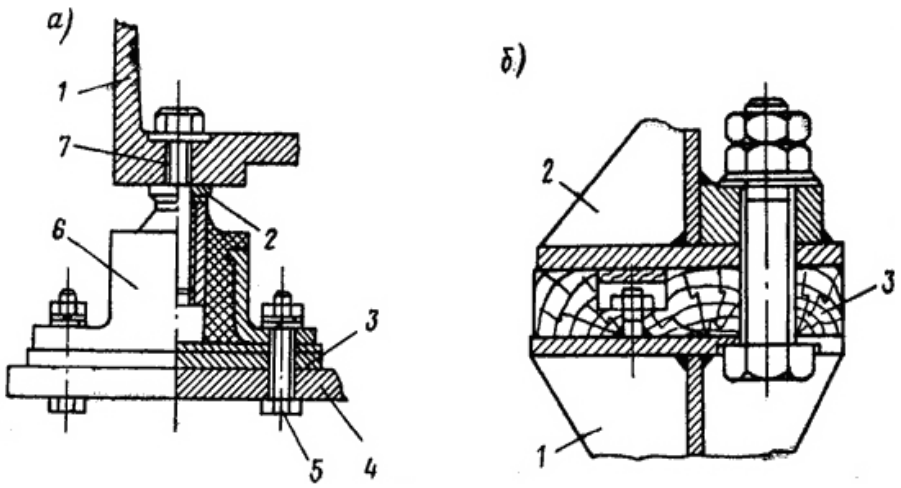


Рисунок 1 – Виды крепления вспомогательных механизмов и электродвигателей на судовом фундаменте:
а – на амортизаторах типа АКСС; б – на деревянных прокладках.
1 - фундаментная рама; 2 – выравнивающая шайба; 3 – пригоночная прокладка; 4 – фундамент; 5 – болт; 6 – амортизатор; 7 – центрирующий болт.

Вспомогательные нецентруемые механизмы и судовое оборудование без механического движения устанавливают на деревянных прокладках, изготовленных из твердых пород дерева (дуб, ясень, бук), предварительно проваренных в олифе [1].

Целью исследования является решение вопроса о потере работоспособности СТС в эксплуатации с помощью статистических данных, которые дают достаточно достоверные сведения о надёжности СТС в условиях реальной эксплуатации.

Эта информация может быть использована в ограниченном объёме для прогнозирования надёжности новых моделей СТС, так как к моменту накопления необходимой информации в конструкции модели могут произойти изменения прочностных параметров.

Материалы и методы исследования. Следует отметить, что нередко

опытный образец машины, в том числе даже подготовленный для серийного производства, имеет недостаточную надёжность. Статистическая информация о надёжности СТС, элементов металлоконструкций фундаментов позволяет определить показатели надёжности с учётом режима работы и условий эксплуатации за определённый период времени. Наиболее часто используемыми в теории надёжности машин функциями распределения плотности вероятностей являются: нормальное распределение; Вейбулла-Гниденко; экспоненциальное и логарифмически нормальное.

Функциональная зависимость двухпараметрического закона распределения Вейбулла-Гниденко с параметрами a и b представляется в виде выражения:

$$f(t) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^{b}\right]. \quad (1)$$

При значении параметра b = 2 получается распределение Релея, а при b=1 – экспоненциальное. Распределение Вейбулла наиболее широко проявляется при анализе прочности и долговечности машин и механических систем. Это распределение характеризует срок службы узлов металлоконструкций, редукторов, шариковых подшипников, пределы упругости стали, усталостной прочности стали, максимальные (предельные) нагрузки, которые испытывают в процессе эксплуатации (в переходных/резонансных режимах пуска или остановки машинного агрегата) виброизолированные фундаменты под СТС, а также многие другие показатели надёжности СТС.

Достоверность того, что эмпирическая кривая согласуется с теоретической принятого закона распределения, подтверждается известными критериями согласия Пирсона и Колмогорова.

Для аппроксимирования полученного статистического распределения к тому или другому закону теоретического распределения пользуются

вероятностными бумагами, с помощью которых можно достоверно и быстро определить закон распределения.

Следует отметить, что выбор номенклатуры показателей надёжности СТС зависит от наличия информационной обеспеченности. Номенклатура показателей надёжности СТС должна быть достаточной, чтобы наиболее полно охарактеризовать технические, технологические, эксплуатационные и экономические свойства и их особенностей. Номенклатура показателей должна быть достаточной для решения вопросов совершенствования конструкции, технологии изготовления, эксплуатации и экономического обоснования эффективности планирования повышения надёжности СТС. Показатели должны давать количественную и качественную оценку, обеспечивать определение оптимального варианта.

Однако расчёты, проведенные по этому методу, позволяют судить о показателях только в пределах определённого промежутка времени работы изделия и, как правило, дают ошибочные данные за пределами рассмотренного периода.

Вопрос о прохождении через резонанс обсуждался в многочисленных работах [2-4]. При этом основное внимание уделялось рассмотрению систем с одной степенью свободы, которое даёт также возможность сравнительно простого изучения систем с конечным числом степеней свободы. Особенно велико значение этого вопроса при динамическом расчёте металлоконструкций СТС и виброизолированных фундаментов под палубными механизмами.

Среди различных способов подавления пускоостановочного резонанса, как известно, наряду с усовершенствованием обычных демпферов используется применение динамических гасителей колебаний; расчёт гасителей требует достаточно полного изучения нестационарных колебаний (их резонансных характеристик и т.н. относительного динамического коэффициента [2]) как самой металлоконструкции, так и фундамента под СТС с учётом действительного характера изменения нагрузки. Несмотря на наличие ряда

важных результатов, полученных в области расчёта на прохождение через резонанс, отражённых в многочисленных публикациях, многие вопросы этой теории требуют дальнейшего изучения.

Как известно, в литературе очень широко представлены методы расчёта, основанные на использовании точных решений, выраженных в различных специальных функциях. При этом получение численных результатов во многих случаях существенно облегчается наличием соответствующих таблиц.

В монографиях [1-3] приводится ряд результатов, основанных на использовании интегралов вероятности и функций Ломмеля двух переменных; эти функции используются также и в [4], и в многочисленных статьях, посвящённых этому вопросу. В данной работе приводятся результаты, позволяющие расширить область изменения частоты и амплитуды силы, вызывающей колебания в режиме пуска и остановки СТС, определять точно аналитические значения относительного динамического коэффициента (и тем самым устанавливать точное значение предельной нагрузки на металлоконструкцию/виброизолированный фундамент под СТС), а в отдельных случаях получить простые решения в сравнительно хорошо изученных функциях.

Результаты исследования и их обсуждение. Практически все рассмотренные результаты получены в функциях, родственных Бесселевым функциям. Среди этих функций функции Ломмеля двух переменных, у которых вторая переменная равняется нулю, используются весьма часто. Уместно заметить и то, что имеющиеся в литературе формулы:

$$\begin{cases} U_\nu(w,0) = \dfrac{(w/2)^{1/2}}{\Gamma(\nu-1)} \cdot S_{\nu-\frac{1}{2},\frac{1}{2}}(w/2), \\ V_\nu(w,0) = \dfrac{(w/2)^{1/2}}{\Gamma(\nu-1)} \cdot S_{\nu-\frac{1}{2}}(w/2), \end{cases} \tag{2}$$

в левой части которых представлены функции Ломмеля двух переменных, а в правой – функции Ломмеля одной переменной, позволяют сделать запись несколько более удобной.

Рассмотрим дифференциальное уравнение:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + c^* x = P(t)\sin[\varphi(t)], \tag{3}$$

где x – динамическое перемещение;

c^* – комплексный квазиупругий коэффициент, позволяющий учитывать демпфирование;

$P(t), \varphi(t)$ – функции, описывающие нагрузку.

Очевидно, что предельное (максимальное) значение усилия, развиваемого в металлоконструкции/фундаменте под СВМ в момент прохождения резонанса, описывается членом $\sim c^* x$. Возможно и рассмотрение уравнения:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + n\frac{dx}{dt} + c_1 x = P(t)\cdot\sin[\varphi(t)], \tag{4}$$

где n – коэффициент вязкого трения в демпфере;

c_1 – квазиупругий коэффициент.

Будем считать, что металлоконструкция и фундамент под СТС представимы в рамках модели со сосредоточенными параметрами.

Если воспользоваться методом Ван-дер-Поля [5], то решение написанных выше уравнений можно представить в виде:

$$x(t) = a(t)\cdot\sin(\omega_0 t + \delta) + b(t)\cdot\cos(\omega_0 t + \delta), \tag{5}$$

где $\omega_0 = \sqrt{c_1 / m}$, $\delta -$ начальная фаза нестационарных колебаний. При этом амплитуда колебаний $A(t)$ СТС (или её элемента) определяется зависимостями:

$$A(t) = \sqrt{a(t)^2 + b(t)^2}, \quad a(t) = \frac{1}{2\omega_0} \int_{-t_0}^{t} P(\tau)\sin[\varphi(\tau)]d\tau, \quad b(t) = -\frac{1}{2\omega_0} \int_{-t_0}^{t} P(\tau)\cos[\varphi(\tau)]d\tau, \tag{6}$$

где t_0 определяется из уравнения $\left.\frac{d\varphi}{dt}\right|_{t=t_0} = \omega_0$; $t_0 -$значение t в момент прохождения СТС (её элемента) через резонанс. Очевидно, что величина $|c_1 \cdot A(t)|$ при $t = t_0$ определяет предельное значение нагрузки на конструкцию СТС в момент прохождения резонанса.

Наряду с неполными цилиндрическими функциями [9] при учёте явлений, связанных с прохождением через резонанс, возможно использование рассмотренного в работе [8] обобщённого интеграла вероятности:

$$\Phi(\alpha, z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^z e^{-t^2} \cdot t^{\alpha-1} dt, \tag{7}$$

который даёт решение задачи при постоянном угловом ускорении и амплитуде силы, изменяющейся по степенному закону.

Учёт затухания с помощью введения комплексного квазиупругого коэффициента не представляет труда. Примененный вместо демпфера динамический гаситель колебаний обычно представляет систему с невысоким уровнем демпфирования. В этом случае аргумент специальной функции, равный $x + iy$, где y / x мало по сравнению с единицей, и вычисление значений этих функций можно сравнительно просто выполнить, используя способ, описанный в [9, 10].

В работе [10] для вычисления Бесселевых функций при $y/x \ll 1$ используется их разложение в ряд Тейлора в окрестности точек, лежащих на действительной оси, и подробно описываются выкладки, позволяющие получить необходимые расчётные формулы. Для проведения этих выкладок нужно для каждой из специальных функций, упоминаемых в статье, воспользоваться её разложением в степенной ряд.

В ряде работ [13-16] показано, что наиболее точной аппроксимацией функции распределения вероятностей характеристик прочности металлоконструкций, конструкционных материалов, используемых в СТС, и предельной нагрузки конкретных изделий является трёхпараметрический закон Вейбулла. Выше определены амплитуды *A(t)* колебаний в процессе прохождения механических систем через резонанс. Именно они и определяют предельные нагрузки на конструкции в переходных режимах их функционирования (т.е. при пуске/торможении).

Рассмотрим два метода вычисления нижних доверительных границ показателя надёжности изделий однократного применения:

$$G(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left\{ -\left(\dfrac{x-c}{a} \right)^b \right\} & при \;\; x > c, \\ 0 \;\; при \;\; x \le c, \end{cases} \tag{8}$$

где *a, b, c* – параметры масштаба, формы и сдвига соответственно.

Полагаем, что распределение квазистатической действующей нагрузки, коэффициент вариации v и параметр формы b распределения предельной нагрузки известны априори (например, из опыта отработки изделий-аналогов), выборка значений предельной нагрузки малого объёма и нецензурированная.

В работе [17] отмечается, что наиболее универсальным методом построения доверительных границ при наличии одного неизвестного параметра является метод фидуциальных вероятностей Фишера. В случае одного

неизвестного параметра $\gamma-$ фидуциальные границы являются и $\gamma-$ доверительными.

Плотность распределения фидуциальных вероятностей неизвестного параметра *x*, оцениваемого по единичным испытаниям, получим в виде:

$$\varphi(x) = \frac{L(x/Q_1, Q_2, ..., Q_n)}{\int\limits_{x_н}^{x_в} L(x/Q_1, Q_2, ..., Q_n)dx}, \tag{9}$$

где $L(\cdot)-$ функция правдоподобия;

$Q_i \ (i = 1, ..., n)-$ значения предельной нагрузки:

$x_н, x_в$ – соответственно, возможные нижняя и верхняя границы изменения параметра *x*.

В качестве верхней границы изменения параметра сдвига можно принять минимальное значение предельной нагрузки Q, полученное при испытаниях:

$$c_в = \min(Q_i) = \min(c \cdot A(t)).,\tag{10}$$

где c – жесткость;

$A(t)-$ амплитуда смещения в механической системе во время переходного процесса.

Для трехпараметрического закона Вейбулла параметр сдвига всегда положителен. Теоретически его величина может быть сколь угодно малой. При построении плотности фидуциальных вероятностей этого параметра нижнюю границу параметра $c_н$ принимаем:

$$c_н = 0{,}0001c_в \tag{11}$$

Тогда:

$$L(c/Q_1, Q_2, ..., Q_n) = \prod_{i=1}^{n} g(c/Q_i), \tag{12}$$

где

$$g(Q) = \frac{b}{a}\left(\frac{Q-c}{a}\right)^{b-1} \cdot \exp\left\{-\left(\frac{Q-c}{a}\right)^{b}\right\} \tag{13}$$

- плотность вероятности закона Вейбулла.

Подставляя (12) и (13) с учетом (10) и (11) в (9), получим плотность распределения вероятностей неизвестного параметра сдвига $\varphi(c)$. Практически при построении $\varphi(c)$ вычисляется ряд её дискретных значений $\varphi(c_i)$, соответствующих изменению параметра сдвига в интервале $(c_н, c_в)$, после чего для этих же значений вычисляется функция распределения параметра сдвига $\psi(c_i)$. Для произвольных значений вероятности параметр сдвига можно определить путём обратной интерполяции полученных значений $\psi(c_i)$.

Через параметры b, c, ν функция распределения закона Вейбулла записывается в виде:

$$G(Q) = \begin{cases} 1 - \exp\left\{-\left(\dfrac{Q-c}{cf(\nu,b)}\right)^{b}\right\} & при\ Q > c, \\ 0 \ \ при\ Q \le c, \end{cases} \tag{14}$$

где $f(\nu,b) = \left[\frac{1}{\nu} \cdot \sqrt{\Gamma(1+2/b) - \Gamma^2(1+1/b)} - \Gamma(1+1/b)\right]^{-1}$, $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция.

Тогда при постоянной нагрузке F показатель надёжности R определяется из выражения:

$$R = \begin{cases} \exp\left\{-\left(\dfrac{F-c}{cf(\nu,b)}\right)^{b}\right\} & при\ F > c, \\ 1 \ \ при\ F \le c \end{cases} \tag{15}$$

и является функцией неизвестного параметра сдвига c, функция распределения которого известна.

Методом статистического моделирования можно получить функцию

распределения показателя надёжности $\psi(R)$:

$$1-\gamma = \int_0^{\underline{R}_\gamma} \psi(R)dR. \tag{16}$$

Точность оценок $\underline{R}_\gamma$ в широком диапазоне изменения входящих в расчёт исходных данных исследована и подтверждена методом статистического моделирования.

Если в качестве неизвестного параметра закона Вейбулла, аппроксимирующего распределение предельной нагрузки, принять математическое ожидание, то её доверительную границу β можно представить в виде $Q_\beta = f_1(\hat{Q}, n, \nu, b, \beta)$, где $\hat{Q}$ – выборочная оценка математического ожидания, n – объём выборки.

Для заданных значений n, ν, b произвольную доверительную границу Q_β можно получить с использованием метода статистического моделирования путём построения функции распределения $\psi(K_Q)$ величины коэффициента $K_Q = \hat{Q}/Q_{0,}$ где:

$$Q_0 = c \cdot \left\{ 1 - \frac{\nu \cdot \Gamma(1+1/b)}{\sqrt{\Gamma(1+2/b) - \Gamma^2(1+1/b)}} \right\}^{-1}, \tag{17}$$

- точное значение математического ожидания распределения предельной нагрузки. Последующее вычисление доверительных границ для K_Q проводится по формулам: для нижних доверительных границ $1-\beta = \int_0^{\underline{K}_{Q\beta}} \psi(K_Q)dK_Q$ и для верхних доверительных границ $\beta = \int_0^{\overline{K}_{Q\beta}} \psi(K_Q)dK_Q$.

Однако для построения функции $\psi(K_Q)$ времени ЭВМ требуется не меньше, чем для построения *ψ(c)* при фидуциальном подходе, поэтому предложена упрощённая процедура вычисления доверительных границ Q_β.

Методом статистического моделирования можно исследовать свойства доверительных множителей:

$$K_{Q_\beta} = f_2(n, \nu, b, \beta), \;\; Q_\beta = K_{Q_\beta} \cdot \hat{Q}. \tag{18}$$

Можно показать, что для выборок малого объёма при изменении параметра формы b в широком диапазоне при прочих равных условиях множители K_{Q_β} изменяются весьма незначительно (в пределах нескольких процентов). Экстремальным значениям множителей K_{Q_β} соответствуют крайние значения параметра формы, что позволяет упростить процедуру вычисления множителей K_{Q_β}, исключив параметр b в явном виде из (18).

В качестве нижней границы теоретически возможных значений параметра формы плотности вероятности распределения предельной нагрузки можно принять $b_{\min} = 1$ (при $b = 1$ распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное). Максимально возможное значение $b_{\max}$ реализуется в случае равенства нулю параметра сдвига (двухпараметрический закон Вейбулла) и является функцией коэффициента вариации:

$$\nu = \sqrt{\left[\Gamma(1 + 2/b_{\max}) / \Gamma^2(1 + 1/b_{\max})\right] - 1}. \tag{19}$$

При фиксированных значениях *n, ν, β* методом статистического моделирования можно получить коэффициенты $K_{Q_\beta}{}' = f_2(n, \nu, b_{\min} = 1, \beta)$, и $K_{Q_\beta}{}'' = f_2(n, \nu, b_{\max} = f(\nu), \beta)$. Тогда $\underline{K}_{Q_\beta} = \min(\underline{K}_{Q_\beta}{}', \underline{K}_{Q_\beta}{}'')$ и $\overline{K}_{Q_\beta} = \max(\overline{K}_{Q_\beta}{}', \overline{K}_{Q_\beta}{}'')$.

По выборочному значению математического ожидания распределения предельной нагрузки $\hat{Q}$ с использованием соответствующего доверительного множителя $\underline{K}_{Q_\beta}$ вычисляется нижняя доверительная граница β – $\underline{Q}_\beta$. При известных b и v:

$$\underline{a}_\beta = \frac{\underline{Q}_\beta \cdot v}{\sqrt{\Gamma(1+2/b) - \Gamma^2(1+1/b)}}, \quad \underline{c}_\beta = \underline{Q}_\beta - \underline{a}_\beta \cdot \Gamma(1+1/b). \tag{20}$$

При постоянной действующей нагрузке F нижние доверительные границы показателя надёжности $\underline{R}_\gamma$ определяются из выражения:

$$\underline{R}_\gamma = \begin{cases} \exp\left\{-\left(\dfrac{F-\underline{c}_\beta}{\underline{a}_\beta}\right)^b\right\} \ при \ F > \underline{c}_\beta, \\ 1 \ при \ F \le \underline{c}_\beta. \end{cases} \tag{21}$$

При известном распределении действующей случайной нагрузки F функция $\psi(R)$ вычисляется методом статистического моделирования, а значения $\underline{R}_\gamma$ определяются из зависимости (21).

Выводы. Методом статистического моделирования для уровня доверительной вероятности 0,5; 0,9 и 0,95 при широком варьировании исходных параметров подтверждено, что нижние доверительные границы β множителя K_Q позволяют получать нижние доверительные границы γ- показателя надёжности.

Результаты работы могут быть использованы как для расчёта обычных фундаментов под СТС, установленных на виброизоляторах, так и для расчёта фундаментов с виброизоляцией, оборудованных динамическими гасителями колебаний. Особенно важны уточнения в расчётах на прохождение через резонанс при решении вопроса об использовании новых, ещё не нашедших широкого распространения на практике технических решений, отражённых в [10-12].

Список использованной литературы:

1. Монтаж вспомогательных механизмов и некоторых видов судового оборудования. URL: http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/mmu/montazh-vspomogatelnyh-mehanizmov.shtml (дата обращения: 12.12.2021).
2. *Алдошин Г.Т.* Теория линейных и нелинейных колебаний: учебное пособие. СПб.: Лань, 2013, 311 с.
3. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т. 5: Проектный анализ надежности / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1988, 316с.
4. *Коренев Б.Г.* Некоторые задачи теории упругости и теплопроводности, решаемые в бесселевых функциях. М.: Физматгиз, 1960, 459 с.
5. *Ивановская А.В., Богатырева Е.В.* Исследование динамических процессов при работе неводовыборочного комплекса // Инновационные технологии в науке и образовании ИТНО-2015: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию ДГТУ. Ростов-на-Дону – Дивноморское, 7-10 сентября 2015. С. 198-203.
6. *Анилович В.Я., Гринченко А.С., Клименко Н.П.* Способ оценки надёжности системы по выборочным данным о надёжности элементов // Новые решения в современных технологиях: сб. науч. тр. / Вестник ХГПУ. Харьков,1999. Вып. 66. С.102-106.
7. *Башуров Б.П., Скиба А.Н., Чебанов В.С.* Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов: учебное пособие. Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2009. 192 с.
8. *Коренев Б.Г.* Введение в теорию бесселевых функций. М.: Наука, 1971. 288 с.
9. *Половко А. М., Гуров С.В.* Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
10. *Коренев Б.Г., Резников Л.М.* Динамические гасители колебаний. М.: Наука, 1988. 304 с.
11. *Коренев Б.Г., Смирнов А.Ф.* Справочник проектировщика. Динамический расчёт специальных инженерных сооружений и конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 466 с.
12. *Коренев Б.Г.* О динамическом расчёте фундаментов под машины на прохождение через резонанс // Известия вузов. Строительство. 1997. № 12. С. 35-39.
13. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.
14. *Беленький Д.М., Кубарев А.Е., Элькин А.И. и др.* Контроль и сертификация механических свойств металлопроката // Заводская лаборатория. 1992. № 2. С. 47-49.
15. *Головченко В.П.* Возможности использования распределения Вейбулла в качестве универсальной модели аппроксимации // Труды ГосНИИГА. 1988. № 279. С. 91-98.
16. *Те А.М.* Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства: учебное пособие. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. 208 с.

References:

1. *Montazh vspomogatelnykh mekhanizmov i nekotorykh vidov sudovogo oborudovaniia*. [Installation of auxiliary mechanisms and some types of ship equipment] (In Russian). Available at: http://www.stroitelstvo-new.ru/sudostroenie/mmu/montazh-vspomogatelnyh-mehanizmov.shtml (accessed 12.12.2021).
2. Aldoshin G.T. *Teoriya linejnyh i nelinejnyh kolebanij* [Theory of linear and nonlinear oscillations]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2013, 311 p. (In Russian).
3. Patrushev V.I., Rembeza A.I. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik. T.5: Proektnyj analiz nadezhnosti* [Reliability and efficiency in engineering: Handbook. Vol. 5: Design analysis of reliability]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 316 p. (In Russian).
4. Korenev B.G. *Nekotorye zadachi teorii uprugosti i teploprovodnosti, reshaemye v besselevyh funkciyah* [Some problems of the theory of elasticity and thermal conductivity solved in Bessel functions]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1960, 459 p. (In Russian).

5. Ivanovskaya A.V., Bogatyreva E.V. Issledovanie dinamicheskih processov pri rabote nevodovyborochnogo kompleksa [The study of dynamic processes during the operation of the seine sampling complex]. *Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvyashchennoj 85-letiyu DGTU «Innovacionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii ITNO-2015»* [Collection of scientific papers of the international scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of DSTU "Innovative technologies in science and education ITNO-2015"]. Rostov-on-Don, Divnomorskoe, 2015, pp. 198-203. (In Russian).
6. Anilovich V.Ya., Grinchenko A.S., Klimenko N.P. Sposob ocenki nadyozhnosti sistemy po vyborochnym dannym o nadyozhnosti elementov [A method for assessing the reliability of the system based on sample data on the reliability of elements]. *Sbornik nauchnyh trudov «Novye resheniya v sovremennyh tekhnologiyah». Vestnik HGPU* [Collection of scientific papers "New solutions in modern technologies". Bulletin of KHSPU]. Harkov, 1999, iss. 66, pp. 102-106. (In Russian).
7. Bashurov B.P., Skiba A.N., Chebanov V.S. *Funkcional'naya nadezhnost' i kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya sudovyh vspomogatel'nyh mekhanizmov* [Functional reliability and control of the technical condition of ship's auxiliary mechanisms]. Novorossiysk, MGA named after Admiral F.F. Ushakov Publ., 2009, 192 p. (In Russian).
8. Korenev B.G. *Vvedenie v teoriyu besselevyh funkcij* [Introduction to the theory of Bessel functions]. Moscow, Nauka Publ., 1971, 288 p. (In Russian).
9. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2006, 704 p. (In Russian).
10. Korenev B.G., Reznikov L.M. *Dinamicheskie gasiteli kolebanij* [Dynamic vibration damper]. Moscow, Nauka Publ., 1988, 304 p. (In Russian).
11. Korenev B.G., Smirnov A.F. *Spravochnik proektirovshchika. Dinamicheskij raschyot special'nyh inzhenernyh sooruzhenij i konstrukcij* [Designer's Handbook. Dynamic calculation of special engineering structures and structures]. Moscow, Strojizdat Publ., 1988, 466 p. (In Russian).
12. Korenev B.G. *O dinamicheskom raschyote fundamentov pod mashiny na prohozhdenie cherez rezonans* [On the dynamic calculation of foundations for machines to pass through resonance]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of institutes of higher education. Building industry], 1997, no. 12, pp. 35-39. (In Russian).
13. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya veroyatnostej i ee inzhenernye prilozheniya* [Probability theory and its engineering applications]. Moscow, Nauka Publ., 1988, 480 p. (In Russian).
14. Belen'kij D.M., Kubarev A.E., El'kin A.I. *Kontrol' i sertifikaciya mekhanicheskih svojstv metalloprokata* [Control and certification of mechanical properties of rolled metal]. *Zavodskaya laboratoriya* [Factory laboratory], 1992, no. 2, pp. 47-49. (In Russian).
15. Golovchenko V.P. *Vozmozhnosti ispol'zovaniya raspredeleniya Vejbulla v kachestve universal'noj modeli approksimacii* [Possibilities of using the Weibull distribution as a universal approximation model]. *Trudy GosNIIGA* [Proceedings of GOSNIIG], 1988, no. 279, pp. 91-98. (In Russian).
16. Tyoh A.M. *Sudovye vspomogatel'nye mekhanizmy, sistemy i ustrojstva* [Ship auxiliary mechanisms, systems and devices]. Vladivostok, MGU Publ., 2013, 208 p. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Клименко Николай Петрович	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 knp-878@mail.ru
Klimenko Nikolai Petrovich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82

	knp-878@mail.ru
Ивановская Александра Витальевна	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 invkerch@yandex.ru
Ivanovskaya Aleksandra Vital'evna	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 invkerch@yandex.ru
Шаратов Алексей Сергеевич	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 relicts@yandex.ru
Sharatov Aleksei Sergeevich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 relicts@yandex.ru
Овчаренко Игорь Константинович	Старший преподаватель кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 i.ovcharenko@rambler.ru
Ovcharenko Igor Konstantinovich	Senior Lecturer at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 i.ovcharenko@rambler.ru
Гумена Татьяна Игоревна	ассистент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 tanya.gumena@mail.ru
Gumena Tatiana Igorevna	assistant at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 tanya.gumena@mail.ru

УДК 621.43.018.7:536.8 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_188**

Конюков В.Л.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ, ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДИАПАЗОН НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ВОЗДУХА ПРИ РАЗЛИЧНОМ ПРОТИВОДАВЛЕНИИ НА ВЫПУСКЕ

Аннотация. Одним из перспективных направлений снижения вредных выбросов в окружающую среду с отработавшими газами судовых дизелей в соответствии с нормами IMO TIER является использование каталитических фильтров – нейтрализаторов. При постройке и модернизации судовых дизельных установок такие фильтры – нейтрализаторы дополняют традиционные газовыпускные системы, увеличивая их газодинамическое сопротивление. Повышение сопротивления газовыпускной системы вызывает изменение эксплуатационных параметров дизелей, что отражается на диапазоне изменения расхода воздуха при непосредственном управлении с помощью регулируемого соплового аппарата. В работе выполнено теоретическое исследование судового четырехтактного дизеля, работающего по нагрузочной характеристике с различными газодинамическими сопротивлениями на выпуске для широкого диапазона изменения относительной мощности и непосредственным управлением расходом воздуха регулируемым сопловым аппаратом. В качестве параметров, ограничивающих диапазон непосредственного управления расходом воздуха, приняты: максимальное давление цикла, минимальная степень понижения давления при продувке цилиндров, минимальный эффективный угол выхода из регулируемого соплового аппарата. Получены зависимости ограничивающих факторов от нагрузки дизеля при различном противодавлении на выпуске. Для режима малой нагрузки рассмотрены зависимости ограничивающих параметров при подключении воздухоохладителя.
Ключевые слова: дизель, турбонаддувочный агрегат, система выхлопа, перепад давлений на продувку цилиндров, противодавление на выпуске, регулируемый сопловой аппарат.

Konyukov V.L.

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF A FOUR-STROKE DIESEL ENGINE THAT LIMIT THE RANGE OF DIRECT CONTROL OF AIR FLOW WITH DIFFERENT BACK PRESSURE AT THE OUTLET

Abstract. One of the promising ways to reduce harmful emissions into the environment from the exhaust gases of marine diesel engines in accordance with IMO TIER standards is the use of catalytic converter filters. During the construction and modernization of marine diesel installations, such neutralizer filters complement traditional gas outlet systems, increasing their gas dynamic resistance. An increase in the resistance of the gas outlet system causes a change in the operational parameters of diesel engines, which is reflected in the range of changes in air flow when directly controlled by an adjustable nozzle device. The paper presents a theoretical study of a marine four-stroke diesel engine operating according to the load characteristic with various gas dynamic resistances at the outlet for a wide range of relative power changes. As parameters limiting the range of direct control of the air flow, the following are accepted: the maximum cycle pressure, the minimum degree of pressure reduction when purging the cylinders, the minimum effective angle of exit from the adjustable nozzle apparatus. Dependences of limiting factors on the load of the diesel engine with different back pressure at the outlet are obtained. For the low-load mode, the dependences of the limiting parameters when connecting the air cooler are considered.
Keywords: diesel, turbocharging unit, exhaust system, pressure drop on cylinder purge, exhaust back pressure, adjustable nozzle unit.

Введение

Одной из наиболее важных проблем современного человечества, которые необходимо решать, является охрана окружающей среды. Большой вред окружающей среде наносят отработавшие газы дизелей, в которых содержатся сажа и компоненты неполного сгорания топлива. В общем балансе выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизельных двигателей на долю морского и речного транспорта приходится 4,1 %. В составе этих выбросов содержатся оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x) и твердые частицы [1].

Введенные в 2020 году новые нормы IMO TIER предусматривают существенное снижение вредных выбросов в регулируемых зонах (ECA) [2]. Выполнение новых норм достигается путем дальнейшего совершенствования рабочего процесса двигателя, применения альтернативных топлив, присадок к топливу, использования систем селективного каталитического восстановления.

Одним из перспективных направлений является использование каталитических фильтров-нейтрализаторов, получаемых на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Материалы таких фильтров обладают высокой пористостью, проницаемостью, большой удельной поверхностью и повышенной механической прочностью [3]. Установка фильтров-нейтрализаторов в систему газовыпуска повышает ее газодинамическое сопротивление, что увеличивает противодавление на выпуске. В зависимости от толщины стенки фильтрующего элемента, его материала, количества ступеней очистки газодинамическое сопротивление фильтра-нейтрализатора может достигать 6 кПа [3]. Следует учесть, что такие каталитические фильтры-нейтрализаторы дополняют традиционную газовыпускную систему дизеля, в которую монтируются последовательно, повышая ее суммарное газодинамическое сопротивление, которое может превышать 10кПа. Таким образом, строящиеся новые и модернизируемые дизельные установки, удовлетворяющие последним нормам IMO, будут иметь повышенные газодинамические сопротивления газовыпускных систем.

Исследования дизелей показали, что при повышении противодавления на выпуске ухудшаются их эксплуатационные показатели, в связи, с чем не рекомендуется превышать противодавление на выпуске более 10 кПа [4].

Одним из эффективных способов повышения экономичности дизелей на режимах долевых нагрузок является использование регулируемого соплового аппарата (РСА) в турбине турбокомпрессора, который позволяет непосредственно воздействовать на расход воздуха [5].

При повороте лопаток РСА в сторону уменьшения угла их установки снижается эффективная площадь проходного сечения турбины, что приводит к увеличению давления газа перед турбиной и, соответственно, ее мощности, это способствует повышению давления наддува. С повышением давления наддува в цилиндры дизеля поступает воздух с большей располагаемой энергией, а это повышает экономичность дизеля.

В процессе исследования дизелей были выявлены эксплуатационные параметры, ограничивающие на режимах долевых нагрузок повышение давления наддува при воздействии на расход воздуха с помощью РСА. К таким параметрам относятся [6]:

- максимальное давление сгорания топлива p_z, превышение значения которого, установленного для режима полной нагрузки дизеля, не допускается;

- перепад давлений на продувку цилиндров дизеля, который зависит от частоты вращения коленчатого вала, с повышением которой время продувки цилиндров сокращается, для среднеоборотного четырехтактного дизеля степень понижения давления при продувке цилиндров желательно поддерживать большей 1,05;

- угол поворота лопаток РСА должен обеспечивать эффективный угол выхода из соплового аппарата больший 8 град., что позволяет сохранить высокий КПД турбины;

- коэффициент запаса устойчивости по помпажу на режимах долевых нагрузок должен быть больше 1,08.

Увеличение противодавления на выпуске вызывает изменение эксплуатационных параметров дизеля, а, следовательно, и параметров, ограничивающих управление повышением давления наддува на режимах долевых нагрузок [7], [8].

Целью работы является определение влияния противодавления выпускной системы на эксплуатационные параметры, ограничивающие диапазон непосредственного управления расходом воздуха с целью повышения экономичности дизеля на режимах долевых нагрузок.

Методы и материалы исследования

Объектом исследования в предлагаемой работе является судовой четырехтактный дизель с газотурбинным наддувом 8L58/64, который используется в качестве главного двигателя на морских судах, как с электрической передачей, так и с механической передачей. Таким образом, данный двигатель применяется для работы по нагрузочной характеристике и по винтовой характеристике. В предлагаемой работе исследовались эксплуатационные показатели двигателя применительно к нагрузочной характеристике без учета изменения коэффициента запаса устойчивости по помпажу, то есть рассматривались конструктивные особенности дизеля. Основные показатели дизеля на номинальном режиме: эффективная мощность – 11230 кВт; число цилиндров – 8; частота вращения коленчатого вала – 428 об/мин; диаметр поршня – 0,58 м; ход поршня – 0,64 м; давление наддува – 0,377 МПа.

Исследования проводились теоретически по методике, разработанной кафедрой судовых энергетических установок КГМТУ, включающей проверенные алгоритмы. Для проверки точности разработанной методики использовались результаты заводских испытаний дизеля 8L58/64 в диапазоне мощностей от 100 % до 25 %. Характеристики, полученные в результате теоретического исследования, показали полное соответствие

экспериментальным результатам, полученным при заводских испытаниях дизеля.

Разработанная методика позволяет методом последовательных приближений получить зависимости эксплуатационных показателей дизеля в исходном варианте и в варианте с поворотными лопатками соплового аппарата от нагрузки двигателя. Угол поворота лопаток РСА определялся по уравнению [9]:

$$\theta = \alpha_{10} - \arcsin\left[\sin\alpha_{10}\,\frac{G}{G_0}\left(\frac{p_{00}}{p_0}\right)^{\frac{n-1}{n}}\sqrt{\frac{T_0}{T_{00}}}\sqrt{\frac{1-\left(\frac{p_{20}}{p_{00}}\right)^{\frac{k-1}{k}}}{1-\left(\frac{p_2}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}}}\right] \qquad (1)$$

где α_1 – эффективный угол на выходе из соплового аппарата; G – расход газа через турбину; p_0, T_0 – соответственно давление и температура газа на входе в турбину; p_2 – давление газа за турбиной; n, k – соответственно показатель условной политропы и показатель адиабаты процесса расширения газа в турбине; параметры исходного варианта турбины (до поворота лопаток РСА) дополнительно обозначены индексом «0».

В процессе исследований противодавление на выпуске изменялось от 0,0031 МПа (исходный вариант) до 0,015 МПа, при этом, результаты исследований обрабатывались в зависимости от относительного противодавления на выпуске, которое вычислялось по формуле:

$$\Delta\bar{p} = \Delta p / p_{00}\ , \qquad (2)$$

здесь Δp, p_{00} – соответственно противодавление на выпуске двигателя для режима конкретной нагрузки и давление перед турбиной турбокомпрессора для

режима полной нагрузки исходного варианта. Таким образом, $\Delta\bar{p}$ изменялось от 0,011 до 0,053.

Поворот лопаток РСА в сторону уменьшения угла их установки приводит к увеличению давления наддува, что, соответственно, вызывает повышение максимального давления сгорания топлива p_z и снижение перепада давлений на продувку цилиндров. Согласно тестовым испытаниям объекта исследований для режима номинальной мощности и противодавлении 0,0031 МПа максимальное давление сгорания составило p_z = 15,91 МПа и степень понижения давления при продувке цилиндров 1,34. При этом коэффициент остаточных газов, полученный расчетным путем, составил 0,0198.

Тестовые испытания дизеля при нагрузке $\bar{N_e}$ = 0,25 проводились с отключенным воздухоохладителем, что было вызвано существенным снижением температуры сжатого воздуха при уменьшении степени повышения давления в компрессоре от 4 для режима полной мощности до 1,46 для режима $\bar{N_e}$ = 0,25. Отключение воздухоохладителя позволило повысить температуру воздуха перед цилиндром, что обеспечило более благоприятную работу цилиндропоршневой группы.

Снижение эффективной площади проходного сечения турбины при повороте лопаток РСА в сторону уменьшения угла их установки приводит к увеличению степени повышения давления в компрессоре и, соответственно, температуры воздуха. В связи с этим, возможно, возникнет необходимость подключения воздухоохладителя на полный или частичный проток охлаждающей воды, что потребует дополнительных исследований.

В процессе проведенных исследований определялись относительные изменения эксплуатационных параметров, которые вычислялись по выражению:

$$\bar{\delta}B = (B - B_0)/B_{00}, \quad (3)$$

где B – эксплуатационный параметр, полученный для конкретного режима в

варианте с РСА; B_0 – эксплуатационный параметр, полученный для того же режима в варианте без РСА; B_{00} – эксплуатационный параметр, полученный в варианте без РСА для режима номинально мощности.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований судовых дизелей с использованием РСА турбокомпрессора показали, что с повышением давления наддува на режимах долевых нагрузок путем поворота лопаток увеличивается их эффективный КПД [5]. Повышение давления наддува сопровождается увеличением максимального давления сгорания топлива p_z, наибольшее значение которого ограничивается величиной, соответствующей номинальному режиму тестовых испытаний дизеля. При этом, одновременно, уменьшается перепад давлений на продувку цилиндров, минимальное значение степени понижения давления при продувке принято 1,05, что исключает обратный заброс отработавших газов в цилиндр.

На рис. 1 представлены зависимости относительного изменения давления наддува от угла поворота лопаток РСА для различных вариантов противодавления на выпуске.

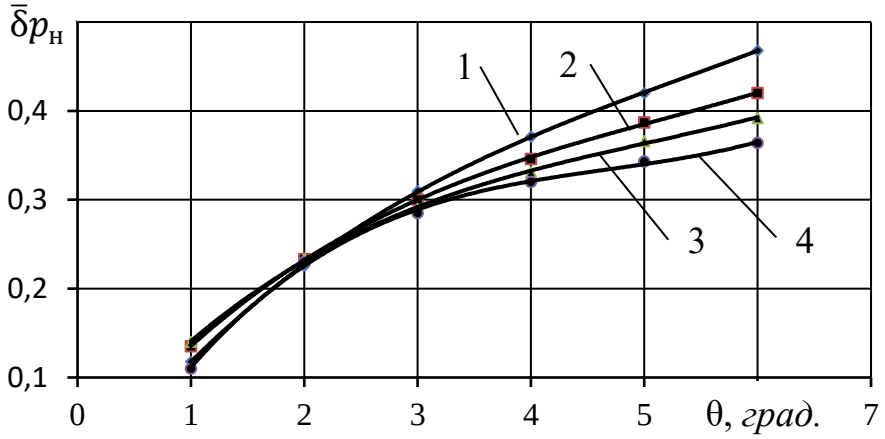


Рисунок 1 – Зависимости относительного изменения давления наддува от угла поворота лопаток РСА для различного противодавления на выпуске:
1 – $\Delta\bar{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\bar{p}$ = 0,032; 3 – $\Delta\bar{p}$ = 0,043; 4 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

Каждому значению угла поворота лопаток РСА соответствует режим работы дизеля с конкретной нагрузкой. Нагрузка дизеля – относительная мощность определялась соотношением:

$$\overline{N_e} = N_e / N_{e0}, \tag{4}$$

где N_e – эффективная мощность дизеля на конкретном режиме; N_{e0} – эффективная мощность дизеля на номинальном режиме.

На рис. 2 представлены зависимости относительного изменения давления наддува, вызванного предельно допустимым поворотом лопаток РСА от нагрузки дизеля при различном противодавлении на выпуске.

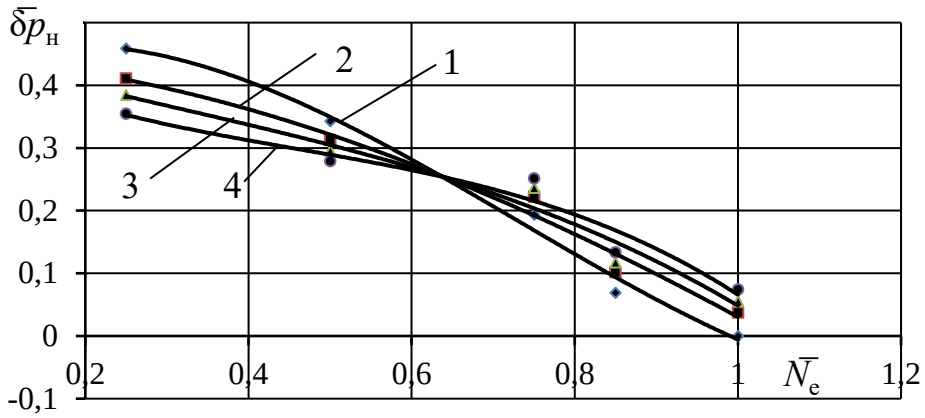


Рисунок 2 – Зависимости относительного изменения давления наддува вызванного поворотом лопаток РСА от нагрузки дизеля для различного противодавления на выпуске:

1 – $\Delta\overline{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\overline{p}$ = 0,032; 3 – $\Delta\overline{p}$ = 0,043; 4 – $\Delta\overline{p}$ = 0,053

Результаты исследований показали, что с повышением сопротивления на выпуске снижение нагрузки дизеля приводит к меньшему изменению давления наддува. Для выпускного сопротивления, соответствующего заводским тестовым испытаниям дизеля ($\Delta\overline{p}$ = 0,011) поворот лопаток РСА на 5 град.

вызывает изменение давления наддува на 36 %, а при $\Delta\bar{p} = 0{,}053$ изменение давления наддува составляет 24 %.

Характер изменения p_z от нагрузки дизеля в варианте с РСА при различных противодавлениях на выпуске приведен на рис. 3. Практически, не зависимо от величины выпускного противодавления за счет уменьшения угла установки лопаток РСА при их повороте удалось обеспечить постоянство p_z в диапазоне относительных мощностей дизеля $\bar{N}_e$ от 1,0 до 0,75. При дальнейшем понижении нагрузки сохранялось минимальное значение степени понижении давления e_n, а p_z снижалось (рис. 4).

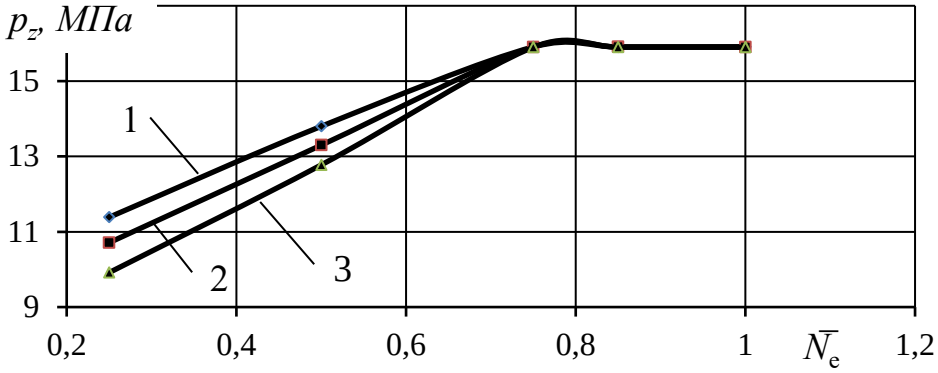


Рисунок 3 – Зависимость максимального давления сгорания топлива в варианте с РСА от нагрузки дизеля при различном противодавлении на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p} = 0{,}011$; 2 – $\Delta\bar{p} = 0{,}032$; 3 – $\Delta\bar{p} = 0{,}053$

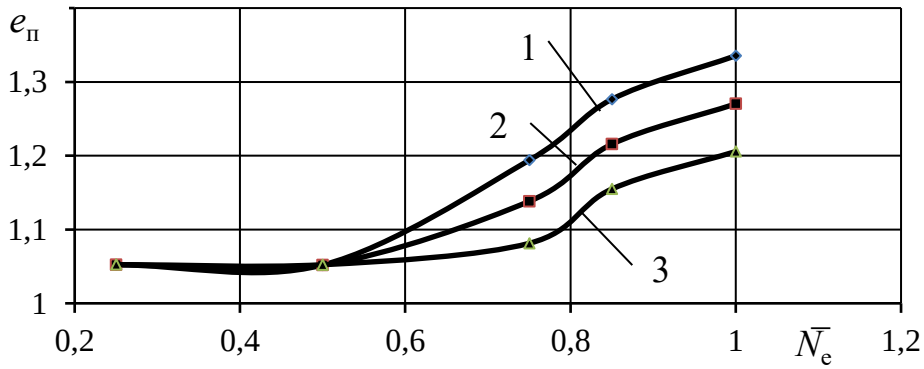


Рисунок 4 – Зависимость степени понижения давления при продувке цилиндров в варианте с РСА от нагрузки дизеля при различном противодавлении на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p} = 0{,}011$; 2 – $\Delta\bar{p} = 0{,}032$; 3 – $\Delta\bar{p} = 0{,}0531$

Зависимость изменения максимального давления сгорания топлива от нагрузки в варианте с РСА при предельно допустимом угле поворота лопаток относительно исходного варианта для различных противодавлений на выпуске приведена на рис. 5. Наибольшее изменение p_z получено для исходного варианта, соответствующего $\Delta\bar{p}$ = 0,011, которое при уменьшении $\bar{N}_e$ от 1,0 до 0,25 было равно 32 %, в то время как для $\Delta\bar{p}$ = 0,053 соответствующее изменение p_z составило 23 %. Больший диапазон изменения $\bar{\delta}p_z$ соответствует большим резервам воздействия на характеристики дизеля путем поворота лопаток РСА.

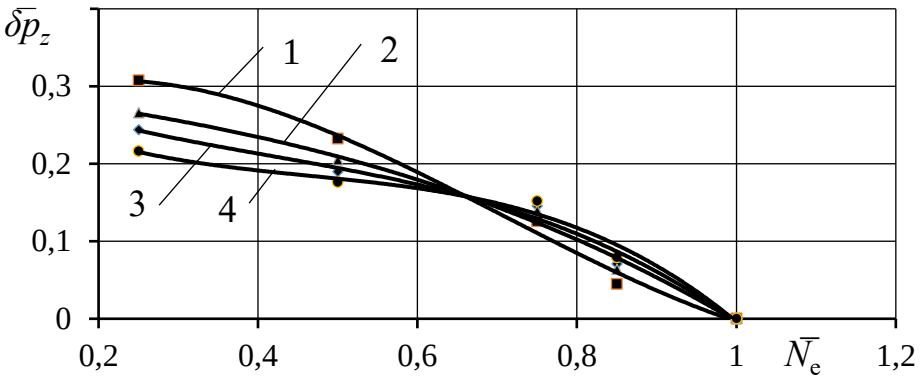


Рисунок 5 – Зависимость относительного изменения p_z вызванная поворотом лопаток РСА от нагрузки дизеля для различного противодавления на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\bar{p}$ = 0,032; 3 – $\Delta\bar{p}$ = 0,043; 4 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

Относительное изменение степени понижения давления при продувке цилиндров $\bar{\delta}e_п$ вызванное предельно допустимым поворотом лопаток РСА в зависимости от нагрузки для различных противодавлений на выпуске имеет более сложный характер (рис. 6). При поддержании p_z на максимально допустимом уровне для номинального режима при увеличении противодавления на выпуске повышали давление наддува путем поворота лопаток РСА. Это вызвало уменьшение степени понижения давления на продувку цилиндров для номинального режима, которое для $\Delta\bar{p}$ = 0,053 составило 4,7 %.

На режимах малой мощности $\bar{N}_e$ = 0,25 повышение противодавления на выпуске, практически, не сказывается на изменении $\bar{\delta}e_п$, которое не превысило 1,5 % при повышении $\Delta\bar{p}$ от 0,011 до 0,053. Анализ полученных результатов

показал, что при загрузке дизеля с относительной мощностью $\overline{N_e}$ = 0,6 зависимости ограничивающих факторов от противодавления на выпуске практически отсутствуют.

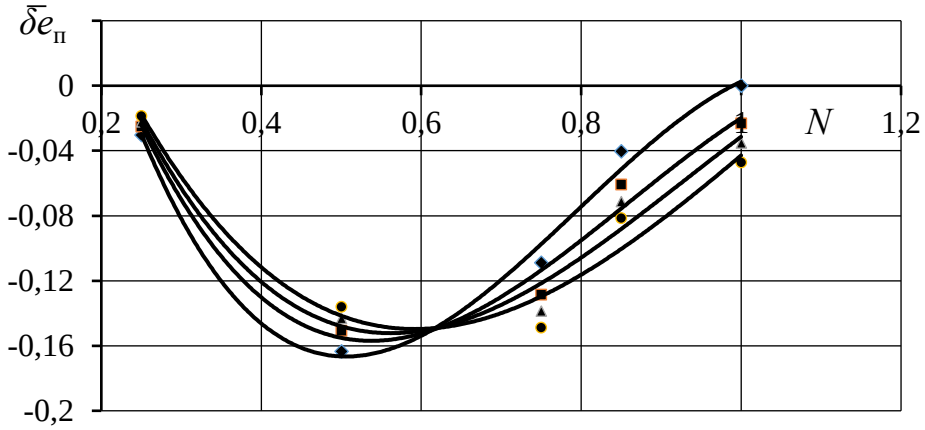


Рисунок 6 – Зависимость относительного изменения $e_п$ вызванная поворотом лопаток РСА от нагрузки дизеля для различного противодавления на выпуске: 1 – $\Delta\overline{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\overline{p}$ = 0,032; 3 – $\Delta\overline{p}$ = 0,043; 4 – $\Delta\overline{p}$ = 0,053

Каждому режиму дизеля, определяемому относительной мощностью и противодавлением на выпуске соответствует конкретное значение угла поворота лопаток РСА, обеспечивающее максимально допустимое значение p_z, исключающее уменьшение $e_п$ ниже 1,05. Зависимость такого угла поворота лопаток РСА θ (предельно допустимого) от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске приведена на рис. 7.

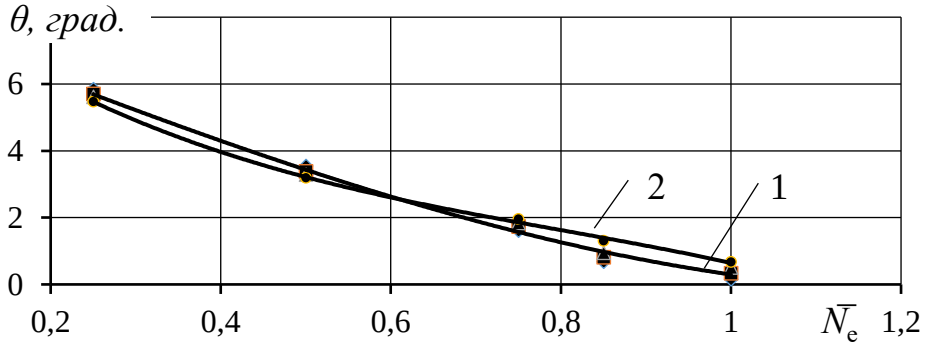


Рисунок 7 – Зависимость угла поворота лопаток РСА от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске: 1 – $\Delta\overline{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\overline{p}$ = 0,053

Проведенные исследования показали, что увеличение противодавления на выпуске $\Delta\bar{p}$ от 0,011 до 0,053 приводит к незначительному изменению θ для конкретной относительной мощности дизеля. Максимальное изменение θ для режимов диапазона относительных мощностей $\bar{N}_e$ = 0,85…1,0 не превышает 0,5 град., что соответствует уменьшению эффективной площади проходного сечения турбины в 3 %. Следует отметить, что на всех исследованных режимах работы дизеля эффективный угол выхода из РСА был выше 8 град. что обеспечило повышенный КПД турбины.

Выше было отмечено, что на режимах малых нагрузок дизеля $\bar{N}_e$ = 0,25 тестовые испытания дизеля проводились с отключенным воздухоохладителем (ВО), что позволило повысить температуру воздуха на входе в цилиндр и обеспечить более благоприятную работу цилиндропоршневой группы. Повышение давления наддува в результате поворота лопаток РСА приводит к увеличению температуры воздуха за компрессором. В связи с этим дополнительно проведены исследования дизеля на режиме $\bar{N}_e$ = 0,25 с подключенным ВО. Зависимость угла поворота лопаток РСА от противодавления на выпуске для $\bar{N}_e$ = 0,25 приведена на рис. 8. Исследования показали, что при подключенном ВО для обеспечения режима при установленном $\Delta\bar{p}$ требуется меньший угол поворота лопаток РСА по сравнению с исходным вариантом.

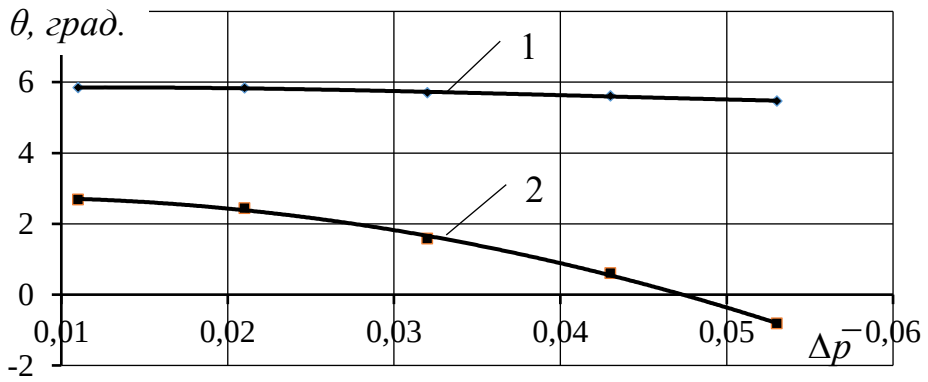


Рисунок 8 – Зависимость угла поворота лопаток РСА от противодавления на выпуске для $\bar{N}_e$ = 0,25: 1 – ВО отключен; 2 – ВО подключен

Зависимость относительного изменения максимального давления сгорания топлива от противодавления на выпуске для $\overline{N}_e$ = 0,25 приведена на рис. 9. Уменьшение угла поворота лопаток РСА приводит к уменьшению давления наддува и, следовательно, к понижению максимального давления при сгорании топлива. В связи с этим подключение воздухоохладителя способствует уменьшению p_z.

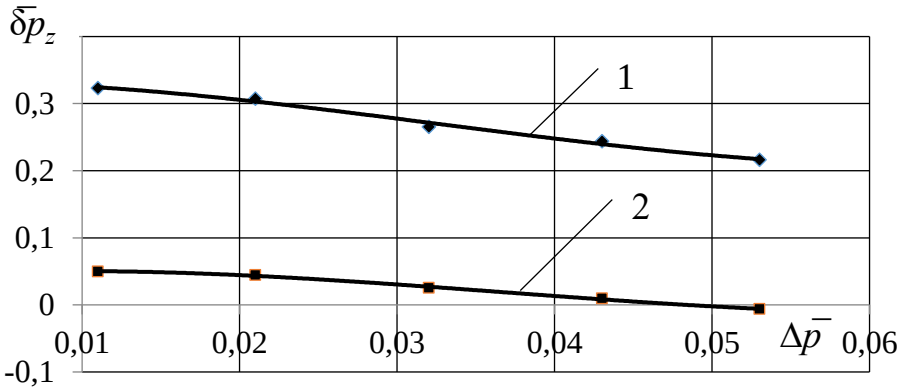


Рисунок 9 – Зависимость относительного изменения p_z от противодавления на выпуске для $\overline{N}_e$=0,25: 1 – ВО отключен; 2 – ВО подключен

Выводы

Вновь строящиеся и модернизируемые судовые дизельные установки в связи с удовлетворением последним нормам IMO будут использовать газовыпускные системы повышенного газодинамического сопротивления, что отразится на эксплуатационных параметрах дизелей и потребует дополнительных исследований.

С повышением противодавления на выпуске уменьшается диапазон изменения ограничивающих эксплуатационных параметров, влияющих на предельно допустимые значения угла поворота лопаток РСА.

В процессе исследований выявлен режим работы дизеля с относительной мощностью $\overline{N}_e$ = 0,6, где повышение противодавления на выпуске не влияет на изменение ограничивающих факторов.

На всех исследованных режимах работы дизеля эффективный угол выхода из РСА был выше 8 град., что способствовало работе турбокомпрессора с повышенным КПД.

Подключение воздухоохладителя на режиме $\overline{N}_e = 0{,}25$ позволило снизить максимальное давление цикла дизеля p_z и предельный угол поворота лопаток РСА.

Список использованной литературы:

1. *Медведев Г.В., Горлова Н.Н.* Состояние проблемы и варианты снижения вредных выбросов дизельных судовых энергетических установок // Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С.О. Макарова. 2019. Т. 11. № 6. С. 1133-1140.
2. Российский морской регистр судоходства. Руководство по применению положений международной конвенции МАРПОЛ 73/78. Санкт-Петербург,2021. 131 с.
3. *Медведев Г.В.* Металлокерамические фильтры очистки токсичных газов: водный транспорт: монография / Под ред. В.П. Горелова. Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та водн. трансп., 2017. 410 с.
4. *Байков Б.П., Бордуков В.Г., Иванов П.В.* Турбокомпрессоры для наддува дизелей: справочное пособие. Л.: Машиностроение, 1975. 200 с.
5. *Конюков В.Л.* Анализ термодинамических показателей четырехтактного дизеля при изменении режима работы регулируемого соплового аппарата турбонаддувочного агрегата // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2020. № 1. С. 72-82.
6. *Конюков В.Л.* Сравнительный анализ судовых дизелей по предельному повышению экономичности при непосредственном управлении расходом воздуха // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 2. С. 43-54.
7. *Гаврилов В.С., Камкин С.В., Шмелев В.П.* Техническая эксплуатация судовых дизельных установок: учебное пособие. 3-е изд. М.: Транспорт, 1985. 288 с.
8. *Конюков В.Л., Богатырева Е.В., Лубянко В.Н.* Анализ эксплуатационных характеристик двигателя 6ЧНСП 18/22 при различном сопротивлении выпускного тракта // Рыбное хозяйство Украины. 2013. Вып. 4. С. 40-44.
9. *Конюков В.Л.* Влияние угла поворота лопаток регулируемого соплового аппарата турбонаддувочного агрегата дизеля на параметры газа перед турбиной // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2019. Вып. 2. С. 54-64.

References:

1. Medvedev G.V., Gorlova N.N. Sostoyaniye problemy i varianty snizheniya vrednykh vybrosov dizelnykh sudovykh energeticheskikh ustanovok [The state of the problem and options for reducing harmful emissions of diesel marine power plants]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. Admirala S.O. Makarova* [Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet], 2019, vol. 11, no. 6, pp. 1133-1140. (In Russian).
2. *Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. Rukovodstvo po primeneniyu polozheniy mezhdunarodnoy konventsii MARPOL 73/78* [Russian Maritime Register of Shipping.

Guidelines for the application of the provisions of the International Convention MARPOL 73/78]. St. Petersburg, 2021, 131 p. (In Russian).
3. Medvedev G.V., Gorelov V.P. (ed.) *Metallokeramicheskiye filtry ochistki toksichnykh gazov: vodnyy transport* [Metal-ceramic filters for cleaning toxic gases: water transport]. Novosibirsk, SGUVT Publ., 2017, 410 p. (In Russian).
4. Baykov B.P., Bordukov V.G., Ivanov P.V. *Turbokompressory dlya nadduva dizeley* [Turbochargers for supercharging diesel engines]. Leningrad, Mashinostroyeniye Publ., 1975, 200 p. (In Russian).
5. Konyukov V.L. Analiz termodinamicheskikh pokazateley chetyrekhtaktnogo dizelya pri izmenenii rezhima raboty reguliruyemogo soplovogo apparata turbonadduvochnogo agregata. [Analysis of thermodynamic parameters of a four-stroke diesel engine when changing the operating mode of an adjustable nozzle unit of a turbocharging unit]. *Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kerch State Maritime Technological University], 2020, no. 1, pp. 72-82. (In Russian).
6. Konyukov V.L. Sravnitelnyy analiz sudovykh dizeley po predelnomu povysheniyu ekonomichnosti pri neposredstvennom upravlenii raskhodom vozdukha. [Comparative analysis of marine diesel engines on the marginal increase in efficiency with direct control of air consumption]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology], 2021, no. 2, pp. 43-54. (In Russian).
7. Gavrilov V.S., Kamkin S.V., Shmelev V.T. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovykh dizelnykh ustanovok* [Technical operation of marine diesel installations]. 3rd ed. Moscow, Transport Publ., 1985, 288 p. (In Russian).
8. Konyukov V.L., Bogatyreva E.V., Lubyanko V.N. Analiz ekspluatacionnyh harakteristik dvigatelya 6ChNSP 18/22 pri razlichnom soprotivlenii vypusknogo trakta [Analysis of operational characteristics of 6ChNSP 18/22 engine under different resistance of exhaust tract]. *Rybnoe hozyajstvo Ukrainy* [Fisheries of Ukraine], 2013, iss. 4, pp. 40-44. (In Russian).
9. Konyukov V.L. Vliyanie ugla povorota lopatok reguliruemogo soplovogo apparata turbonadduvochnogo agregata dizelya na parametry gaza pered turbinoj [Influence of blade rotation angle of adjustable nozzle apparatus of turbocharged diesel engine on gas parameters in front of turbine]. *Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kerch State Maritime Technological University], 2019, iss. 2, pp. 54-64. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Конюков Вячеслав Леонтьевич	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 seykgmtu@gmail.com
Konyukov Viacheslav Leontievich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the department of ship power plants Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 seykgmtu@gmail.com

УДК 629.1 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_203**

Панов М.А., Позднеев М.С., Ивановская А.В.

БОРЬБА С НАКИПЕОБРАЗОВАНИЕМ В ТЕПЛООБМЕННИКАХ

Аннотация. В работе рассмотрено явление накипеобразования в судовых теплообменниках, причины его появления. В котлах вода непрерывно испаряется, и концентрация растворенных солей постепенно увеличивается. Когда их концентрации достигают точки насыщения, они выбрасываются из воды в виде осадков на внутренних стенках котла. Если выпадение осадка происходит в виде рыхлого и слизистого осадка, его называют шламом. С другой стороны, если осажденное вещество образует твердую приставшую корку на внутренних стенках котла, это называется накипью. Накипь крайне негативно сказывается на работе теплообменного оборудования, являясь причиной выхода его из строя. Рассмотрены требования, предъявляемые к выбору методов борьбы с накипью. Проанализированы способы, которые применяются на современных судах. Выполнен обзор и анализ инновационных методов на предмет их возможного внедрения в судовых условиях.
Ключевые слова: накипь, теплообменники, удаление накипи, профилактика накипеобразования.

Panov M., Pozdneev M., Ivanovskaya A.

ANTI-SCALE IN HEAT EXCHANGERS

Abstract. The paper considers the phenomenon of scale formation in ship heat exchangers, the reasons for its appearance. In boilers, water is continuously evaporated and the concentration of dissolved salts gradually increases. When their concentrations reach the saturation point, they are thrown out of the water in the form of sediments on the inner walls of the boiler. If the precipitation occurs in the form of a loose and slimy sediment, it is called sludge. On the other hand, if the precipitated substance forms a hard-adhering crust on the inner walls of the boiler, this is called scale. Scale has an extremely negative effect on the operation of heat exchange equipment, causing it to fail. Considered the requirements for the choice of methods for combating scale. The methods that are used on modern ships are analyzed. A review and analysis of innovative methods for their possible implementation in ship conditions has been carried out.
Keywords: scale, heat exchangers, descaling, scale prevention.

Введение

Надежность и эффективность работы судовой энергетической установки в значительной мере зависят от стабильного поддержания спецификационных параметров теплообменников. Теплообменные устройства окружают нас повсюду. Парогенератор является самым распространенным из таких устройств. Он производит пар из воды под высоким давлением. Помимо бытовых сфер, парогенераторы широко используются в самых разных отраслях промышленности, в том числе на морских судах. Парогенераторы имеют сложную внутреннюю структуру, и все его компоненты участвуют в

производстве пара. Они постоянно подвергаются воздействию горячей воды и водяного пара, в результате чего риск коррозии и образования накипи чрезвычайно высок, что ухудшает способность парогенератора проводить и передавать тепло.

На судах используются поверхностные теплообменники, в которых одно рабочее тело передает тепло другому рабочему телу через разделяющую их поверхность.

Различают следующие виды теплообменников:

- погружной;
- пластинчатый;
- элементный;
- витой;
- графитовый;
- спиральный;
- двухтрубный;
- кожухотрубный.

На сегодняшний день производители оборудования предлагают пользователю приобрести два разных вида оборудования.

1. Односторонний, при котором охлаждающая жидкость отделяется и создает параллельные потоки, при этом они почти сразу же стекают в выходной порт.

2. Многоходовой вариант предполагает использование сложной схемы, при котором теплообменник начинает свое движение через такое же количество задействованных каналов. Этот принцип работы подразумевает наличие дополнительных элементов (пластин), которые заканчиваются заглушками в выходных отверстиях, что усложняет обслуживание таких элементов.

Одной из проблем, возникающих при эксплуатации теплообменников, являются накипные отложения, которые значительно снижают эксплуатационные характеристики оборудования. В зависимости от

химического состава накипные отложения делятся на три типа:

– щелочноземельные накипи, в состав которых более 70 % входят соли щелочноземельных металлов Ca^{2+} и Mg^{2+}, связанные с карбонатным, сульфатным, гидроксильным или фосфатным анионами;

– окисные накипи, в состав которых более 70 % входят окислы железа и меди в разных формах: FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, CuO;

– смешанные накипи, в составе которых щелочноземельные и окисные составляющие накипи входят в сопоставимых долях [1, 2].

Как установлено, теплопроводность накипи в 10-15 раз меньше теплопроводности металлов и в 50 раз меньше теплопроводности стали. В результате снижения теплопроводности теплообменных поверхностей элементы, требующие охлаждения, перегреваются, что приводит к повышенному износу и разрушению перегретых элементов. Влияние образования шлама на поверхности котельных установок также приводит к перегреву элементов котельного блока. Особенно чувствительными в этом случае являются трубы, соединяющие барабаны, которые деформируются и разрушаются в результате перегрева. Кроме того, если уже использованное, то есть ненужное тепло, будет удалено в двигателях внутреннего сгорания, то в котельных установках в результате образования шлама достаточное количество тепла больше не сможет передаваться охлаждающей жидкости, что значительно увеличит расход топлива. Теплообменники в результате образования накипи теряют свою основную функцию – отвод избыточного тепла от других теплоносителей.

Задача борьбы с накипью является актуальной и вызванной запросами практики. Поэтому **целью** данной работы является обзор существующих и инновационных методов борьбы с накипью в судовых теплообменниках.

Материалы и методы исследования

Выбор методики очистки теплообменников от накипи зависит от условий их эксплуатации. Это обусловлено влиянием теплофизических характеристик

процесса теплообмена и составом теплоносителя на интенсивность образования накипи, ее фазового состава и структуры. В связи с чем, одним из факторов, которым следует руководствоваться при выборе метода борьбы с накипью, является тип теплообменника. По механизму образования отложений теплообменные аппараты можно разделить на два типа:

- теплообменные аппараты, в которых кристаллизация отложений происходит в изогидрических условиях;

- теплообменные аппараты с изотермической кристаллизацией отложений, где температура процессов сохраняется за счет фазового перехода растворителя.

Следующим фактором, обуславливающим выбор метода борьбы с накипью, является температурный режим накипеобразования. Основываясь на результатах изучения фазового состава накипи и условий ее кристаллизации, можно выделить три основных режима накипеобразования. Растворенные в воде твердые вещества, которые могут привести к образованию отложений, можно разделить на 3 группы жесткости:

1. Щелочные (временные) соли жесткости

Это бикарбонаты Ca и Mg, которые имеют слабощелочную природу. Они разлагаются при нагревании, образуя CO_2 и соответствующие карбонаты, которые затем осаждаются в виде мягких отложений или шлама.

$$Ca\,(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O.$$

2. Нещелочные (постоянные) соли жесткости

Это соли постоянной жесткости из-за присутствия сульфатов, хлоридов, нитратов и силикатов кальция и магния. За исключением силикатов и $CaSO_4$, все соли постоянной жесткости хорошо растворяются в воде и обычно не образуют накипи, но способствуют коррозии за счет гальванического воздействия.

$CaSO_4$ – наихудший агент образования накипи в воде, образующейся в виде тонкой твердой серой накипи при температуре выше 140 °C или при плотностях выше 96000 частей на миллион.

$MgCl_2$ растворим в нормальных условиях котла, но может в некоторой

степени разрушаться внутри котла с образованием $Mg(OH)_2$ и HCl, что может вызвать также активную коррозию металла котла.

$$MgCl_2 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + HCl.$$

$CaCO_3$ – это соль щелочной жесткости, она откладывается в виде белого осадка, но вместе с $CaSO_4$ образует смесь карбоната и сульфата. Чем больше процент карбоната, тем мягче окалина.

Кремнезем содержится в большинстве водоемов, литейном песке и сварочном флюсе. В котле низкого давления SiO_3 соединяется с Ca и Mg с образованием силикатов кальция и магния, которые могут выпадать в осадок и образовывать твердую накипь. В котлах высокого давления кремнезем улетучивается с паром и отложениями на лопатках турбины, вызывая серьезную потерю эффективности турбины. Чешуйки кремнезема стекловидные, чрезвычайно твердые и их трудно удалить.

3. Нетвердые соли

Они состоят в основном из солей натрия, остаются в растворе и не осаждаются при нормальной плотности котла. Он может выходить из раствора при очень высокой плотности, превышающей 225 000 ppm, и оседать в виде мягкого налета. Однако, высокая концентрация солей NaCl может вызвать вспенивание котловой воды.

Перечисленные выше соли могут привести к следующим серьезным проблемам в работе теплообменного оборудования:

1. Потери топлива. Шлам имеет низкую теплопроводность, поэтому скорость передачи тепла от котла к внутренней воде значительно снижается. Чтобы обеспечить стабильную подачу тепла в воду, осуществляется чрезмерный перегрев, что приводит к увеличению расхода топлива.

2. Снижение безопасности котла. Из-за образования накипи необходимо произвести перегрев котла, чтобы поддерживать постоянную подачу пара. Перегрев трубы котла делает материал котла более мягким и слабым, что вызывает деформацию труб и делает котел небезопасным для выдерживания

давления пара, особенно в котлах высокого давления.

3. Снижение эффективности. Иногда накипь может накапливаться на клапанах и конденсаторах котла и частично их засорять, что также приводит к снижению КПД котла.

4. Опасность взрыва. Когда большой слой накипи трескается из-за неравномерного расширения, вода внезапно вступает в контакт с перегретыми железными пластинами. Это вызывает внезапное образование большого количества пара. Так внезапно возникает высокое давление, которое может даже вызвать взрыв котла.

При выборе метода удаления накипи, также следует руководствоваться следующими рекомендациями:

– учитывать при выборе метода тип теплообменника;

– при выборе химических реагентов желательно учесть состав накипи для более эффективной очистки;

– продумать способ надежной циркуляции моющего раствора;

– предусмотреть способ защиты конструкционных материалов от коррозии.

Наиболее часто на судах используют химический и механический методы очистки теплообменников. Однако, при выборе химических реагентов следует учитывать вид накипи.

1. Карбонатная накипь удаляется соляной или сульфаминовой кислотой за счет перехода в хорошо растворимую соль:

$$CaCO_3+HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$CaCO_3+2NH_2SO_3H \rightarrow Ca\ (NH_2SO_3)_2 + H_2O + CO_2\uparrow.$$

2. Окисная накипь удаляется аммиаком или трилоном Б путем перевода катиона нерастворимого отложения в прочный комплексный ион вещества растворителя:

$$CuO+NH_4OH \rightarrow [Cu(NH_3)_2](OH)_2+5H_2O.$$

3. Сульфатные отложения за счет тринатрийфосфата и соляной

(сульфаминовой) кислоты превращаются в другое вещество, легкорастворимое в других химических реакциях:

$$2CaSO_4+2Na_3PO_4 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2+3Na_2SO_4.$$

Выбранный метод очистки должен удовлетворять следующим требованиям:

– малое энергопотребление;

– небольшие габариты и масса установки;

– высокий ресурс элементов установки;

– малый расход воды или другой среды;

– высокая надежность по технике безопасности;

– отсутствие механических и скрытых повреждений элементов теплообменника;

– подходит для любого вида материала;

– возможность очистки труднодоступных мест;

– удаляет все виды накипи; экологическая безопасность;

– приемлемая стоимость очистки;

– по возможности безразборная очистка;

– небольшие затраты по времени.

Результаты исследований и их обсуждение

На рисунке 1 показаны основные методы борьбы с накипью [3, 4].

Основным способом, служащим для предотвращения образования накипи, является умягчение.

Под термином «умягчение» понимается процесс очищения воды от солей жесткости (Ca и Mg), являющихся основной причиной образования накипи.

В процессе умягчения из воды удаляются ионы кальция (Ca) и магния (Mg). Это делается за счёт того, что воду пропускают через смолу или соль, содержащие в себе ионы натрия. При этом ионы кальция и магния из воды переходят в смолу или соль, а ионы натрия замещают их и переходят в воду. Таким образом происходит умягчение воды и снижается её общая жесткость.

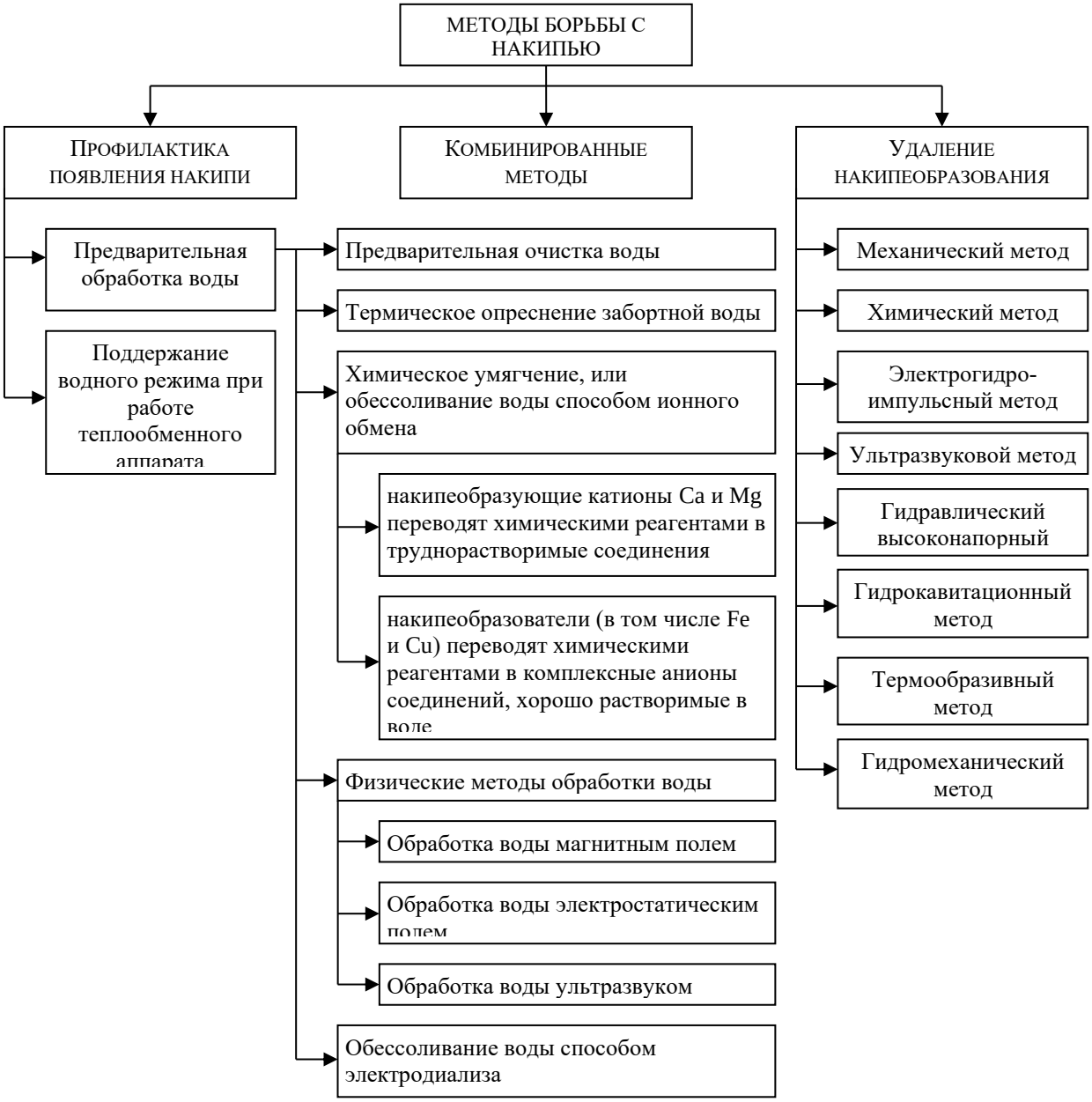


Рисунок 1 – Методы борьбы с накипью

Существуют самые различные установки по умягчению, которые могут быть сконструированы и подобраны под исходную жесткость воды, кроме того, ступеней умягчения может быть несколько.

Также существуют установки обратного осмоса, которые могут выдавать из себя на выходе практически дистиллированную воду.

При химической очистке используется одна из четырех технологических схем.

1) При первой технологии необходимо налить раствор кислоты в устройство и начать очищать, не перемешивая раствор. Метод очень прост, но есть один весомый минус – это неравномерная очистка поверхностей.

2) При второй технологии смысл заключается в заливке и интенсивном перемешивании раствора с помощью циркуляционного насоса или подачи воздуха. Данный метод сложнее, чем первый, но он обеспечивает более интенсивное растворение отложений и хорошую равномерность очистки поверхности.

3) Третья технология заключается в растворение отложений с циркуляцией потока растворителя. Данный метод требует специального технологического оборудования. Во время очистки отложения растворяются интенсивно, но неравномерно. И поэтому этот метод редко используется на судах.

4) Четвертый метод заключает в себе вытеснение растворенных отложений с замкнутой многократной циркуляцией растворителя. Данный метод дает хорошие результаты за счет интенсивного смешивания растворителя. В результате поверхности очищаются равномерно. Этот метод широко используется на судах для обработки поверхностей котлов, охлаждающих полостей дизельных двигателей, аппаратов и т.д.

Химическую очистку, возможно, применять, не разбирая полностью котел или теплообменник. Но при этом существует опасность, что слишком длительное воздействие кислоты может повредить металл котла, а более короткое воздействие недостаточно очистит поверхности.

Механический способ – один из наиболее распространённых и известных способов очистки котлов и другого оборудования от накипи. Метод заключается в том, что в очищаемую трубу заводится механическая шарошка (бур, фреза), которая вращается в трубе за счёт электрического или воздушного привода. За счёт механического вращения, острые края шарошки достаточно эффективно счищают слой имеющейся накипи. Однако, при таком способе очистки, возможно ненормируемое воздействие шарошки на поверхность очищаемых

труб, что в ряде случаев может приводить к утоньшению их стенок.

Принцип гидродинамической очистки основан на том, что вода, под высоким давлением, подаётся, посредством шланга высокого давления и форсунки, в трубу, что обеспечивает её отмывку от накипи. Данный метод эффективен для оборудования, у которого имеется открытый доступ к очищаемым трубам – теплообменников, бойлеров, паровых котлов.

Ультразвуковая технология выделяется в этом ряду тем, что обеспечивает одновременное воздействие на образование накипи несколькими различными механизмами. Так, при озвучивании воды ультразвуком достаточной интенсивности происходит разрушение, раскалывание образующихся в нагреваемой воде кристаллов солей жесткости. В результате значительная часть кристаллов не достигает размеров, требуемых для осаждения, и процесс формирования накипи на теплообменной поверхности замедляется. Следующим механизмом воздействия ультразвуковой технологии на образование накипи служит отталкивание от теплообменной поверхности кристаллов солей и замедление их осаждение.

Изгибные колебания теплообменной поверхности разрушают так же уже сформированный слой накипи. Это разрушение сопровождается отслоением и откалыванием кусочков накипи. При значительной толщине слоя, образованной ранее накипи относительно диаметра водопроводящих каналов, существует опасность их засорения и закупорки. Поэтому одним из основных требований успешного применения ультразвуковой технологии является предварительная очистка теплообменных поверхностей от сформированного до установки ультразвуковых устройств слоя накипных отложений. То есть, наблюдаются два эффекта от ультразвуковой обработки воды: препятствование образованию накипи и разрушение уже сформированного слоя накипи.

Схожее действие наблюдается и при воздействии магнитные преобразователи воды. Вода проходит через магнитное поле, создаваемое постоянными магнитами. Вызванный специальным расположением магнитов

резонанс приводит частицы воды к тесному взаимодействию с частицами примесей. При этом не происходит образования труднорастворимых карбонатов кальция и магния на поверхности нагревательного элемента. Вредные вещества остаются в толще воды и выносятся вместе с ней в дренаж. Более того, ионы кальция из уже выпавшей накипи начинают отрываться и присоединяться к образованному веществу. Со временем старая накипь разрыхляется и полностью вымывается с поверхности нагревательных элементов.

Недостатки и ограничения существующих методов борьбы с накипью:

– необходимость остановки водогрейного оборудования на время очистки;

– повышенный износ водогрейного оборудования;

– трудоемкость процесса очистки водогрейного оборудования;

– необходимость использования квалифицированного высокооплачиваемого персонала для проведения очистки;

– финансовые затраты на расходные материалы;

– ограничения для методов борьбы по жесткости, pH воды;

– нестабильная (переменная) эффективность работы водоподготовительного оборудования;

– необходимость значительных площадей для установки водоподготовительных систем;

– экологическая опасность;

– сложность в обслуживании водоподготовительного оборудования.

Проанализировав существующие в энергетике методы удаления накипи, можно сделать вывод, что ни один из рассмотренных методов не отвечает всем предъявляемым требованиям. Химический способ очистки является наиболее универсальным. Однако, наиболее оптимальными являются гидромеханический и электрогидроимпульсный.

Несмотря на такое разнообразие методов и средств борьбы с накипеобразованием, проблема остается актуальной.

Кроме традиционных методов борьбы с накипью существуют также методы, не получившие пока широкого применения [5-10].

1. Метод, основанный на переходе карбоната кальция в более растворимые гидрокарбонаты в присутствии угольной кислоты, образующейся при насыщении воды двуокисью углерода (баллонной CO_2 или отработавшими газами СЭУ). Углекислотный метод очищает поверхность от накипи и предотвращает ее накопление.

2. Нанесение методом плазменного электролитического оксидирования композиционных покрытий, и подвергшиеся после этого обработке политетрафторэтиленом. Нанесенное покрытие снижает интенсивность солеотложения на 14-86 % в зависимости от условий теплообмена.

3. Установка Hydropath MARINE, в основе работы которой лежат электромагнитные импульсы, распространяющиеся по всем пластинам теплообменника, а также по системе трубопроводов судна. Применение таких импульсов позволяет исключить химическую обработку. Также система препятствует биообрастанию.

4. Генератор ударных волн предназначен для импульсной очистки поверхностей нагрева котлоагрегатов от наружных сажистых и золошлаковых, а также внутренних (накипи) отложений.

5. Криогенный бластинг является инновационным методом очистки поверхности сухим льдом. Этот метод заключается в подаче сухого льда на очищаемую поверхность с высокой скоростью. Частицы сухого льда рассеиваются сжатым воздухом. Когда лед приближается к очищаемой поверхности со скоростью, близкой к скорости звука, его столкновение с поверхностью вызывает отделение различных загрязнений и очистку поверхности. Важным преимуществом является полное отсутствие влаги, в отличие от гидроабразивной обработки. Этот метод сочетает в себе финансовые выгоды, возникающие в результате увеличения скорости очистки в 2-4 раза, с полной экологической безопасностью, поскольку в процессе очистки не используются химические соединения, синтетические моющие средства и не

образуется абразивная пыль, процесс полностью взрыво- и пожаробезопасен.

6. В основе мягкого бластинга лежит аэрогидродинамическая обработка мягкой струей. В данном методе используется эффект Ребиндера по облегченному разрыву и перестройке межмолекулярных связей в твердом теле в присутствии адсорбционно-активных подвижных чужеродных ионов. Для этого устройство, называемое бластером, под высоким давлением подает мягкий реагент в виде струи сжатого воздуха на очищаемую поверхность. Когда частицы реагента вступают в контакт с твердой поверхностью, создается микровзрыв, устраняющий загрязнение.

Выводы. В результате проведенных исследований был выполнен сравнительный анализ существующих методов борьбы с накипью. Из него следует, что идеального метода на сегодняшний день не существует. Поэтому необходимо уделить особое внимание совершенствованию методов водоподготовки, а также рассмотреть вопрос об использовании новых перспективных методов, позволяющих не только бороться с накипью, но и быть безопасными для человека и окружающей среды.

Список использованной литературы:

1. *Кульский Л.А., Накорчевская В.Ф.* Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод. К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. 240 с.
2. *Тихановская, Г.А*. Химия воды: учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2010. 135 с.
3. *Сурин С.М.* Технология очистки судовых котлов от накипных отложений: учебное пособие. М.: Мортехинформреклама, 1991. 40 с.
4. *Абрамов В.А.* Накипеобразование в судовых теплообменниках, методы их очистки и растворимость $CaCO_3$ в растворах сульфаминовой кислоты при повышенных давлениях CO_2 // Вестник Одесской национальной морской академии. Судовые энергетические установки. Одесса, 2013. № 31. С. 5-24.
5. *Машталяр Д.В.* Формирование композиционных антинакипных слоев на теплопередающих элементах судовых энергетических установок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05 / Дмитрий Валерьевич Машталяр. Владивосток: ДГТУ, 2007. 24 с.
6. Сайт «V движке». URL: http://vdvizhke.ru/sudovye-dizelnye-ustanovki/ohlazhdenie-sudovyh-dizelnyh-ustanovok/chistka-sistem-ohlazhdenija.html (дата обращения 01.12.2021).
7. Сайт «Балт-тех групп». URL: http://www.balt-tech.ru/services/ochistka-oborudovaniya/ochistka-kotlov-promyvka-kotlov-ochistka-vodogreynykh-kotlov.html (дата обращения 01.12.2021).
8. Сайт «Sea-Man.org». URL: https://sea-man.org/metody-ochistki-poverkhnosti.html (дата обращения 01.12.2021).
9. Сайт «Моряк». URL: https://seaspirit.ru/sudomexaniki/shipboilers/obrabotka-kotlovoj-vody.html (дата обращения 01.12.2021).

10. Сайт «TURBINIST.RU». URL: https://www.turbinist.ru/26329-sposoby-predotvrascheniya-otlozheniy-na-teploobmennyh-poverhnostyah.html (дата обращения 01.12.2021).

References:

1. Kul`skij L.A., Nakorchevskaya V.F. *Himiya vody: Fiziko-himicheskie processy obrabotki prirodnyh i stochnyh vod.* [Water chemistry: Physical and chemical processes of natural and wastewater treatment]. Kiev, Vishha shkola Publ., 1983, 240 p. (In Russian).
2. Tihanovskaya G.A. *Himiya vody* [Water chemistry]. Vologda, VoGTU Publ., 2010, 135 p. (In Russian).
3. Surin S.M. *Tekhnologiya ochistki sudovyh kotlov ot nakipnyh otlozhenij* [Technology for cleaning ship boilers from scale deposits]. Moscow, Mortekhinformreklama Publ., 1991, 40 p. (In Russian).
4. Abramov V.A. Nakipeobrazovanie v sudovyh teploobmennikah, metody ih ochistki i rastvorimost' $CaCO_3$ v rastvorah sul'faminovoj kisloty pri povyshennyh davleniyah CO_2 [Scale formation in ship heat exchangers, methods of their purification and solubility of $CaCO_3$ in sulfamic acid solutions at elevated CO_2 pressures]. *Vestnik Odesskoj Nacional'noj Morskoj Akademii. Sudovye Energeticheskie Ustanovki* [Odessa National Maritime Academy. Marine Power Plants], 2013, no. 31, pp. 5-24. (In Russian).
5. Mashtalyar D.V. *Formirovanie kompozicionnyh antinakipnyh sloev na teploperedayushchih elementah sudovyh energeticheskih ustanovok. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Formation of composite antiscale layers on the heat-transmitting elements of ship power plants. Cand. techn. sci. diss. abstr.]. Vladivostok, DGTU Publ., 2007, 24 p. (In Russian).
6. *Sayt «V dvizhke»* [Site “V dvizhke”]. (In Russian). Available at: http://vdvizhke.ru/sudovye-dizelnye-ustanovki/ohlazhdenie-sudovyh-dizelnyh-ustanovok/chistka-sistem-ohlazhdenija.html (accessed 01.12.2021).
7. *Sayt «Balt-tekh grupp»* [Site “Balt-tekh grupp”]. (In Russian). Available at: http://www.balt-tech.ru/services/ochistka-oborudovaniya/ochistka-kotlov-promyvka-kotlov-ochistka-vodogreynykh-kotlov.html (accessed 01.12.2021).
8. *Sayt «Sea-Man.org»* [Site “Sea-Man.org”]. (In Russian). Available at: https://sea-man.org/metody-ochistki-poverkhnosti.html (accessed 01.12.2021).
9. *Sayt «Moryak»* [Site “Sailor”]. (In Russian). Available at: https://seaspirit.ru/sudomexaniki/shipboilers/obrabotka-kotlovoj-vody.html (accessed 01.12.2021).
10. *Sayt* «TURBINIST.RU» [Site “TURBINIST.RU”]. (In Russian). Available at: https://www.turbinist.ru/26329-sposoby-predotvrascheniya-otlozheniy-na-teploobmennyh-poverhnostyah.html (accessed 01.12.2021).

Сведения об авторах / Information about authors

Панов Максим Андреевич	курсант 3-го курса специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок» Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 invkerch@yandex.ru
Panov Maksim Andreevish	3th year cadet of the specialty “Operation of ship power plants” 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 invkerch@yandex.ru
Позднеев Марк Сергеевич	курсант 3-го курса специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок» Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82

	invkerch@yandex.ru
Pozdneev Mark Sergeevish	3th year cadet of the specialty “Operation of ship power plants” 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 invkerch@yandex.ru
Ивановская Александра Витальевна	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 invkerch@yandex.ru
Ivanovskaya Aleksandra Vital’evna	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 28309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82, invkerch@yandex.ru

УДК 628.11 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_218**

Федоровский К.Ю. Гриненко Н.К. Ениватов В.В.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООТВОДА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация. Рассмотрены преимущества перехода от разомкнутых систем охлаждения судовых энергетических установок к замкнутым системам. Разомкнутая система охлаждения предусматривает прием забортной воды, которая содержит микроскопический планктон, являющийся основой пищевой цепочки в морях. Попав в систему, планктон под воздействием механического и теплового факторов практически полностью погибает, что разрушает пищевую цепочку и снижает рыбную продуктивность морей. Указанного недостатка лишены замкнутые системы охлаждения, полностью исключающие потребление забортной воды. Энергетическое оборудование охлаждается циркулирующей по замкнутому контуру пресной водой, которая отдает теплоту забортной воде в специальных устройствах теплоотвода, например, выносных пластинчатых теплообменных аппаратах либо совмещенных с подводной частью судовой обшивки. Возникает вопрос оценки тепловой эффективности работы таких систем. Для этого предложено использовать показатель, отражающий мощность энергетической установки, которая может быть обеспечена с одного метра квадратного поверхности устройства теплоотвода системы охлаждения. Выполненные экспериментальные исследования позволили установить необходимые для расчёта данного показателя величины. Определено влияние различных факторов на достигаемое значение данного показателя.
Ключевые слова: система охлаждения, судовая энергетическая установка, планктон, устройство теплоотвода, эффективность.

Fedorovskiy K.Yu., Grinenko N.K., EnivatovV.V.

EVALUATION OF THE HEAT SINK EFFICIENCY OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CLOSED LOOP COOLING SYSTEM OF SHIP POWER PLANTS

Abstract. The issues of transition from the use of open-loop cooling systems of ship power plants to closed ones are considered. The open-loop cooling system consumes seawater, which contains microscopic plankton, which is the backbone of the food chain in the seas. Once in the system, plankton almost completely dies under the influence of mechanical and thermal factors, which destroys the food chain and reduces the fish productivity of the seas. Closed cooling systems are devoid of this drawback, completely eliminating the consumption of seawater. The power equipment is cooled by fresh water circulating in a closed circuit, which gives off heat to the seawater in special heat removal devices, for example, combined with the underwater part of the ship's skin. Thus, the issue of evaluating the thermal efficiency of such systems arises. For this, it is proposed to use an indicator reflecting the power of the power plant, which can be provided from one meter of the square surface of the heat removal device of the cooling system. The performed experimental studies made it possible to establish the values necessary for calculating this indicator. The influence of various factors on the achieved value of this indicator has been determined.
Keywords: cooling system, ship power plant, plankton, heat removal device, efficiency.

Введение. Морской транспорт является одним из наиболее эффективных средств транспортировки грузов, поскольку характеризуется минимальными

затратами. Программой Российской Федерации «Развитие транспортной системы» (Постановление правительства РФ от 31 марта 2020 г. № 398) предусматривает создание новых судов и развитие соответствующей инфраструктуры.

Увеличение количества судов, их размера и мощности энергетической установки неизбежно приводят к увеличению негативного влияния на окружающую среду. В международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов МАРПОЛ 73/78 [1] основное внимание уделяется вопросам загрязнения морей нефтью, сточными водами, отработавшими газами т.д. Однако при этом имеются и другие факторы негативного влияния на окружающую среду.

Отвод теплоты от работающего дизеля, в принципе, может быть осуществлен в атмосферу и в забортную воду. Теплоотвод в атмосферу связан с низкими коэффициентами теплопередачи, что приводит к большим габаритам устройств теплоотвода в атмосферу и значительным мощностям воздушных нагнетателей. Как известно, отвод теплоты в забортную воду, по сравнению с теплоотводом воздуху, связан с достижением более высоких значений коэффициентов теплопередачи.Теплоотвод в заборную воду реализуется в устройстве теплоотвода (УТ), в качестве которого обычно используются кожухотрубные, пластинчатые и другие типы рекуперативных теплообменных апаратах. В этих аппаратах забортная вода прокачивается специальным насосом, что обеспечивает высокие коэффициенты теплопередачи и сравнительно небольшие габариты этих устройств.

Расмотрим системы охлаждения (СО), которые являются одним из важнейших элементов судовой энергетической установки (СЭУ). В настоящее время широко используются двухконтурные разомкнутые системы охлаждения, предусматривающие потребление заборной воды.Эта вода охлаждает пресную воду, циркулирующую непосредственно через судовой двигатель. Потребление

забортной воды может быть значительным и достигать сотен и более метров кубических час (табл. 1).

Таблица 1 – Примеры потребления морской воды

Объект	Потребление морской воды, $м^3$/час
Морская платформа ЛСП-1	1600 (номинальное) 2000…2400 (максимальное)
Морская платформа проекта 10170	400…800
Рефрижераторное судно «Zenit»	460
Многоцелевое судно «Amke»	160

В воде морей и континентальных водоёмов содержится планктон, который является основой пищевой цепочки. Уничтожение планктона неизбежно приводит к разрыву этой цепочки и, в конечном счете, к уменьшению биологической продуктивности морей, в первую очередь – к уничтожению рыбных запасов. С учётом изложенного необходимо рассмотреть влияние систем охлаждения на планктон и в конечном счете – на рыбные ресурсы, которые имеют тенденцию сокращаться. Так, например, общий вылов рыбы в Азово-черноморском бассейне в 2020 году снизился примерно на 8 % по сравнению с 2019 годом [2].

Размеры планктона изменяются от нескольких микрон до нескольких миллиметров. Изветно, что он практически не имеет возможности противостоять силе всасывания забортной воды в систему охлаждения.

Имеющиеся на судах фильтры забортной воды обычно имеют размеры проходного отверстия 2…4 мм. В результате планктон практически беспрепятственно попадает в систему охлаждения забортной водой [3, 4]. В системе он подвергается интенсивному механическому воздействию, в первую очередь в центробежном насосе, и тепловому воздействию в теплообменных аппаратах.В ходе исследований установлено, что при этом планктон практически полностью погибает [5, 6].

Для морских платформ имеется требование [7] по оснащению СО рыбозащитными устройствами (рисунок 1), например, типа «конусная сетка».

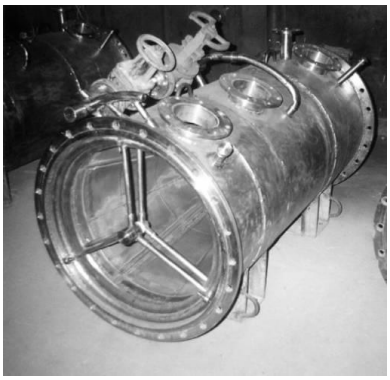


Рисунок 1 – Рыбозащитное устройство типа «конусная сетка»

По данным [8] подобного типа устройства препятствуют попаданию в систему лишь рыб размером более 8…15 мм. Оценки, выполненные в ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского» РАН показали, что СО одной энергетической установки мощностью 5000 кВт морской буровой платформы проекта 10170 в течение года уничтожается около 200 тонн рыбы [9].

Целью исследования является оценка тепловой эффективности работы систем охлаждения энергетических установок с использованием показателя, отражающего мощность энергетической установки, которая может быть обеспечена с одним метром квадратным поверхности устройства теплоотвода.

Материалы и методы исследования. Поскольку на судах наибольшее распространение получили дизельные ЭУ, то в таблице 2 представлены основные характеристики охлаждаемого оборудования. Удельное количество теплоты, отводимой в дизеле охлаждающей водой, составляет 480 – 1000 Вт/кВт [10, 11]. При этом около половины теплоты приходится на долю зарубашечного пространства, а остальное СО с различными схемными решениями.

СО СЭУ могут быть одно- и двухконтурными, но по сравнению с двухконтурной одноконтурная система выгодней с точки зрения экономии при постройке и эксплуатации, а также повышения температурного напора между устройством теплоотвода и забортной водой.

Таблица 2 – Характеристики охлаждаемого оборудования судовой дизельной СЭУ

№ п.п.	Наименование оборудования	Охлаждаемая среда			Охлаждающая среда		
		Тепло-носи-тель	$t_{вых}$ из оборудо вания, °С	Охлажде-ние теплоно-сителя, °С	Тепло-носитель	$t_{вых}$ из оборудования, °С	Подогрев теплоноси теля, °С
1.	Зарубашечное пространство ДВС	металлические поверхности			вода	50-80	6-10
2.	Маслоохладитель	масло	на 70-80 °С выше $t_{вх}$ охлаж. воды	60-70	вода	32-85	5-7
3.	Охладитель наддувочного воздуха	воздух	-	-	вода	32-55	3-10
4.	Охлаждение электрогенератора	воздух	-	-	вода	32	1-2
5.	Установка кондиционирования воздуха	фреон	60-100	30-40	вода	32	2-5
6.	Холодильная машина	фреон	60-100	30-60	вода	32	4-5
7.	Охлаждение компрессоров сжатого воздуха	металлические поверхности			вода	32	вода

Эффективность СО с различным количеством контуров была исследована при этом для оценки численного значения показателя использовалось соотношение затрат на постройку и эксплуатацию к положительному результату – отводимой системой охлаждения теплоте, за рассматриваемый промежуток времени.

Результаты исследования и их обсуждение. Решение проблемы может быть обеспечено за счет широкого внедрения в практику судостроения замкнутых систет озлаждения, исключающих прием забортной воды. Отвод

теплоты СО осуществляется в забортную воду в специальных устройствах теплоотвода [10, 11]. В судостроительной практике в качестве УТ совмещенных с корпусом встречаются случаи использования судовой обшивки, киля судна, насадки гребного винта, пера руля судна и др.

Наибольшее распространение среди данной группы УТ получили судовые обшивочные ТОА, обеспечивающие передачу теплоты через обшивку корпуса судна (рис. 2). При этом обшивка корпуса, элементы набора корпуса судна и дополнительно установленные между элементами набора листы образуют полости – лабиринтные каналы, внутри которых движется охлаждающая жидкость. Такие аппараты сравнительно просты в изготовлении, не нарушают обводы корпуса судна, очищаются и окрашиваются при доковании. Практика показала, что при этом снижаются эксплуатационные затраты и обеспечивается большой срок службы.

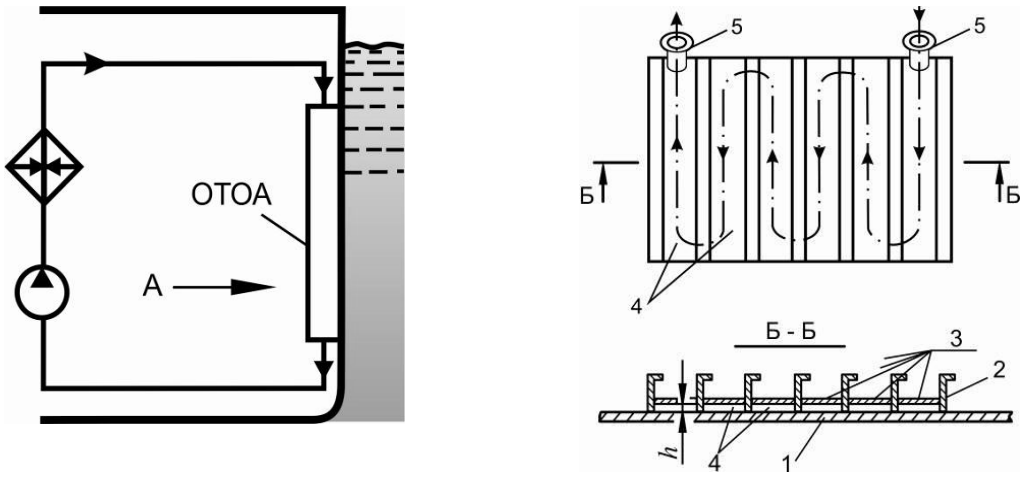


Рисунок 2 – Обшивочный теплообменный аппарат лабиринтного типа:
1 – судовая обшивка; 2 – элементы набора корпуса судна; 3 – дополнительные листы; 4 – лабиринтный канал; 5 – парубки подвода и отвода охлаждаемого теплоносителя

СО должна обеспечивать требуемую степень охлаждения и возможность поддержания в необходимых пределах теплового состояния энергетического оборудования при различных режимах и условиях работы.

На первых этапах проектирования таких систем возникает необходимость в приблизительной оценке тепловой эффективности СО, которая практически определяет возможность теплоотвода в УТ. Для этого может быь использован коэффициент эффективности $\varepsilon_Э$, представляющий собой мощность энергетической установкиNe, отвод теплоты которой обеспечивается УТ площадью F = 1 м^2:

$$\varepsilon_э = Ne/F, \text{ Вт/м}^2.$$

Б.С. Юдовин, рассматривая вопрос создания замкнутых СО для судов ледового плавания, предложил расчет этой величины выполнять по зависимости:

$$\varepsilon_э = Ne \cdot K \cdot \Delta t/Q, \text{ Вт/м}^2,$$

где К – коэффициент теплопередачи устройства теплоотвода, Вт/(м^{2}К);

Q – теплоотвод системы охлаждения, Вт;

Δt – температурный напор в УТ, град.

Учитывая, что:

$$Ne = Q_П \cdot \eta,$$

где $Q_п$ – подведенная с топливом мощность, Вт, η – коэфффициент полезного действия ЭУ, то приведенную выше зависимость можно записать следующим образом:

$$\varepsilon_э = K \cdot \Delta t \cdot \eta/(Q/Q_П), \text{ Вт/м}^2. \quad (1)$$

Значения η, Δt и ($Q/Q_п$) для конкретной СЭУ известны. Возникает необходимость определения значений коэффициента теплопередачи К. Для этого необходимо провести соответствующие экспериментальные исследования.

Проведенные исследования [11] позволили установить, что коэффициент теплопередачи К существенно зависит не только от температурного напора Δt между средней температурой охлаждаемой пресной воды и температурой забортной воды, но и от угла наклона теплоотдающей поверхности.

Обшивочные теплообменные аппараты довольно часто размещаются на днищевой части. Это объясняется тем обстоятельством, что для многих судов технического флота днищевая поверхность по площади существенно больше находящейся в забортной воде бортовой части обшивки корпуса. Поэтому, несмотря на низкие коэффициенты теплоотдачи [11], а соответственно, теплопередачи, через эти участки можно отвести достаточно большое количество теплоты.

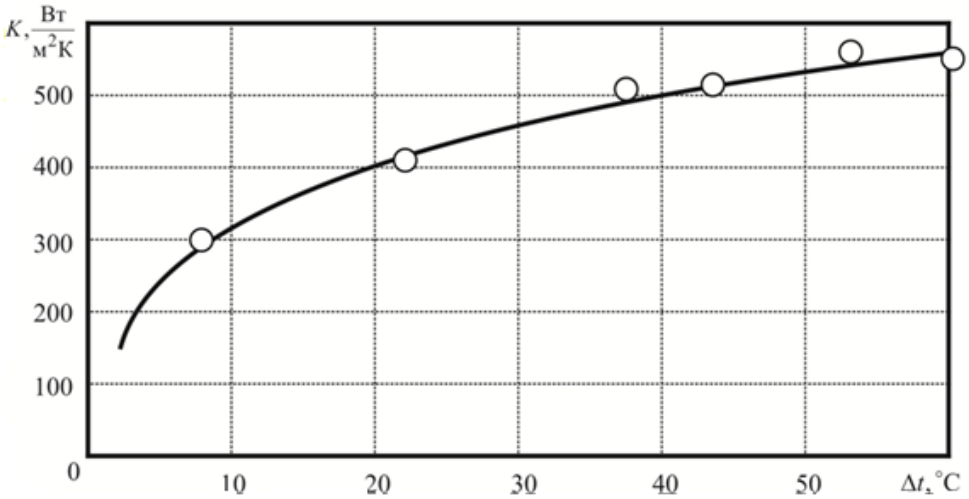


Рисунок 3 – Зависимость *К* от температурного напора Δt при $v_{пв}$ = 1,1 м/с

Выявлено также влияние скорости пресной воды $v_{пв}$ на коэффициент теплопередачи К. В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость:

$$K = 160 \cdot \Delta t^{0,3} \cdot \nu_{ПВ}^{0,15}, \text{ Вт/м}^2.$$

Тогда, после соответствующей подстановки в (1), может быть определено выражение для расчета коэффициента эфффективности:

$$\varepsilon_э = 160 \cdot \Delta t^{1,3} \cdot \nu_{ПВ}^{0,15} \cdot \eta/(Q/Q_П), \text{ Вт/м}^2.$$

Известно, что у лучших образцов современных дизелей η достигает 50…51%. Примерно 28…35 % подведенной теплоты $Q_п$ выбрасывается с отработавшими газами в атмосферу. Величина же $Q/Q_п$ = 14…24 %.

На рисунке 4 в качестве примера представлена зависимость коэффициента эффективности $\varepsilon_Э$от температуного напора Δt, при $Q/Q_п$ = 20 % и η = 45 % и 35%. Наглядно видно, что с увеличением Δt коэффициент эффективности $\varepsilon_Э$ существенно увеличивается. Снижение η однозначно снижает $\varepsilon_Э$.

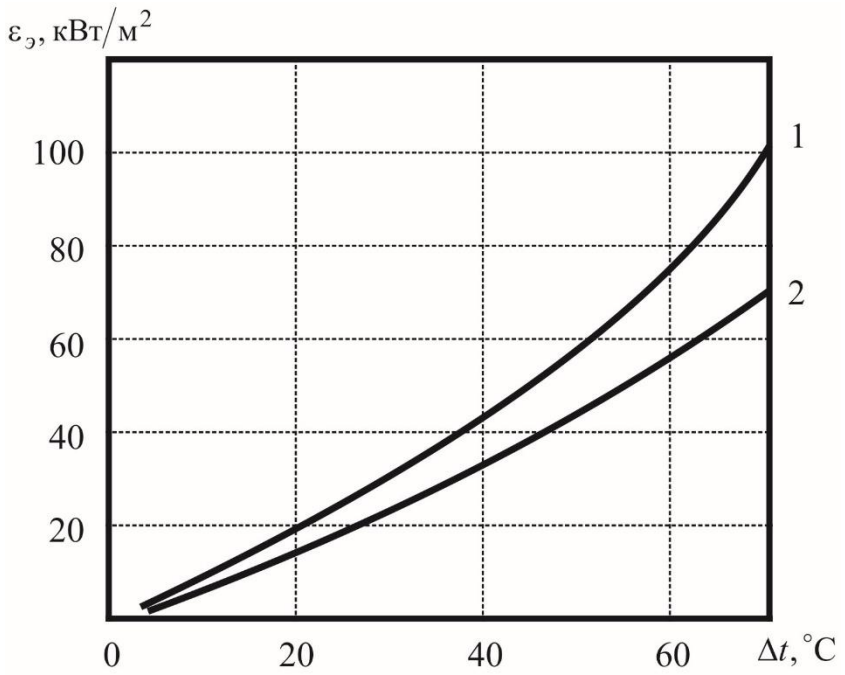


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента эффективности $\varepsilon_Э$ от температурного напора Δt при $Q/Q_п$ = 20 % и $v_{пв}$ = 1 м/с: 1 – η = 45 %; 2 – η = 35 %

Выводы. Таким образом, показатель $\varepsilon_Э$ удобен при проведении предварительных оценок замкнутой системы охлаждения с теплотехнической

точки зрения. Зная этот показатель легко ориентировочно определить требуемую площадь УТ и сопоставить различные варианты системы охлаждения. Так следует учитывать, что замкнутые СО являются более надежными в эксплуатации и экологически безопасными.

Более широкому внедрению таких систем будет способствовать разработка различных методов повышения эффективности их работы. В частности, это связано с построением самой СО, повышением эффективности теплоотвода забортной воде и разработкой системы автоматического управления СО.

Список использованной литературы:

1. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов / ЗАО «Центральный научно-исслед. и проектно-конструкторский ин-т морского флота (ЦНИИМФ)». Санкт-Петербург: ЦНИИМФ. 2009. 28 с.
2. Федеральное агентство по рыболовству. Отрасль в цифрах. URL: https://fish.gov.ru/otrasl-v-tsifrakh/2020/12/30/na-28-dekabrya-rossijskie-rybaki-dobyli-svyshe-4-9-mln-tonn-vodnykh-bioresursov (дата обращения: 19.10.2021).
3. *Гарбаненко О.К.* Оснащение водозаборов морских нефтегазодобывающих платформ рыбозащитными устройствами // Материалы конференции «Нефть и газ арктического шельфа-2008». URL: http://helion-ltd.ru/s-m-part-2/3713-2009-10-14-18-33-05 (дата обращения: 19.10.2021).
4. *Ващинников А.Е., Васильев А.А., Илюшин К.В., Шульгин В.Д.* Новые направления в разработке сетчатых рыбозащитных устройств // Материалы докладов 4-й Всерос. конф. с международным участием. Борок: Акварос, 2010. С. 9-13.
5. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока 2 и 3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104 % от номинальной. Тверь: ООО «Гидротехпроект», 2013. 333 с.
6. *Звягинцев А.Ю., Мощенко А.В.* Морские техноэкосистемы энергетических станций. Владивосток: Дальнаука, 2010. 343 с.
7. *Гарбаненко О.К., Каплин И.В.* Технические решения рыбоохранных мероприятий ОАО ЦКБ «Коралл» // Материалы международной конф. «Нефть и газ арктического шельфа». Мурманск: ММБИ КНЦ РАН. 2008. С. 82-87.
8. *Цыпин В.М., Пшенин Л.Н.* Возможность снижения вредного влияния работы энергетических установок буровых платформ на окружающую среду // Матер. Всесоюзн. конф. «Основы проектирования плавучих буровых установок». ЦНИИ «Румб», 1990. С. 278-283.
9. *Walter H.* Keel Coolers. URL: http://www.waltergear.com/kc.htm (дата обращения: 18.10.2021).
10. *Федоровский К.Ю.* Устройства и системы охлаждения энергетических установок морских технических средств: дис. … д-ра техн. наук: 05.08.05 / Константин Юрьевич Федоровский. Севастополь, 1991. 347 с.
11. *Федоровский К.Ю., Ениватов В.В.* Повышение эффективности систем охлаждения СЭУ с теплоотводом забортной воде // Судовая энергетика: состояние и проблемы: материалы 5-ой междунар. науч.-техн. конф. (10-11 ноября 2011, Николаев). 2011. С. 176-179.

References:

1. *Mezhdunarodnaya konvenciya po predotvrashcheniyu zagryazneniya s sudov* [International convention for prevention of pollution from ships]. St. Petersburg: *CNIIMF Publ*., 2009. 28 p. (In Russian).
2. *Federal'noe agentstvo po rybolovstvu. Otrasl' v cifrah* [Federal Agency for Fisheries. Industry in figures]. (In Russian). URL: https://fish.gov.ru/otrasl-v-tsifrakh/2020/12/30/na-28-dekabrya-rossijskie-rybaki-dobyli-svyshe-4-9-mln-tonn-vodnykh-bioresursov (accessed 19.10.2021).
3. Garbanenko O.K. Osnashchenie vodozaborov morskih nefgazodobyvayushchih platform rybozashchitnymi ustrojstvami [Equipping water intakes of offshore oil and gas platforms with fish protection devices]. *Materialy konferencii «Neft' i gaz arkticheskogo shel'fa-2008»* [Materials of the conference “Oil and gas of the Arctic shelf-2008”]. (In Russian). URL: http://helion-ltd.ru/s-m-part-2/3713-2009-10-14-18-33-05 (accessed 19.10.2021).
4. Vashchinnikov A.E., Vasiliev A.A., Ilyushin K.V., Shulgin V.D. Novye napravleniya v razrabotke setchatyh rybozashchitnyh ustrojstv [New directions in the development of mesh fish protection devices]. *Materialy dokladov 4 Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* [Materials of reports of the 4th All-Russian conference with international participation]. Borok, Akvaros Publ., 2010, pp. 9-13. (In Russian).
5. *Predvaritel'nye materialy po ocenke vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu ekspluatacii energobloka 2 i 3 Kalininskoj AES na moshchnosti reaktornoj ustanovki 104 % ot nominal'noj* [Preliminary materials on the environmental impact assessment of the operation of power units 2 and 3 of the Kalinin NPP at a reactor power of 104 % of the nominal]. Tver, LLC Gidrotekhproekt Publ., 2013, 333 p. (In Russian).
6. Zvyagintsev A.Yu., Moschenko A.V. *Morskie tekhnoekosistemy energeticheskih stancij* [Marine techno-ecosystems of power plants]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2010, 343 p. (In Russian).
7. Garbanenko O.K., Kaplin I.V. Tekhnicheskie resheniya ryboohrannyh meropriyatij OAO CKB «Korall» [Technical solutions for fish protection measures of JSC CDB “Coral”]. *Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Neft' i gaz arkticheskogo shel'fa»* [Materials of the international conference “Oil and gas of the Arctic shelf”]. Murmansk, MMBI KSC RAS Publ., 2008, pp. 82-87. (In Russian).
8. Tsipin V.M., Pshenin L.N. Vozmozhnost' snizheniya vrednogo vliyaniya raboty energeticheskih ustanovok burovyh platform na okruzhayushchuyu sredu [The possibility of reducing the harmful effects on environment of drilling platform power plants]. *Materialy Vsesoyuznoj konferencii «Osnovy proektirovaniya plavuchih burovyh ustanovok»* [Material of all-Union conference: "Fundamentals of the design of floating drilling rigs"]. Central Scientific Research Institute “Rumb” Publ., 1990, pp. 278-283. (In Russian).
9. Walter H. Keel Coolers. (In English). URL: http://www.waltergear.com/kc.htm (accessed 19.10.2021).
10. Fedorovsky K.Yu. *Ustrojstva i sistemy ohlazhdeniya energeticheskih ustanovok morskih tekhnicheskih sredstv. Diss. … dokt. tekhn. nauk* [Devices and cooling systems for power plants of marine technical facilities. Dr. engin. sci. diss.]. Sevastopol, 1991, 347 p. (In Russian).
11. Fedorovsky K.Yu., Yenivatov V.V. Povyshenie effektivnosti sistem ohlazhdeniya SEU s teplootvodom zabortnoj vode [Improving the efficiency of cooling systems for power plant with heat removal to sea water]. *Sudovaya energetika: sostoyanie i problemy: materialy 5 mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii (10-11 noyabrya 2011, Nikolaev)* [Materials of the 5th international scientific and technical conference “Ship power engineering: state and problems” (Nikolaev, November 10-11, 2011). 2011, pp. 176-179. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Федоровский Константин — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Энергоустановки морских судов и сооружений»

Юрьевич	Севастопольский государственный университет 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33 fedkonst@rambler.ru
Fedorovskiy Konstantin Yurievich	Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the department “Power installations of ships and structures” Sevastopol State University 299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33 fedkonst@rambler.ru
Гриненко **Надежда** **Константиновна**	аспирант Севастопольский государственный университет 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33 n.fedorovskaya14@mail.ru
Grinenko Nadezhda Konstantinovna	graduate student Sevastopol State University 299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33 n.fedorovskaya14@mail.ru
Ениватов **Валерий** **Владимирович**	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 valeriy.enivatov@gmail.com
Enivatov Valeriy Vladimirovich	Ph.D. (Engin.), Associate professor at the Department of Ship Power Plants Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 valeriy.enivatov@gmail.com

УДК 621.8 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_230**

Клименко Н.П., Олейникова Р.Е.

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УЗЛАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. В статье приведены критерии, от которых зависит выбор конструктивных параметров приспособления для групповой обработки внешних полукруглых шлицевых канавок деталей машин при обеспечении надежного выполнения технологических процессов изготовления деталей с полукруглыми шлицевыми поверхностями. Рассмотрена особенность технологического процесса обработки внешних полукруглых шлицевых канавок, которая заключается в доступности инструмента к обрабатываемым поверхностям и автоматизация процесса обработки. Уточнена методика расчетной оценки напряжений в шлицевых участках валов, работающих при переменной нагрузке. Уточнение состоит в учете окружной неравномерности распределения нагрузки по зубцам соединения. Разработана математическая модель процесса дорнования полукруглых шлицевых канавок с учетом характера упрочнения материала вала, а также величины смещения шарика относительно центра полукруглой канавки. Представлены теоретические зависимости для определения величины натяга во время поверхностного пластического деформирования, а также усилия дорнования с учетом геометрических параметров системы и характеристик материала обрабатываемого вала.
Ключевые слова: шлицевое соединение, полукруглые шлицевые канавки, надежность элементов, точность изготовления.

Klimenko N.P., Oleynikova R.E.

METHOD FOR ENSURING RELIABILITY OF SPLINE CONNECTIONS USED IN UNITS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE FOOD INDUSTRY

Abstract. In the article criteria from are resulted from which depends the choice of structural parameters of devises key-way group slot half-round external details of machines with provides reliable of technological process of making detail with half-round drove surface. A feature of the technological process of processing external semicircular spline grooves is considered, which consists in the accessibility of the tool to the surfaces to be machined and the automation of the processing process. The method of calculated stress estimation in splined sections of shafts operating at variable load is specified. The clarification is to take into account the circumferential unevenness of the load distribution on the teeth of the connection. A mathematical model of the process of mandrel semicircular spline grooves has been developed, taking into account the nature of the hardening of the shaft material, as well as the magnitude of the displacement of the ball relative to the center of the semicircular groove. The theoretical dependences for determining the value of the interference during surface plastic deformation, as well as the mandrel force, taking into account the geometric parameters of the system and the characteristics of the material of the processed shaft, are presented.
Keywords: splined connection, semicircular splined grooves, reliability of elements, manufacturing accuracy.

Введение. В машинах и аппаратах пищевых производств широко используются разъемные соединения, в том числе и шлицевые, которые в свою очередь требуют обеспечения высокого уровня надежности составных

элементов. Дальнейшее развитие машиностроения в пищевой промышленности сопровождается расширением сферы применения элементов конструкций и деталей машин, которые еще недавно выполняли свое служебное назначение только в машинах достаточно узкой специализации. Такими элементами являются полукруглые шлицевые канавки, спектр применения которых и технические требования к ним расширились настолько, что обработка полукруглых шлицевых канавок в составе деталей машин требует применения групповых методов обработки.

Исследованиям процесса групповой обработки деталей машин и надежному их выполнению посвящены работы ряда авторов [1-3] однако эта технология обработки исследована недостаточно и целый ряд вопросов остается нерешенным.

Цель исследования. Целью данной работы является исследование технологического процесса групповой обработки деталей машин с внешними полукруглыми канавками, с выведением аналитических зависимостей, описывающих эти процессы при изготовлении и восстановлении с надежным выполнением технологических процессов.

Материалы и методы исследования. Шлицевые соединения вал – втулка широко используются в различных отраслях машиностроения, агропромышленного комплекса, и, в частности, в машинах и аппаратах пищевых производств. Износ контактных поверхностей шлицевого соединения – основная причина выхода из строя его элементов. Одним из экономических способов укрепления поверхностного слоя шлицевых соединений является дорнование поверхностного слоя шлицев, выполненных в виде полукруглых канавок. Анализ последних исследований показал, что недостаточно внимания уделено укреплению материала вала при деформировании, а также изменению величины натяжения в зависимости от геометрических параметров обрабатываемого инструмента [2].

При увеличении количества деталей, требующих обработки, экономичным

является одновременная обработка нескольких поверхностей, то есть использование совмещения переходов и одновременной обработки нескольких деталей. Как правило, для обеспечения такого процесса обработки проектируется специальное высокопроизводительное оборудование и приспособление. Такими устройствами могут являться снаряжение для одновременной обработки шлицевых валов с полукруглыми шлицевыми канавками. За один технологический переход обрабатывается партия деталей равная количеству посадочных мест в устройстве или в устройствах-спутниках. После обработки одной поверхности все детали в устройстве проворачиваются на соответствующий угол и устанавливается на следующую операцию. Выгрузка обработанных деталей производится после окончания технологической операции и отвода инструмента в верхнее положение.

Особенностью технологического процесса обработки внешних полукруглых шлицевых канавок является доступность инструмента к обрабатываемым поверхностям и автоматизация процесса обработки.

Количество деталей, содержащих внешние полукруглые шлицевые канавки в машиностроении, непрерывно растет. Для примера полукруглые шлицевые канавки, как наружные, так и внутренние используются в рельсовых направляющих, обеспечивающих линейное перемещение соединительной части, т.е. они используются здесь в качестве рабочих поверхностей.

Рассмотрим случай обработки детали типа "планка", которая содержит лишь одну полукруглую шлицевую канавку и не требующую проворачивания.

Количество деталей, которое можно обработать в приспособлении при групповой обработке, зависит от их геометрических размеров в поперечном сечении и ее можно определить с помощью расчетной схемы (рис. 1.а).

Ограничивающим фактором при размещении деталей в устройстве является габаритный размер обрабатываемой детали в поперечном сечении и его расстояние r (размещение) от оси инструмента. Но не всегда наибольший (габаритный размер) детали будет определять количество деталей при

размещении, поскольку меньшая величина размера размещена на более близком расстоянии от оси обрабатываемого инструмента.

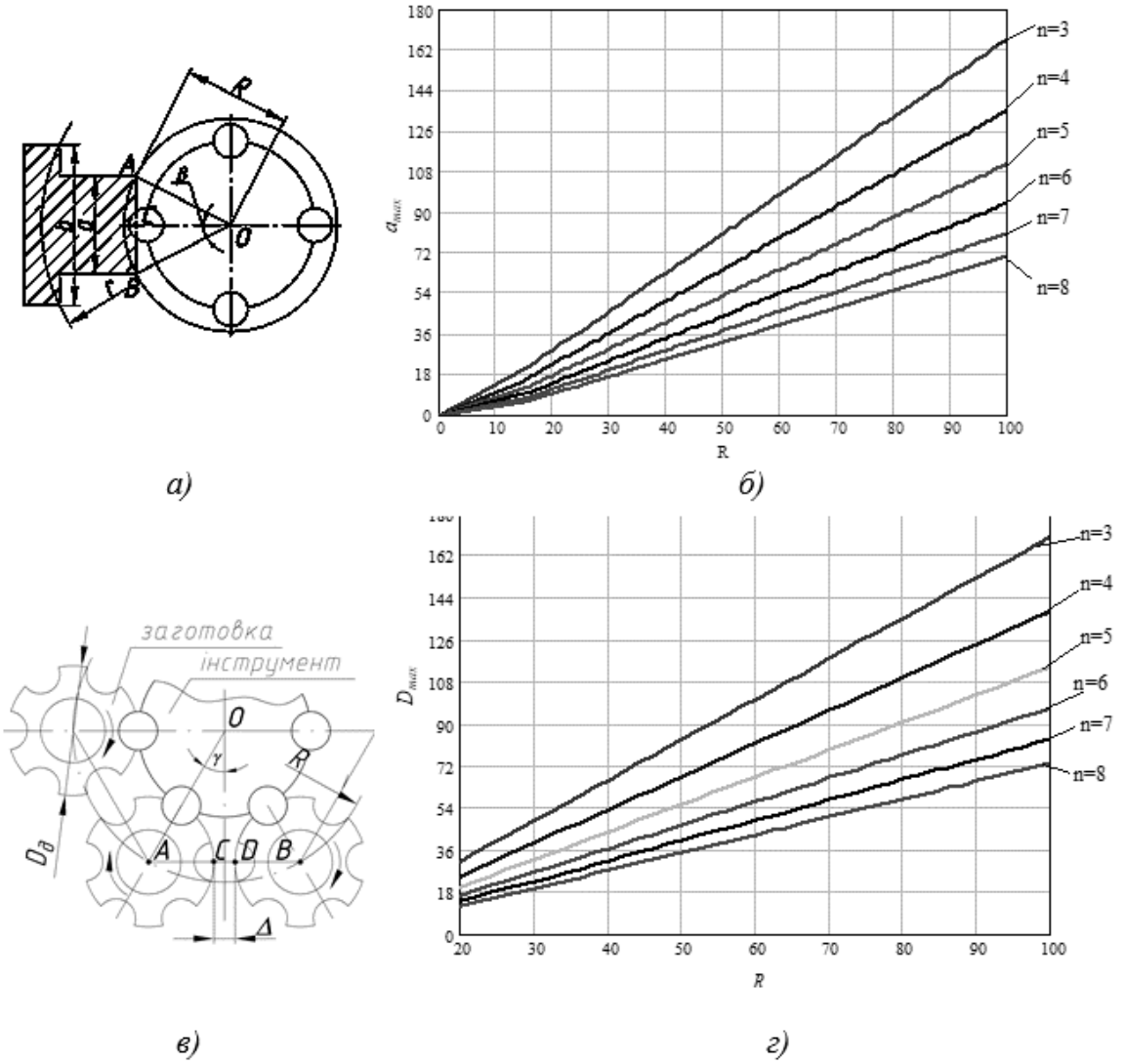


Рисунок 1 – Расчетные схемы и монограммы зависимостей при групповой обработке полукруглых шлицевых канавок в деталях разных типов:

а – монограмма для определения максимального габаритного размера детали в поперечном сечении в зависимости от его размещения и режима загрузки устройства; б – схема обработки полукруглых шлицевых канавок в деталях типа «планка»; в – монограмма для определения максимально возможного диаметра размещения заготовок в устройстве при известном их диаметре и режиме загрузки; г – схема обработки полукруглых шлицевых канавок в деталях типа «вал».

Размер, который оказывает существенное влияние на размещение максимально возможного количества деталей в устройстве есть определяющий. Его можно определить, введя коэффициент заполнения $k_з$, равный отношению размера детали в радиальном направлении к расстоянию, на котором он расположен от оси инструмента, т. е.:

$$k_з = \frac{b}{r}. \quad (1)$$

где b – размер детали, мм;

r – расстояние от оси инструмента до поверхности с размером b.

Определяющим габаритным размером будет тот, коэффициент заполнения которого больше в тех или иных деталях.

Поверхности детали в приспособлении будут соответствовать сторонам правильного многоугольника, вписанного в круг с радиусом R, где угол β будет равен:

$$\beta = \frac{180}{n}; \quad (2)$$

где n – количество деталей при обработке в приспособлении.

Из расчетной схемы получаем:

$$R = OB = \frac{CB}{\sin\beta} = \frac{a}{2\sin\beta}. \quad (3)$$

где a – максимальный габаритный размер детали в поперечном сечении, мм.

Его можно определить по зависимости:

$$a = 2R\sin\frac{180}{n}. \quad (4)$$

Учитывая, что между деталями должен быть гарантированный зазор для их нормального размещения в устройстве, тогда:

$$a_{\max} = 2R\sin\frac{180}{n} - 2\Delta. \quad (5)$$

Величину гарантированного зазора между деталями выбирают в пределах $\Delta = 3\ldots4$ мм.

Используя зависимость (4) можно построить монограмму для определения максимального габаритного размера деталей в поперечном сечении, которые можно обрабатывать в данном устройстве при различных режимах его загрузки ($n = 3 \div 8$) (рис. 1.б).

Посредством данной монограммы, при известном режиме загрузки устройства и расстояния до определяющего размера, можно узнать максимальную величину этого размера. Это позволит конструктору при требуемых режимах загрузки устройства получить диапазон значений допустимых размеров при групповой обработке на этом устройстве.

Результаты исследований и их обсуждение. Дорнование полукруглых шлицевых канавок на валах можно выполнять двумя способами, представленными на рис. 2. Первый способ (рис. 2.а) состоит в том, что центр радиуса шарика совпадает с центром полукруглой канавки в поперечном сечении, второй способ (рис. 2.б) – в смещении центра шарика относительно центра полукруглой канавки [2].

В двух вариантах в поперечном сечении (рис. 2 в) деформация поверхностного слоя сплава происходит неравномерно. Наименьшая деформация возникает в точке К, а самая большая в точке М. При этом деформация металла проходит не только по натяжению на обработку, но и распространяется на толщину деформированного слоя h, определяемую по

формуле [1]:

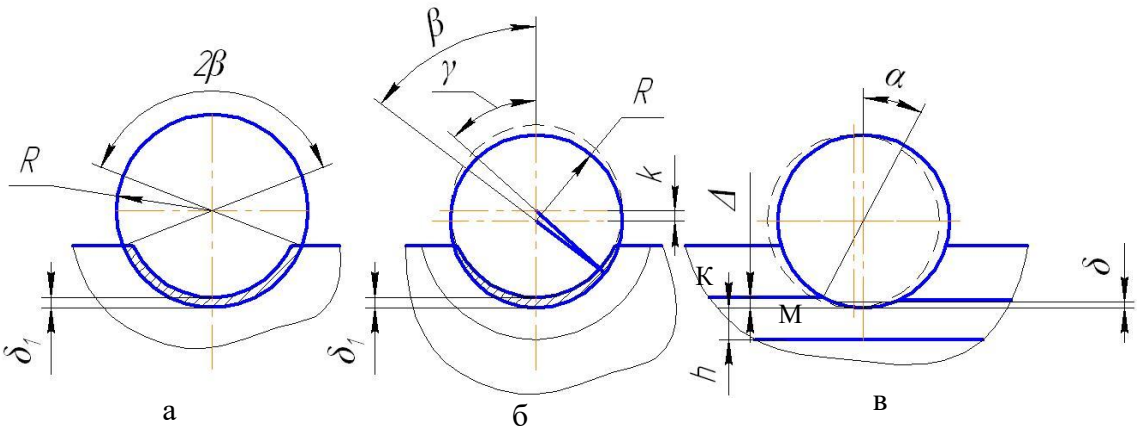


Рисунок 2 – Расчетные схемы дорнования полукруглой канавки шариками:

а – центр шарика совпадает с центром канавки; б – центр шарика смещен относительно центра канавки; в – схема взаимодействия шарика и канавки в поперечном сечении

$$h = 2,6\sqrt{iR}, \tag{6}$$

где i – величина натяжения, мм;

R – радиус шарика, мм.

Кроме этого напряжения, возникающие в деформированном слое, не являются постоянными и возрастают вследствие укрепления материала и аппроксимируются следующей зависимостью:

$$\sigma_s = \sigma_{TO} + \Pi \cdot \varepsilon, \tag{7}$$

где σ_{TO} – экстраполированный предел текучести материала вала, МПа;

Π – модуль упрочнения материала заготовки, МПа;

ε – логарифмическая деформация.

Логарифмическую деформацию находим по формуле:

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right), \tag{8}$$

где h_0 – начальная толщина деформированного слоя, мм;

h_1 – величина деформированного слоя по дуге взаимодействия шарика и материала заготовки, мм.

Начальную толщину деформированного слоя находим следующим образом:

$$h_0 = h + \Delta, \tag{9}$$

где Δ – натяжение на деформацию, мм;

Величина деформированного слоя по дуге взаимодействия шарика и материала заготовки:

$$h_1 = h + \delta, \tag{10}$$

где δ – величина натяжения деформации по дуге взаимодействия шарика и материала заготовки в продольном направлении, мм.

Определяем величину натяжения деформации по дуге взаимодействия шарика и материала заготовки в продольном направлении:

$$\delta = R(1 - \cos\alpha), \tag{11}$$

где α – угол взаимодействия шарика и полукруглой канавки в продольном направлении, рад.

В результате получаем:

$$\sigma_s = \sigma_{TO} + \Pi \cdot \ln\left(\frac{h+\Delta}{h+R(1-\cos\alpha)}\right). \quad (12)$$

Вследствие больших усилий деформирования, приводящих к пластической деформации детали, коэффициент трения будет иметь значительное влияние, потому что даже при наличии смазочных веществ вследствие их выдавливания из места контакта будет иметь место режим сухого трения с большим коэффициентом трения.

Значение усилия дорнования не носит стабильного характера. Оно изменяется в зависимости от количества рабочих частей, участвующих в обработке канавок детали.

Рассмотрим пример групповой обработки шлицевых валов с полукруглыми шлицевыми канавками (рис.1.в). Максимальное количество деталей, которое можно разместить в устройстве, будет определяться диаметрами деталей $D_д$, радиусом размещения деталей от оси инструмента r и гарантированным зазором Δ, который принимается для обеспечения проворачивания деталей.

Проведя анализ расчетной схемы, видим (рис.1в), что, соединив центры обрабатываемых деталей отрезками получим правильный n-угольник с количеством сторон равной количеству обрабатываемых деталей в устройстве. Круг с радиусом R, на котором расположены детали от оси обрабатываемого инструмента, будет описан вокруг этого правильного n-угольника и проходить через центры деталей.

Радиус *R* определяется из формулы:

$$R = \frac{AB}{2\sin\frac{180}{n}}. \qquad (13)$$

Так как $AB = D_\partial + \Delta$, то:

$$R = \frac{D_\partial + \Delta}{2\sin\frac{180}{n}}; \qquad (14)$$

где D_∂ – диаметр заготовки, мм;

Δ – гарантированный зазор $\Delta = 3..4$ мм.

Отсюда определим следующее значение:

$$D_{\partial.\max} = 2\sin\frac{180}{n} \cdot R - \Delta. \qquad (15)$$

Подставив в формулу (6) диапазон значений радиусов размещений деталей в устройстве R и зная режим его загрузки n, можем определить максимально возможный диаметр заготовки для обработки (рис.1.в).

На основе анализа произведенных расчетов можно привести несколько рекомендаций:

– обрабатываемые детали в устройстве должны быть размещены симметрично относительно оси инструмента. При этом обеспечивается компенсация от сил деформирования, возникающих при обработке, что в свою очередь увеличивает точность обработки деталей в устройстве и обеспечивается надежное выполнение технологического процесса;

–количество деталей должно определяться в зависимости от определяющего габаритного размера и необходимого режима загрузки устройства.

Наличие значений коэффициента окружной неравномерности [4-7], зависящего от максимального зазора ($\Delta_{\max}$), позволяет рассчитывать величину

нормальных растягивающих напряжений у основания наиболее нагруженных зубьев по формуле, вытекающей из (3) и (4):

$$\sigma_p = \frac{6M_к \cdot K_н}{d \cdot ZB \cdot m}. \tag{16}$$

Эти напряжения действуют по направлению касательной к контуру зуба, положение которой определяется величиной угла β, образуемого касательной с радиальным направлением.

Максимальные напряжения, действующие в основании эвольвентных зубьев, возникают в зоне, соответствующей β = 30-40°.

Напряжение σ_p действует на перпендикулярной поперечному сечению вала элементарной площадке, направление которой совпадает с осью n.

Рассмотрим напряженное состояние на площадке, перпендикулярной к поперечному сечению вала, направленной в радиальном направлении и расположенной под углом $\alpha = \pi/2 - \beta$ к оси n. В силу известных зависимостей [8-9] нормальные σ_r и касательные τ_r напряжения на этой площадке определяются по формулам:

$$\sigma_r = \sigma_p \cdot \cos^2 \alpha, \tag{17}$$

$$\tau_r = \frac{\sigma_p}{2} \cdot \sin 2\alpha. \tag{18}$$

В силу наличия в поперечном сечении вала касательных напряжений $\tau_к = M_к / W_p$ обусловленных кручением, по закону парности на рассматриваемой радиальной площадке будет действовать и эта составляющая. На продольной радиально ориентированной площадке напряженное состояние

определяется нормальным напряжением σ_r и двумя компонентами касательного напряжения τ_r и $\tau_к$. Нагруженность по касательным напряжениям можно оценивать величиной полного касательного напряжения

$$\tau = \sqrt{\tau_r^2 + \tau_к^2}. \tag{19}$$

Усталостное разрушение не наступает, если выполняется условие [8-10]:

$$\sqrt{\sigma_{ar}^2 + \left(\frac{\sigma_{-1}}{\tau_{-1}}\right)^2 \cdot \tau_a^2} < \sigma_{-1}. \tag{20}$$

В качестве критерия переменной нагруженности можно принять величину, находящуюся в левой части неравенства (18), которую можно считать приведенной амплитудой нормальных напряжений σ_{an} и при расчете на усталость сравнивать с пределом выносливости σ_{-1} материала [2-5].

С помощью предложенной методики был проведен расчет величины приведенной амплитуды нормальных напряжений σ_{an} на режимах нагружения цапфы, реализованных при усталостных испытаниях и различных значениях максимального окружного зазора в шлицевом соединении $\Delta_{\max}$.

Выводы. На основании проведенных исследований можно подвести следующие итоги:

- при размещении обрабатываемых деталей в устройстве симметрично относительно оси инструмента обеспечивается компенсация от сил деформирования, возникающих при обработке. Данная операция в свою очередь увеличивает точность обработки деталей в устройстве и обеспечивается надежное выполнение технологического процесса;

- количество деталей должно определяться в зависимости от определяющего габаритного размера и необходимого режима загрузки устройства;

- приведенные монограммы позволяют произвести выбор диапазона размеров деталей в поперечном сечении, которые могут обрабатываться в данном устройстве при известном определяющем размере детали и режиме загрузки устройства.

Список использованной литературы:

1. *Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л.* Надежность машин в задачах и примерах. Харьков: ОКО, 2001. 319 с.
2. *Егоров М.Е., Дементьев В.И., Дмитриев В.Л.* Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1976. 535 с.
3. *Мельников Н.Ф., Бристоль Б.Н., Дементьев В.И.* Технология машиностроения. М.: Машиностроение, 1977. 327 с.
4. *Клименко Н.П., Гринченко А.С., Алферов А.И., Калинин Е.И.* Оценка влияния точности изготовления на долговечность шлицевых соединений. Проблемы и перспективы технических наук: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: АЭТЕРНА, 2015. С. 83-87.
5. *Клименко Н.П., Иванов В.И., Концевич А.А.* Результаты натурных испытаний шлицевых валов на усталостную прочность. Проблемы и перспективы технических наук: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: АЭТЕРНА, 2015. С 80-83.
6. *Гринченко А.С.* Механическая надежность мобильных машин: Оценка, моделирование, контроль. Х.: Віровець А.П., «Апостроф», 2012. 259 с.
7. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т. 5: Проектный анализ надежности / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. М.: Машиностроение, 1988. 316с.
8. *Капур К., Ламберсон Л.* Надежность и проектирование систем. М.: Мир, 1980. 604 с.
9. *Коллинз Дж.* Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. М.: Мир, 1984. 624 с.
10. *Gorban A.* (ed.) Principal Manifolds for Data Visualization and Dimension Reduction // Lecture Notes in Computational Science and Engineering. 2007. Vol. 58. 336 p.

References:

1. Anilovich V.Ya., Grinchenko A.S., Litvinenko V.L. *Nadezhnost' mashin v zadachah i primerah* [Reliability of machines in tasks and examples]. Har'kov, OKO Publ., 2001, 319 p. (In Russian).
2. Egorov M.E., Dement'ev V.I., Dmitriev V.L. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Mechanical engineering technology]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1976, 535 p. (In Russian).
3. Mel'nikov N.F., Bristol' B.N., Dement'ev V.I. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Mechanical engineering technology]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977, 327 p. (In Russian).
4. Klimenko N.P., Grinchenko A.S., Alferov A.I., Kalinin E.I. Ocenka vliyaniya tochnosti izgotovleniya na dolgovechnost' shlicevyh soedinenij [Assessment of the influence of manufacturing accuracy on the durability of spline joints]. *Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Problemy i perspektivy tekhnicheskih nauk»* [Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference “Problems and prospects of technical sciences”]. Ufa, AETERNA Publ., 2015, pp. 83-87. (In Russian).

5. Klimenko N.P., Ivanov V.I., Koncevich A.A. Rezul'taty naturnyh ispytanij shlicevyh valov na ustalostnuyu prochnost' [Results of full-scale tests of spline shafts for fatigue strength]. *Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Problemy i perspektivy tekhnicheskih nauk»* [Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference “Problems and prospects of technical sciences”]. Ufa, AETERNA Publ., 2015, pp. 80-83. (In Russian).
6. Grinchenko A.S. Mekhanicheskaya nadezhnost' mobil'nyh mashin: Ocenka, modelirovanie, control'[Mechanical reliability of mobile machines: Assessment, simulation, control]. Har'kov, Virovec A.P., Apostrof Publ., 2012, 259 p. (In Russian).
7. Patrushev V.I., Rembeza A.I. (eds.) *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik. T.5: Proektnyj analiz nadezhnosti* [Reliability and efficiency in engineering: Handbook. Vol. 5: Design analysis of reliability]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 316 p. (In Russian).
8. Kapoor K., Lamberson L. *Nadezhnost i proektirovanie system* [Reliability and system design]. Moscow, Mir Publ., 1980, 604 p. (In Russian).
9. Collins J. *Povrezhdenie materialov v konstruktcijakh. Analiz, predskazanie, predotvrashchenie* [Damage to materials in structures. Analysis, prediction, prevention]. Moscow, Mir Publ., 1984, 624 p. (In Russian).
10. Gorban A. (ed.) Principal Manifolds for Data Visualization and Dimension Reduction. *Lecture Notes in Computational Science and Engineering*, 2007, vol. 58, 336 p. (In Russian).

Сведения об авторах/ Information about the authors

Клименко Николай Петрович	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 seykgmtu@gmail.com
Klimenko Nikolai Petrovich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor at the Department of marine power plants Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 seykgmtu@gmail.com
Олейникова Раиса Евгеньевна	ассистент кафедры машин и аппаратов пищевых производств Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 oleynikova_raisa@mail.ru
Oleynikova Raisa Evgenievna	assistant of the Department of machines and apparatus for food production Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 oleynikova_raisa@mail.ru

УДК 532.5; 62-7 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_244**

Уколов А.И., Семёнова А.Д.

ГИДРОКАВИТАЦИОННАЯ ПОДГОТОВКА МОРСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕПЛОМАССООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Аннотация. Использование морской воды взамен традиционных жидкостей, применяемых в технологических машинах и аппаратах, гидравлике, важная и перспективная задача, которая носит экологический, экономический и социальный характер. В работе впервые выполнены измерения *in situ* растворенного кислорода, солености и температуры в процессе гидродинамической кавитации естественной морской воды. Получены зависимости этих величин от времени работы гидрокавитационного устройства и после выключения насоса. Показано, что эффект кавитации влияет на концентрацию растворенных газов в воде и приводит к ее необратимому снижению. Изменение солености, наблюдаемое в процессе кавитации, возможно, связано с косвенными факторами, влияющими на работу измерительного датчика, и требуют дальнейшего подтверждения. Согласно температурной зависимости нагрева и охлаждения морской воды в процессе кавитации рассчитано КПД данного явления. Рассмотрены возможности использования эффекта кавитации для тепломассообменного оборудования пищевых производств.
Ключевые слова: кавитация, морская вода, растворенный кислород, соленость, температура, коррозия, теплообмен.

Ukolov A.I., Semenova A.D.

HYDROCAVITATION TREATMENT OF SEAWATER FOR USE IN HEAT AND MASS TRANSFER EQUIPMENT FOR FOOD PRODUCTION

Abstract. The use of seawater instead of traditional fluids used in technological machines and apparatus, hydraulics, is an important and promising task, which is ecological, economic and social in nature. In this work, for the first time in situ measurements of dissolved oxygen, salinity and temperature in the process of hydrodynamic cavitation of natural seawater were carried out. The dependences of these values on the operating time of the hydro-cavitation device and after the pump is turned off are obtained. It is shown that the effect of cavitation affects the concentration of dissolved gases in water and leads to its irreversible decrease. The change in salinity observed during cavitation is possibly associated with indirect factors that affect the operation of the measuring sensor and require further confirmation. According to the temperature dependence of the heating and cooling of seawater in the process of cavitation, the efficiency of this phenomenon is calculated. The possibilities of using the effect of cavitation for heat and mass transfer equipment of food production are considered.
Keywords: cavitation, sea water, dissolved oxygen, salinity, temperature, corrosion, heat transfer.

Введение. Нехватка воды – серьезная мировая проблема, вызванная сочетанием роста населения, индустриализацией, загрязнением окружающей среды и ненадлежащим использованием повторного применения. В настоящее время более двух миллиардов человек во всем мире страдают от сильной нехватки воды. Поэтому все более важными становится инновационные методы

переработки технической, морской и сточной воды для обеспечения ее качества.

Использование морской воды в качестве альтернативы подпиточной воды в системах теплообменных аппаратов, тепловых насосов, градирен резко возросло за последние десятилетия в мировой практике. Кроме того, актуальным остается вопрос о подготовке морской воды перед опреснением или дистилляцией с целью снижения энергетических затрат и пагубного влияния коррозии и биологических микроорганизмов на элементы конструкции установок.

Морская вода состоит из сложной матрицы органических и неорганических веществ. Присутствие многовалентных ионов в морской воде увеличивает электрическое сопротивление ионообменных мембран. Многовалентные ионы несут риск образования накипи, осаждения и отложения их солей из-за низких пределов растворимости многовалентных ионов в воде.

Очистка воды включает несколько стадий. Этот процесс обычно включает: фильтрацию, седиментацию, хлорирование и т.п. Чтобы преодолеть недостатки стандартных химических и физических методов, исследователи предложили несколько новых технологий, таких как УФ-светодиоды [1], ионизация медь-серебро [2], электрохимия [3], фотокатализ [4], солнечная энергия [5], нанокомпозит [6] и кавитация [7].

Кавитация считается многообещающим экологически безопасным методом очистки и дезинфекции воды [8]. Явление кавитации – это быстрый процесс фазового перехода, включающий образование, рост и схлопывание пузырьков в жидкости за довольно короткий период. Во время схлопывания пузырьков происходит огромное выделение энергии в виде механических, термических и химических воздействий.

Гидродинамическая кавитация (ГК) широко рассматривается как технология для больших масштабов производства, с хорошей масштабируемостью, простой конструкцией и низкой ценой [9]. В случае ГК, ускорение потока жидкости вызывает локальный перепад давления, который

приводит к образованию пузырьков газа, если давление падает ниже давления насыщенного пара при температуре жидкости. В зависимости от условий потока размер, образующихся кавитационных пузырьков обычно варьируется от нескольких нанометров до нескольких миллиметров. Когда пузырек образуется, большую часть энергии отдает жидкость, окружающая его. Эта энергия освобождается, когда пузырек проходит через стадию рекуперации давления. При одинаковом размере пузырька градиент давления определяет интенсивность схлопывания. В зависимости от градиента давления эта энергия выделяется в разном масштабе времени. Различные условия кавитации приводят к разным эффектам и интенсивности. Свойства кавитации могут варьироваться в зависимости от распределения давления вдоль погружаемого тела, скорости потока и свойств жидкости (температура, плотность, вязкость и поверхностное натяжение) и качества (количества твердых частиц и количества растворенных газов, которые могут действовать как зародыши). Условия потока и геометрия кавитатора определяют поведение кавитации и ее характеристики.

Кроме того, за последние два десятилетия гидравлические устройства с морской водой привлекли особое внимание как инновационная техника. Гидравлическая система морской воды имеет функцию самокомпенсации давления, которая часто проектируются в системе с открытым контуром. Поэтому такое устройство пригодно для применения в океанической технике и глубоководной подводной аппаратуре [10-12]. Преимуществом подобного рода машин и аппаратов является использование устройств высокого давления. Следовательно, эффект ГК для обработки морской воды может быть включен технический процесс без существенного переоборудования и не потребует больших затрат.

Более подробно мы рассмотрим вопрос о подготовке морской воды для тепломассообменного оборудования пищевых производств. Вода в теплообменных аппаратах применяется для нагрева, охлаждения, испарения, конденсации технологических потоков. Использование воды в производстве и

переработке пищевых продуктов реализовано при сушке, выпарки, экстракции, ректификации и других теплообменных процессов. Замена чистой, пресной подпиточной воды морской в технологических линиях производства важная задача. Особенно ее решение актуально для морских районов, где существует нехватка питьевой воды.

Таким образом, **цель данной работы** – исследовать физико-химические свойства морской воды, обработанной гидродинамической кавитацией. В представленной статье мы сосредоточились на измерениях растворенного кислорода, солености и температуры естественной морской воды в процессе истечения затопленной струи в кавитационном режиме. Рассмотрим применение полученных результатов для оптимизации работы теплообменных машин и аппаратов.

Материалы и методы исследования. В эксперименте использовался естественная морская вода, набранная в районе Керченского пролива. Время между забором проб и обработкой воды ГК не превышало 1 часа. Кавитация в потоке жидкости создавалась по схеме, описанной в работах [13-15]. Морская вода при помощи центробежного насоса (1) через специальное сопло-кавитатор (2) нагнеталась в емкость (рис.1), которая соединена с входом насоса (3). Давление на входе в сопло-кавитатор 3 атм. Объем воды 12 л. Время обработки 70 мин.

Физико-химические свойства воды до и после обработки ГК исследовались с помощью комбинированного анализатора качества воды AZ EB 86031 pH/ COND./ SALT/ DO Meter. Комбинированный измеритель воды AZ EB 86031 может измерять pH, проводимость или соленость (Solt) ((4) на рис.1), и растворенный кислород (DO) ((5), на рис.1), в зависимости от того, какой тип зонда присоединен к измерителю. Зонд DO перед измерениями калибровали 100% содержания кислорода в атмосфере. Перед калибровкой прибор был включен на 10 мин, для поляризации мембран.

Результаты исследования и их обсуждение. После запуска насоса в емкости образуется затопленная кавитирующая струя (рис. 1). Измерительные зонды Solt (4) и DO (5) выполняют измерения *in situ* в процессе обработки ГК.

Рисунок 1 – Установка кавитационной обработки морской воды

Растворенный кислород. В мировой практике влияние кавитации на содержание кислорода довольно противоречивый вопрос. Большинство авторов [16,17] утверждают, что кавитация обогащает жидкость кислородом. Однако, есть работы показавшие деаэрационный эффект кавитации [15,18]. На рисунке 2 показан график зависимости содержания растворенного кислорода в морской воде от времени. DO на момент запуска насоса составил 4,5 мг/л. ГК обработка резко увеличило это значение и через 10 мин DO составил 7,6 мг/л. Продолжение работы установки приводит к плавному снижению и стабилизации DO около 5,5 мг/л через 60 мин обработки.

В момент времени 70 мин насосная установка выключалась, но измерения выполнялись еще 70 мин. В процессе отстоя DO быстро снижался и оставался постоянным на уровне 3 мг/л.

Соленость. Мы не обнаружили в литературе сообщений о влиянии кавитации на примесные молекулярные соединения в воде. На рисунке 3 показана зависимость солености (Solt) морской воды от времени обработки ГК. Начальное значение Solt=13,7 мг/л. Через 10 минут после запуска насоса зонд зафиксировал самый низкий результат Solt=10,3 мг/л. В течении следующего часа обработки показания прибора вернулись на начальное значение. Выключение насоса и отстой морской воды не внес значительных изменений в эти результаты.

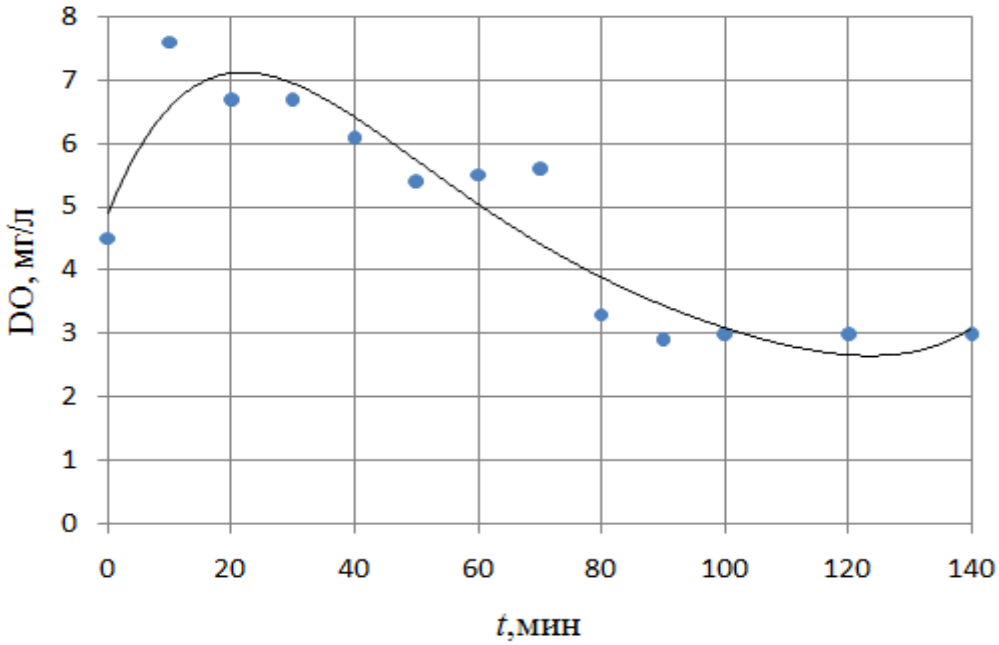


Рисунок 2 – График зависимости растворенного кислорода в морской воде от времени обработки кавитацией

Температура. Получения избыточной энергии в процессе кавитации вопрос спорный и не раз обсуждался в литературе [19]. С одной стороны это противоречит классическому закону сохранения энергии. Однако есть авторы, которые утверждаю о необходимости использования закона сохранения масс вместе с законом сохранения энергии [20] для обоснования теплового эффекта кавитации. Нами выполнены собственные измерения и расчеты согласно измерениям температуры процессе обработки ГК. На рисунке 4 показан график

зависимости температуры морской воды от времени кавитации. Температура растет по закону близкому к линейному, и за час работы достигла 40,3^{0}С. Количество теплоты необходимое для нагрева морской воды можно рассчитать по формуле:

$$dQ_{\text{н}} = cmdT, \tag{1}$$

где $c = 3780$ Дж/кг$\cdot$ ^{0}С – удельная теплоемкость морской воды; $m = \rho V$ – масса вещества, равная произведению плотности морской воды $\rho = 1030$ кг/м^3 на ее объем. Тогда $dQ_{\text{н}} = 887695{,}2$ Дж.

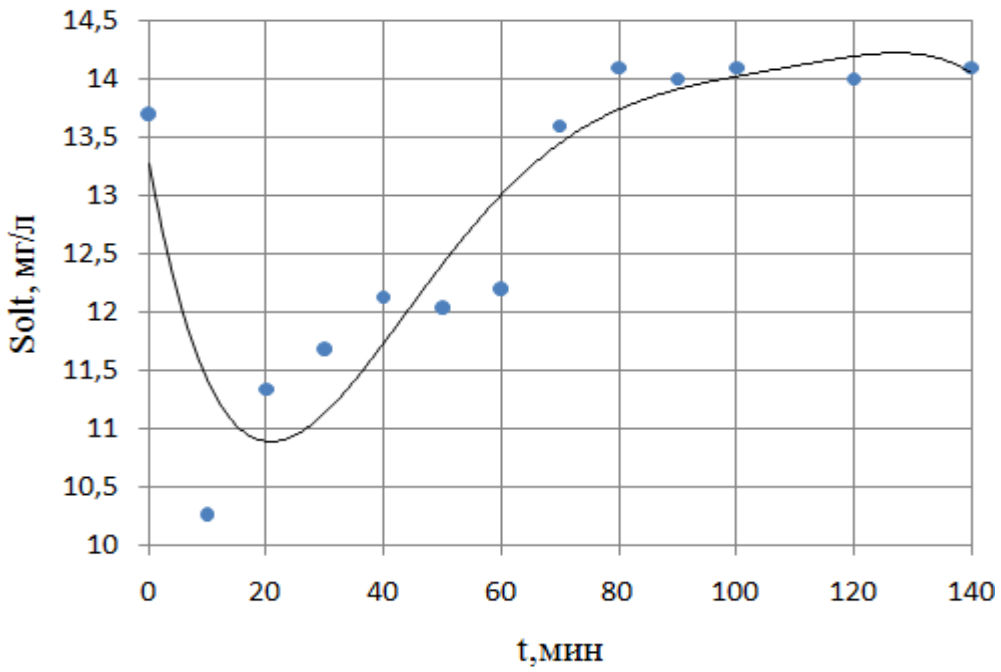


Рисунок 3 – График зависимости солености морской воды от времени обработки кавитацией

Потери в окружающую среду были вычислены через тепловой поток q, отданный при охлаждении воды после выключения насоса. На рисунке 5 график зависимость температуры морской воды в емкости от времени отстоя. Для простоты решения мы выполнили линейное приближение и определили q как:

$$q = \frac{dQ_п}{dt} = cm\frac{dT_п}{dt}. \quad (2)$$

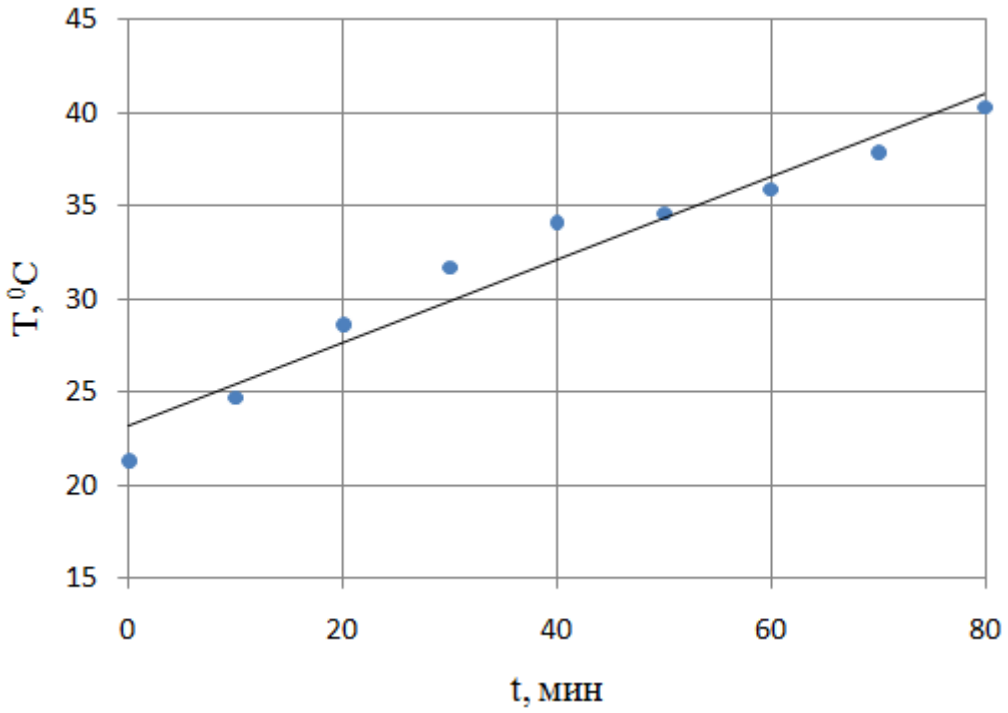


Рисунок 4 – График зависимости температуры морской воды от времени обработки кавитацией

Тогда $dQ_п = 152845$ Дж за час охлаждения воды. Таким образом, результирующая теплота, полученная за счет кавитации и механолиза воды насосом:

$$dQ = dQ_н + dQ_п = 1040540{,}2 \text{ Дж} \approx 1\text{МДж}$$

Мощность насоса, используемого в эксперименте, P = 1200 Вт. Следовательно, за час работы затрачивается $E_з$=4,32 МДж энергии. По полученным результатам можно оценить КПД такого нагрева:

$$\eta = \frac{dQ}{E_з} = 23\ \%. \quad (3)$$

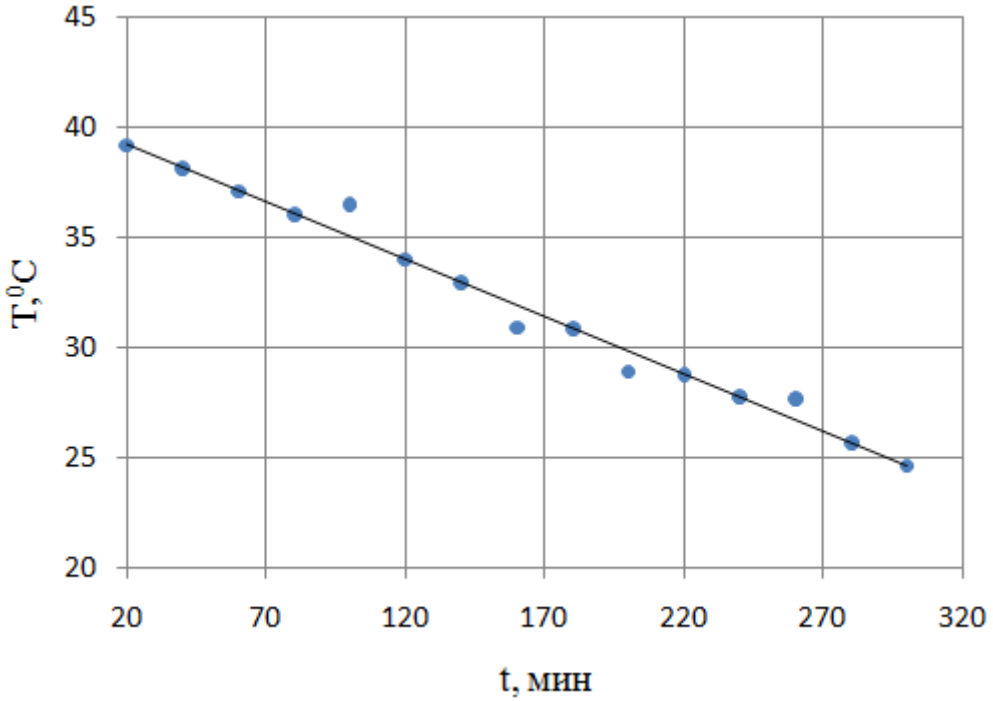


Рисунок 5 – График зависимости температуры морской воды от времени отстоя после обработки кавитацией

При анализе полученных результатов измерения (рис. 2-5) мы должны учитывать физический принцип работы, используемых приборов. Например, измерение солёности основано на определение проводимости жидкости. Таким образом, солемер выступает как кондуктометр. Чем больше проводимость жидкости, тем выше солёность воды. Однако прибор не может определить, чем именно вызвано изменение проводимости. Поэтому снижение солёности, в первые 30 мин (рис. 3), вполне может быть вызвано увеличении доли кислорода. Тем более, уровень солёности восстанавливается после выключения насоса и отстоя. Таким образом, утверждать об опреснительном действии кавитации пока не стоит.

Однако теоретически можно предположить, что именно в процессе схлопывания кавитационного пузырька локально выделяется энергия способная превысить энергию связи молекул соли:

$$NaCl = Na + Cl - 419\text{кДж/моль}. \quad (4)$$

Тогда атомарным Na и Cl следует обеспечить только выход из морской воды (выпадение в осадок и газообразование) или же будет наблюдаться процесс рекомбинации атом и образование молекулы. Возможно, мы это и наблюдаем на зависимости (рис. 3).

Оксиметр работает по принципу электрохимического метода определения концентрации растворенного кислорода, который посредствам диффузии проникает через мембрану в датчик. Мембрана непроницаема для других примесей, соответственно возможные помехи в измерение DO может оказать только температура. Нагревание воды более медленный процесс (рис.4), следовательно, рост DO обусловлен эффектом кавитации. Зарождение кавитационных пузырьков происходит на растворенных в жидкости газах, которые служат ядрами кавитации. Образование пузырьков способствует активации и коагуляции газов, что и вызывает увеличение показаний датчика DO (рис. 2). Рост газовых включений способствует их выходу на открытую поверхность и растворение в атмосфере. Поэтому содержание кислорода снижается при длительной работе насоса и после его выключения. Это процесс необратимый и DO после обработки кавитацией снижается на 60-70 %.

Влияние деаэрации подпиточной воды на коррозию материалов испарителя и теплообменника. Кислородная коррозия – одна из наиболее серьезных проблем, с которой сталкивается оборудование тепломассообменных процессов при использовании морской воды [21]. Реакция между металлом и кислородом в присутствии электролита (морской воды) носит электрохимический характер. Поскольку реакция обычно проявляется локализовано, из-за преобладания хлоридов в морской воде, присутствие даже низкой концентрации кислорода может привести к разрушению металла. Эффективное удаление кислорода является важным этапом поддержания надежности производственной системы. Требуемая защита от кислородной коррозии может быть улучшена путем кавитационной деаэрации морской воды с последующим химическим разрушением при помощи поглотителя кислорода.

В установках многоступенчатого теплообмена всегда существует вероятность коррозии, если концентрация растворенного кислорода не поддерживается на определенном минимуме. Коррозия может быть в трубках теплообменника, сделанных из сплавов на основе никеля, в камерах испарения, из нержавеющих или малоуглеродистых сталей. Чтобы свести к минимуму вероятность коррозии на установках, уровень растворенного кислорода в подпиточной воде не должен превышать 0,02 мг/кг.

Между скоростью коррозии низкоуглеродистых сталей и DO существует линейная зависимость [22]:

$$Co = 35DO - 19{,}2 \tag{5}$$

где Co – скорость коррозии в миллидюймах в год (млд/г). Согласно нашим результатам кавитационная обработка может снизить скорость коррозии до 80 млд/г. Это значение еще далеко от желаемого, которое должно быть менее 20 млд/г. Однако эффект кавитации может быть использован как вспомогательный этап деаэрации, который не требует дополнительных затрат.

Важно отметить, что механизмы коррозии конструкционных материалов тепломассообменного оборудования пищевых производств носят различный характер. Стойкость к коррозии или окислению химически активных материалов, таких как железо, сталь и титан, зависит главным образом от образования термодинамически стабильной и механически адгезивной оксидной пленки, которая действует как защитный барьер между металлом и корродирующей средой. Для образования такой пленки присутствие кислорода является существенным требованием. В случае железа или стали на поверхности металла при воздействии сухого воздуха образуется тонкая невидимая оксидная пленка толщиной до 5 нм. Когда металл впоследствии вступает в контакт с водой, эта пленка обычно локально разрушается и образуется ряд ячеек коррозии. Для того, чтобы тонкая защитная пленка постоянно

восстанавливалась, требуется значительная концентрация кислорода на поверхности металла. Когда нержавеющая сталь, с тонкой оксидной пленкой, погружается в воду, содержащую кислород, устанавливается динамическое равновесие между попеременным разрушением и восстановлением пленки. Однако, если такой процесс прекращается из-за недостатка кислорода, коррозия может иметь скоростью, сравнимую со скоростью коррозии чугуна или низкоуглеродистой стали (5).

Для меди и ее сплавов удовлетворительная работа в морской воде зависит от образования относительно тонких пленок закиси или карбоната меди. Для поддержания такой пленки всегда требуется минимальная концентрация кислорода в воде.

Аустенитная нержавеющая сталь или медно-никелевые сплавы обычно используются в испарителях, сушках, дистилляторах и опреснительных установках, где морская вода нагревается при низком давлении. Эти сплавы выдерживают морскую воду, которая содержит 30–40 мг/л NaCl и имеет pH около 8. Присутствие растворенного кислорода в морской воде вызывает серьезные проблемы с коррозией из-за наличия благоприятных условий для образования электрохимических ячеек.

Таким образом, зависимость на рис. 2 носит более широкий характер. С помощью кавитации можно контролировать содержание кислорода в подпиточной морской воде на различных этапах технологического процесса в зависимости от материала. Генератор кавитации можно использовать непосредственно в части оборудования, где кислород требуется для образования оксидного барьера на поверхности металла. В противном случае необходим отстой обработанной кавитацией воды для выхода газов из жидкости.

Предварительный нагрев. Растущий спрос на энергию подталкивает промышленность к более эффективному использованию дополнительных и устойчивых источников. Альтернативные тепловые технологии начинают широко применяться в отраслях промышленности, особенно в процессах,

работающих при низких температурах до 120 °С. Кавитационные тепловые приложения могут быть реализованы в различных секторах пищевой промышленности, требующих горячей воды: сушка, концентрирование, пастеризация, стерилизация, очистка и ускорение химических реакций. Полученный результат доли нагрева за счет механики и кавитации позволяет оценить перспективность эффекта. Например, возобновляемые источники энергии считаются экономически выгодными, при использовании в тепловых системах, если их вклад в общий тепловой процесс составляется 22-27 % [23]. Подобные значения достижимы при кавитационном нагреве. Однако стоимость оборудования для ГК меньше по сравнению с возобновляемыми источниками и включение его, как части общего энергобаланса технологическогопроцесса, не требует значительных изменений в конструкции.

Выводы. Морская вода может быть хорошей альтернативой питательных жидкостей в тепловых агрегатах, котлах, технологических линиях производства и переработки сырья, гидравлических устройствах. Использование морской воды сохранит запасы чистой, пресной воды для других нужд человека.

Гидродинамическая кавитация инновационный способ обработки воды для дальнейшего применения или следующего цикла очистки. Выполненные в работе измерения растворенного кислорода, солености и температуры подтвердили влияние кавитации потока на поведение примесей в воде.

Прогнозируемо мы не получили избыточной энергии кавитации. Однако полученный результат и КПД нагрева дают возможность оптимизировать производственные процессы, где уже имеются в использовании насосы и требуется повышение температуры жидкости. Концентрация энергии за счет кавитации способно снизить количество потерь тепла в устройстве, и, следовательно, сделать процесс менее затратным.

Список использованной литературы:

1. *Würtele M.A., Kolbe T., Lipsz M., Külberg A., Weyers M., Kneissl M., Jekel M.* Application of GaN-based ultraviolet-C light emitting diodes // UV LEDs – for water disinfection Water Res. 2011. Vol. 45. No. 3. P. 1481-1489. DOI: 10.1016/j.watres.2010.11.015.

2. *Kim B.R., Anderson J.E., Mueller S.A., Gaines W.A., Kendall A.M.* Literature review – efficacy of various disinfectants against Legionella in water systems // Water Res. 2002. Vol. 36. No. 18. P. 4433-4444. DOI: 10.1016/S0043-1354(02)00188-4.
3. *Kraft A.* Electrochemical Water Disinfection: A Short Review Platinum // Met. Rev. 2008. Vol. 52. No. 3. P. 177-185. DOI: 10.1595/147106708X329273.
4. *Dalrymple O.K., Stefanakos E., Trotz M.A., Goswami D.Y.* A review of the mechanisms and modeling of photocatalytic disinfection // Appl. Catal. B. 2010. Vol. 98. No. 1-2. P. 27-38. DOI: 10.1016/j.apcatb.2010.05.001.
5. *Pichel N., Vivar M., Fuentes M.* The problem of drinking water access: A review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods // Chemosphere. 2019. Vol. 218. P. 1014-1030. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.205.
6. *Ozer L.Y., Yusuf A., Uratani J.M., Cabal B., Díaz L.A., Torrecillas R., Moya J.S., Rodríguez J., Palmisano G.* Water microbial disinfection via supported nAg/Kaolin in a fixed-bed reactor configuration // Appl. Clay Sci. 2020. Vol. 184. P. 105387. DOI: 10.1016/j.clay.2019.105387.
7. *Mane M.B., Bhandari V.M., Balapure K., Ranade V.V.* A novel hybrid cavitation process for enhancing and altering rate of disinfection by use of natural oils derived from plants // Ultrason. Sonochem. 2020. Vol. 61. P. 104820. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2019.104820.
8. *Dular M., Griessler-Bulc T., Gutierrez-Aguirre I., Heath E., Kosjek T., Krivograd A. Klemenčič, Oder M., Petkovšek M., Rački N., Ravnikar M., Šarc A., Širok B., Zupanc M., Žitnik M., Kompare B.* Use of hydrodynamic cavitation in (waste)water treatment // Ultrason. Sonochem. 2016. Vol. 29. P. 577-588. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.10.010.
9. *Fedorov K., Sun X., Boczkaj G.* Combination of hydrodynamic cavitation and SR-AOPs for simultaneous degradation of BTEX in water // Chem. Eng. J. 2021. Vol. 417. P. 128081. DOI: 10.1016/j.cej.2020.128081.
10. *Liu F., Cui W., Li X.* China's first deep manned submersible // Jiaolong Sci. China Earth Sci. 2010. Vol. 53. No. 10. P. 1407-1410. DOI: 10.1007/s11430-010-4100-2.
11. *Isa K., Arshad M.R., Ishak S.* A hybrid-driven underwater glider model, hydrodynamics estimation, and an analysis of the motion control // Ocean Eng. 2014. Vol. 81. No. 1. P. 111-129. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2014.02.002.
12. *Yang C.J., Peng S.L., Fan S.S., Zhang S.Y., Wang P.F., Chen Y.* Study on docking guidance algorithm for hybrid underwater glider in currents // Ocean Eng. 2016. Vol. 125. No. 1. P. 170-181. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.08.002.
13. *Семёнова А.Д. Уколов А.И.* Установка для кавитационной обработки жидкости // Образование, наука и молодежь – 2020: Сборник трудов по материалам II научно-практической конференции студентов и курсантов / Под общ. ред. Е.П. Масюткина. Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2020. С. 152-155.
14. *Уколов А.И.* Влияние кавитационной обработки воды на окисление поверхности металла // Образование, наука и молодежь – 2020: Сборник трудов по материалам II научно-практической конференции студентов и курсантов / Под общ. ред. Е.П. Масюткина. Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2020. С. 72-75.
15. *Уколов А.И., Родионов В.П., Уколова Ю.В.* Деаэрация питательной воды в процессе гидродинамической кавитации // Сборник тезисов докладов участников пула научно-практических конференций. Государственная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет»; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Луганской Народной Республики «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко». Сочи, 2020. С. 92-94.
16. *Loraine G.* Liquid oxidation: Hydrodynamic cavitation for cost effective oxidation // Filtration & Separation. 2007. Vol. 44. No. 9. P. 16-18. DOI: 10.1016/S0015-1882(07)70281-1.

17. *Yamashita T., Ando K.* Low-intensity ultrasound induced cavitation and streaming in oxygen-supersaturated water: Role of cavitation bubbles as physical cleaning agents // Ultrasonics Sonochemistry. 2019. Vol. 52. P. 268-279. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.11.025.
18. *Liyan Liu, Yang Yang, Penghong Liu, Wei Tan*. The influence of air content in water on ultrasonic cavitation field // Ultrasonics Sonochemistry. 2014. Vol. 21. No. 2. P. 566-571. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.10.007.
19. *Ge M., Petkovšek M., Zhang G., Jacobs D., Coutier-Delgosha O.* Cavitation dynamics and thermodynamic effects at elevated temperatures in a small Venturi channel // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2021. Vol. 170. P. 120970. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer
20. *Федоткин И. М., Гулый И. С.* Кавитационные энергетические аппараты и установки. К.: Арктур-А, 1998. 136 с.
21. *Todd B.* Selection of Materials for High Reliability Seawater Handling System // Supplement to Chemistry and Industry. 1987. Vol. 2. P. 14-22.
22. *Malik A.U., Kutty P.C.M., Siddiqi N.A., Andijani I. N., Thankachan T.S.* Effect of Deaeration and Sodium Sulfite Addition to MSF Make-up Water on Corrosion of Evaporator and Heat Exchanger Materials // Journal of King Saud University – Engineering Sciences. 1996. Vol. 8. No. 1. P 21-35 DOI: 10.1016/S1018-3639(18)31063-8.
23. *Ismail M. I., Yunus N. A., Hashim H.* Integration of solar heating systems for low-temperature heat demand in food processing industry – A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 147. P. 111192. DOI:10.1016/j.rser.2021.111192

References:

1. Würtele M.A., Kolbe T., Lipsz M., Külberg A., Weyers M., Kneissl M., Jekel M. Application of GaN-based ultraviolet-C light emitting diodes. *UV LEDs – for water disinfection Water Res*, 2011, vol. 45, no. 3, pp. 1481-1489. (In English). DOI: 10.1016/j.watres.2010.11.015.
2. Kim B.R., Anderson J.E., Mueller S.A., Gaines W.A., Kendall A.M. Literature review –efficacy of various disinfectants against Legionella in water systems. *Water Res.*, 2002, vol. 36, no. 18, pp. 4433-4444. (In English). DOI: 10.1016/S0043-1354(02)00188-4.
3. Kraft A. Electrochemical Water Disinfection: A Short Review Platinum. *Met. Rev.*, 2008, vol. 52, no. 3, pp. 177-185. (In English). DOI: 10.1595/147106708X329273.
4. Dalrymple O.K., Stefanakos E., Trotz M.A., Goswami D.Y. A review of the mechanisms and modeling of photocatalytic disinfection. *Appl. Catal. B*, 2010, vol. 98, no. 1-2, pp. 27-38. (In English). DOI: 10.1016/j.apcatb.2010.05.001.
5. Pichel N., Vivar M., Fuentes M. The problem of drinking water access: A review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. *Chemosphere*, 2019, vol. 218, pp. 1014-1030. (In English). DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.205.
6. Ozer L.Y., Yusuf A., Uratani J.M., Cabal B., Díaz L.A., Torrecillas R., Moya J.S., Rodríguez J., Palmisano G. Water microbial disinfection via supported nAg/Kaolin in a fixed-bed reactor configuration. *Appl. Clay Sci.*, 2020, vol. 184, pp. 105387. (In English). DOI:10.1016/j.clay.2019.105387.
7. Mane M.B., Bhandari V.M., Balapure K., Ranade V.V. A novel hybrid cavitation process for enhancing and altering rate of disinfection by use of natural oils derived from plants. *Ultrason. Sonochem*, 2020, vol. 61, pp. 104820. (In English). DOI:10.1016/j.ultsonch.2019.104820.
8. Dular M., Griessler-Bulc T., Gutierrez-Aguirre I., Heath E., Kosjek T., Krivograd A. Klemenčič, Oder M., Petkovšek M., Rački N., Ravnikar M., Šarc A., Širok B., Zupanc M., Žitnik M., Kompare B. Use of hydrodynamic cavitation in (waste)water treatment. *Ultrason. Sonochem.*, 2016, vol. 29, pp. 577-588. (In English). DOI: 10.1016/j.ultsonch.2015.10.010.
9. Fedorov K., Sun X., Boczkaj G. Combination of hydrodynamic cavitation and SR-AOPs for simultaneous degradation of BTEX in water. *Chem. Eng. J*, 2021, vol. 417, pp. 128081. (In English). DOI: 10.1016/j.cej.2020.128081.

10. Liu F., Cui W., Li X. China's first deep manned submersible. *Jiaolong Sci. China Earth Sci.*, 2010, vol. 53, no. 10, pp. 1407-1410. (In English). DOI: 10.1007/s11430-010-4100-2.
11. Isa K., Arshad M.R., Ishak S. A hybrid-driven underwater glider model, hydrodynamics estimation, and an analysis of the motion control, *Ocean Eng.*, 2014, vol. 81, no. 1, pp. 111-129. (In English). DOI: 10.1016/j.oceaneng.2014.02.002.
12. Yang C.J., Peng S.L., Fan S.S., Zhang S.Y., Wang P.F., Chen Y. Study on docking guidance algorithm for hybrid underwater glider in currents, *Ocean Eng.*, 2016, vol. 125, no. 1, pp. 170-181. (In English). DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.08.002.
13. Semyonova A.D. Ukolov A.I., Masyutkin E.P. (ed.) Ustanovka dlya kavitacionnoj obrabotki zhidkosti [Installation for cavitation treatment of liquids]. *Sbornik trudov po materialam II nauchno-prakticheskoj konferencii studentov i kursantov «Obrazovanie, nauka i molodezh' – 2020»* [Collection of works based on the materials of the II scientific-practical conference of students and cadets “Education, science and youth – 2020”], Kerch, KGMTU Publ., 2020, pp. 152-155. (In Russian).
14. Ukolov A.I. Vliyanie kavitacionnoj obrabotki vody na okislenie poverhnosti metalla [Influence of cavitation treatment of water on oxidation of the metal surface]. *Sbornik trudov po materialam II nauchno-prakticheskoj konferencii studentov i kursantov «Obrazovanie, nauka i molodezh' – 2020»* [Collection of works based on the materials of the II scientific-practical conference of students and cadets “Education, science and youth – 2020”], Kerch, KGMTU Publ., 2020, pp. 72-75. (In Russian).
15. Ukolov A.I., Rodionov V.P., Ukolova Yu.V. Deaeraciya pitatel'noj vody v processe gidrodinamicheskoj kavitacii [Deaeration of feed water during hydrodynamic cavitation]. *Sbornik tezisov dokladov uchastnikov pula nauchno-prakticheskih konferencij* [Collection of abstracts of the participants of the pool of scientific and practical conferences], Sochi, 2020, pp. 92-94. (In Russian).
16. Loraine G. Liquid oxidation: Hydrodynamic cavitation for cost effective oxidation. *Filtration & Separation*, 2007, vol. 44, no. 9, pp. 16-18. (In English). DOI: 10.1016/S0015-1882(07)70281-1.
17. Yamashita T., Ando K. Low-intensity ultrasound induced cavitation and streaming in oxygen-supersaturated water: Role of cavitation bubbles as physical cleaning agents. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, vol. 21, pp. 268-279. (In English). DOI: 10.1016/j.ultsonch.2018.11.025.
18. Liyan Liu, Yang Yang, Penghong Liu, Wei Tan. The influence of air content in water on ultrasonic cavitation field. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2014, vol. 21, no. 2, pp. 566-571. (In English). DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.10.007.
19. Ge M., Petkovšek M., Zhang G., Jacobs D., Coutier-Delgosha O. Cavitation dynamics and thermodynamic effects at elevated temperatures in a small Venturi channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2021, vol. 170, pp. 120970. (In English). DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.
20. Fedotkin I. M., Gulyj I. S. *Kavitacionnye energeticheskie apparaty i ustanovki* [Cavitation power devices and installations]. Kiev, Arktur-A, Publ., 1998, 136 p. (In Russian).
21. Todd B. Selection of Materials for High reliability seawater handling system. *Supplement to Chemistry and Industry*, 1987, vol. 2, pp. 14-22. (In English).
22. Malik A.U., Kutty P.C.M., Siddiqi N.A., Andijani I. N., Thankachan T.S. Effect of deaeration and sodium sulfite addition to MSF make-up water on corrosion of evaporator and heat exchanger materials. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 1996, vol. 8, pp. 21-35. (In English). DOI: 10.1016/S1018-3639(18)31063-8.
23. Ismail M.I., Yunus N.A., Hashim H. Integration of solar heating systems for low-temperature heat demand in food processing industry – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 147, p. 111192. (In English). DOI: 10.1016/j.rser.2021.111192

Сведения об авторах / Information about authors

Уколов Алексей Иванович	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры математики, физики и информатики Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 ukolov_aleksei@mail.ru
Ukolov Alexey Ivanovich	Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor at the Department of mathematics, physics and informatics Kerch State Marine Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 ukolov_aleksei@mail.ru
Семенова Анастасия Дмитриевна	студент 3-го курса направления подготовки «Экология и природопользование» Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 katerina7586@mail.ru
Semenova Anastasiia Dmitrievna	3th year student of the training direction «Ecology and Nature Management» Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 katerina7586@mail.ru

УДК 621.317.3:621.867.52:664 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_261**

Фалько А.Л., Ильина О.Б., Колесник Д.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА ВИБРАЦИОННОЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ СЫПУЧИХ ПИЩЕВЫХ МАСС

Аннотация. Транспортирование сыпучих сред всегда являлось одним из актуальнейших процессов на пищевых и перерабатывающих производствах. Такое транспортирование, как правило, осуществляется на вибрационных конвейерах или машинах близких по конструкции, более того чистое транспортирование сыпучих продуктов на пищевых предприятиях является достаточно редким явлением, все такие перемещения обычно представляют сложные процессы, где с транспортированием совмещают ещё один или несколько процессов переработки продукта. Достаточно часто с транспортированием совмещают процессы: сепарации на размерные фракции, очистки от лишних примесей, обжарки разными способами, сушки, лущения зёрен и т.п. Основой для таких совмещений в пищевой промышленности, изначально являлось применение вибрационной техники в начале 50-х годов, которая как известно работает с меньшими энергетическими затратами, чем другие типы оборудования, что обосновано позволяло нагружать её дополнительными процессами для экономии времени и электроэнергии. В дальнейшем опыт совмещения технологических процессов распространился и на другие типы пищевого оборудования.
Ключевые слова: вибрационное транспортирование, грузонесущий орган, перемещаемый груз, конвейер, энергетические затраты, передаваемая мощность.

Falko A.L., Ilyina O.B., Kolesnik D.V.

RESEARCH OF ENERGY COSTS FOR VIBRATION TRANSPORTATION OF BULK FOOD MASSES

Abstract. The transportation of bulk media has always been one of the most relevant processes in food and processing industries. Such transportation is usually carried out on vibrating conveyors or machines of similar design, moreover, the clean transportation of bulk products at food enterprises is a rather rare phenomenon, all such movements usually represent complex processes, where one or more product processing processes are combined with transportation. Quite often, transportation is combined with processes: separation into size fractions, cleaning from excess impurities, roasting in different ways, drying, peeling of grains, etc. The basis for such combinations in the food industry was initially the use of vibration technology in the early 50s, which, as you know, works with lower energy costs than other types of equipment, which reasonably allowed it to be loaded with additional processes to save time and energy. In the future, the experience of combining technological processes was extended to other types of food processing equipment.
Keywords: vibration transportation, load-carrying body, transported cargo, conveyor, energy costs, transmitted power.

Введение. За последние годы во многих отраслях промышленности РФ, и особенно в пищевой промышленности, начинают широко внедрять вибрационные машины и вибрационные методы, выполнения различных работ. Внедрение вибрационной техники повышает уровень механизации и автоматизации многих технологически трудоемких работ, способствует

коренному усовершенствованию технологических процессов пищевых производств, увеличивает экономическую эффективность предприятий и повышает производительность труда [1]. Повышенная эффективность вибрационных машин обусловливается характером воздействия их на обрабатываемую среду и принципиальными особенностями устройства. Вибрационная техника является новым прогрессивным методом, возможности и область применения которого, еще далеко не полностью выявлены [2].

О темпах развития вибрационной техники можно судить хотя бы потому, что сейчас разработаны такие машины, которые могут быть использованы практически во всех технологических и транспортных процессах пищевых производств, а также при выполнении многих вспомогательных работ [1].

Принимая во внимание, что многие вибрационные машины являются универсальными в отношении области применения, в статье использован опыт создания вибрационных машин в различных отраслях промышленности — строительной, горной, химической, машиностроительной и др.

Из технической литературы хорошо известно, что при вибрационном транспортировании передвижение массы груза происходит скачкообразно из-за колебательного воздействия грузонесущего органа, перемещаемая масса циклически подлетает вверх, выполняет свободный полёт и снова падает на грузонесущий орган [3]. Известно также, что в процессе вибрационного транспортирования сыпучих масс при непосредственном контакте с рабочей поверхностью грузонесущего органа вступает только тонкий слой перемещаемой массы, который выполняет ярко выраженные циклические перемещения. Остальная сыпучая масса перемещается под воздействием силовых импульсов, получаемых от нижнего слоя. Такая масса в общем случае имеет поступательное движение, она находится преимущественно во взвешенном состоянии и не принимает на себя колебательного воздействия грузонесущего органа. Таким образом, при вибрационном перемещении сыпучей массы по грузонесущему органу, с его рабочей поверхностью

соударяется только малая часть всей массы [4].

В процессе вибрационного транспортирования грузонесущий орган сообщает перемещаемой сыпучей массе кинетическую энергию на подбрасывание его вверх и вперед, которая впоследствии теряется в процессе неупругого соударения с транспортирующей поверхностью. При падении груз может частично вернуть свою кинетическую энергию грузонесущему органу, если в момент соударения их движение происходит в одну сторону, или наоборот вызвать дополнительные затраты при движении их в этот момент в противоположные стороны.

Цель статьи – получить аналитическим методом более простые и точные уравнения параметров для определения затрат энергии на вибрационное транспортирование сыпучих пищевых масс, а именно: выражение мощности, затрачиваемой вибрационной транспортирующей установкой на перемещение сыпучей массы; выражение для работы, совершаемой возмущающей силой при наличии вязкостных сопротивлений; выражение для коэффициента демпфирования, обусловленного сопротивлениями вибрационному транспортированию.

Материалы и методы исследования. При определении потерь энергии в процессе соударения примем, как и ранее, пластический удар. Тогда величина рассеянной энергии в процессе одного соударения определится так:

$$E = \frac{m_{гп}}{\frac{m_{гп}}{m} + 1}\left[\frac{\left(\dot{x}_{гп} - \dot{x}_n\right)^2}{2} + \frac{\left(\dot{y}_{гп} - \dot{y}_n\right)^2}{2}\right], \qquad (1)$$

где $m_{гп}$ – приведённая масса груза, т.е. та часть груза, которая участвует в соударении с грузонесущим органом; m – масса грузонесущего органа; $\dot{x}_{гп}$ и $\dot{y}_{гп}$ – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости груза в момент соударения; $\dot{x}_n$ и $\dot{y}_n$ – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости

грузонесущего органа в момент соударения.

Приведённая масса грузонесущего органа зависит от режима работы вибрационной транспортирующей установки ($A\omega^2$) и, согласно нашим предыдущим исследованиям [5], изображённым на графике рисунка 1, может быть записана как:

$$m_{гп} = \xi \cdot m_г, \tag{2}$$

где ξ – коэффициент уменьшения нормального давления, т. е. отношение коэффициента сопротивления перемещению по вибрирующей поверхности к коэффициенту сопротивления перемещению по неподвижной поверхности $\xi = w_в / w$; $m_г$ – масса транспортируемого груза.

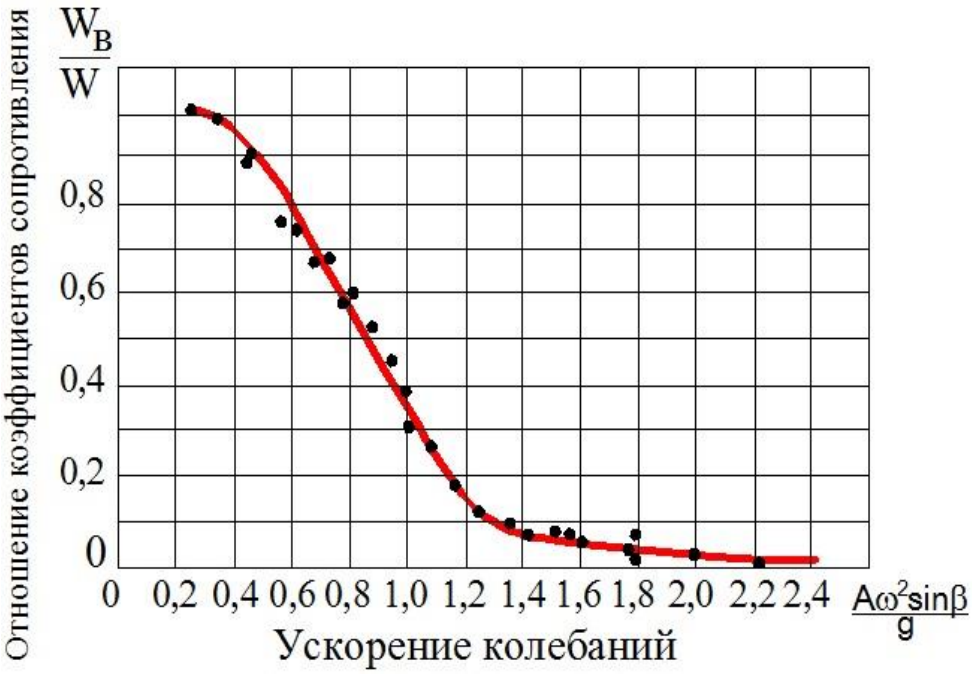


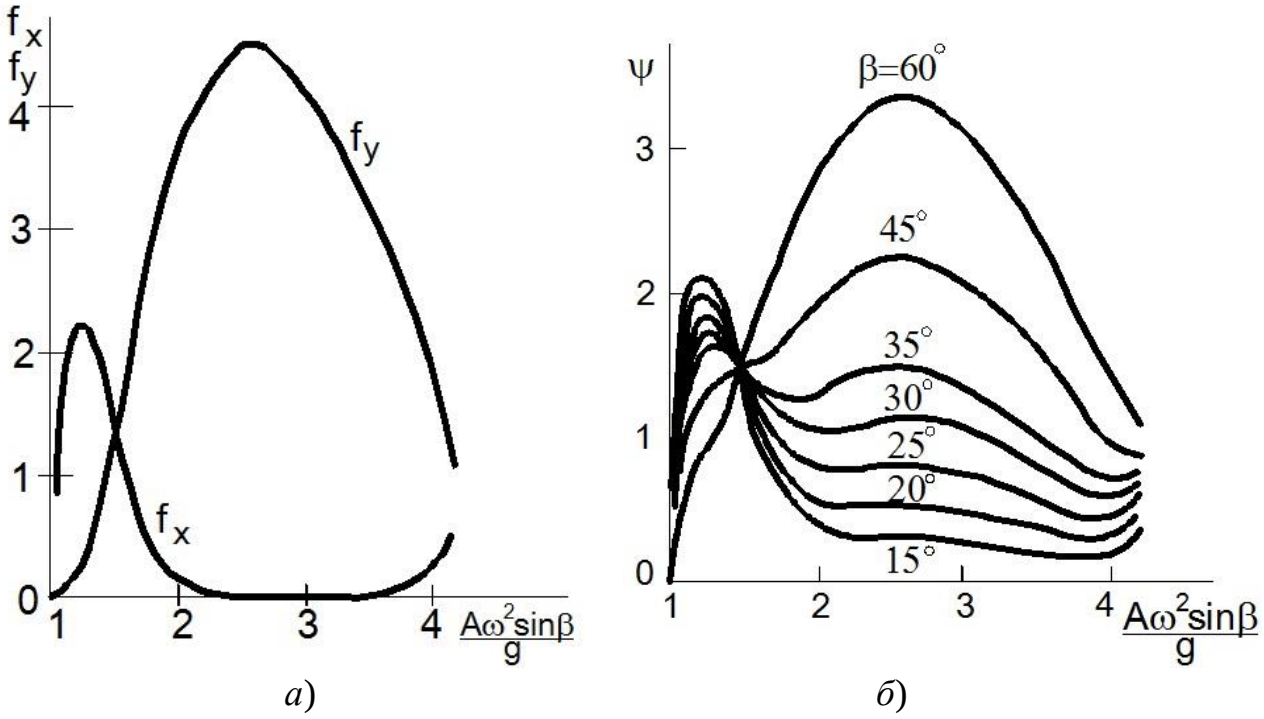
Рисунок 1 – Зависимость коэффициента сопротивления транспортированию от ускорения колебаний, где A – амплитуда колебаний; ω – циклическая частота колебаний; β – угол направленности колебаний относительно горизонта; g – ускорение свободного падения [5]

Подставив в выражение энергии в процессе одного соударения из источника [9] значения $\dot{x}_{гп}$, $\dot{y}_{гп}$ и $\dot{x}_{п}$, получим выражение для определения величины энергии рассеянной в процессе одного соударения при различных режимах работы вибрационной транспортирующей установки:

$$E = \frac{\xi \cdot m_г}{\frac{\xi \cdot m_г}{m} + 1} \cdot \frac{gAD}{2} \left[cos^2 \beta \cdot f_x \left(\frac{A\omega^2 \sin\beta}{g} \right) + sin^2 \beta \cdot f_y \left(\frac{A\omega^2 \sin\beta}{g} \right) \right], \quad (3)$$

где $f_x(A\omega^2 \sin\beta/g)$ и $f_y(A\omega^2 \sin\beta/g)$ – функции параметра режима работы вибрационной транспортирующей установки $A\omega^2 \sin\beta/g$.

Значения функций $f_x(A\omega^2 \sin\beta/g)$ и $f_y(A\omega^2 \sin\beta/g)$ в зависимости от параметра режима работы приведены на рисунке 2, *а* [9]. Вид приведённых функций определяется следующими обстоятельствами.



а) *б*)

Рисунок 2 – Значения функций:

а) $f_x(A\omega^2 \sin\beta/g)$ и $f_y(A\omega^2 \sin\beta/g)$; *б*) $\psi = f(A\omega^2 \sin\beta/g)$

При малых значениях параметра $A\omega^2 \sin\beta/g$ груз раньше соударяется с грузонесущим органом, чем при больших значениях. Функция $f_x(A\omega^2 \sin\beta/g)$ имеет максимум в том случае, если соударение происходит, когда горизонтальная составляющая скорости грузонесущего органа направлена в сторону, противоположную направлению транспортирования, и имеет максимальное значение. В области значений 2 < ($A\omega^2 \sin\beta/g$) < 4 направление транспортирования и горизонтальной составляющей скорости грузонесущего органа совпадают, разность скоростей груза и грузонесущего органа в момент соударения ничтожна. Максимальное значение функции $f_y(A\omega^2 \sin\beta/g)$ соответствует наибольшей разности скоростей груза и вертикальной составляющей скорости грузонесущего органа [6].

Мощность, затрачиваемая вибрационной транспортирующей установкой на перемещение груза, может быть определена по выражению:

$$N_m = \frac{\xi \cdot m_г}{\frac{\xi \cdot m_г}{m} + 1} \cdot \frac{gA\omega D}{4\pi n} \cdot \psi\left(\frac{A\omega^2 \sin\beta}{g}\right), \qquad (4)$$

где D – коэффициент динамики вибрационной машины; n – число оборотов в минуту вала вибратора; ψ ($A\omega^2 \sin\beta/g$) – функция от ($A\omega^2 \sin\beta/g$), т. е. $[\psi(A\omega^2 \sin\beta/g) = [\cos^2\beta \cdot f_x\left(A\omega^2 \sin\beta/g\right) + \sin^2\beta \cdot f_y\left(A\omega^2 \sin\beta/g\right)]$.

Значение функции $\psi(A\omega^2 \sin\beta/g)$ в зависимости от параметра режима работы вибрационной транспортирующей установки ($A\omega^2 \sin\beta/g$) приведены на рисунке 2, *б*.

При расчёте вибрационных транспортирующих машин весьма удобно пользоваться коэффициентом сопротивления транспортированию. Особенности воздействия вибрации на сопротивление внутреннему сдвигу сыпучих масс оказывает решающее значение на протекание многих технологических

процессов. Значениями сопротивлений внешнему сдвигу определяется энергоёмкость процессов виброперемещающих машин, транспортирования и возможность осуществления работы самотёчного транспорта [6]. Формулу для определения коэффициента сопротивления транспортированию вибрационной транспортирующей установки получим из выражения (4), разделив его на величину полезной работы, затраченной на транспортирование:

$$W_{вибр.} = \frac{\xi \cdot tg\beta}{\frac{\xi \cdot m_г}{m} + 1} \cdot \frac{D^2 \psi\left(\frac{A\omega^2 \sin\beta}{g}\right)}{\omega(t_0 - t_n)^2}. \quad (5)$$

Приняв $\xi \cdot m_г / m = 0$, что в достаточной степени справедливо для большинства вибрационных транспортирующих установок, так как единица значительно больше $\xi \cdot m_г$, получим:

$$\frac{W_{вибр.}}{\xi} = \frac{tg\beta D^2 \psi\left(\frac{A\omega^2 \sin\beta}{g}\right)}{\omega(t_0 - t_n)^2}. \quad (6)$$

Для выбора оптимальных режимов работы вибрационной транспортирующей установки с точки зрения энергетических затрат на транспортирование на рисунке 3 приведён график зависимости $W_{вибр.}/\xi$ и $\dot{x}_г$ от угла вибрации *β,* и коэффициента динамики вибрационной машины *D.* На графике даны скорости вибрационного транспортирования для амплитуды колебаний *A* = 10 мм. Для определения скорости вибрационного транспортирования, соответствующей другому значению амплитуды, величину скорости, полученную на графике, следует умножить на корень квадратный из нового значения амплитуды [7]. Для определения коэффициента сопротивления транспортированию вибрационной транспортирующей установки следует

значение $W_{вибр.}/\xi$, полученное на графике рисунка 3, умножить на значение ξ, взятое для соответствующего $(A\omega^2 \sin\beta/g)$ по графику на рисунке 1.

Величина и характер сопротивлений, действующих в вибрационной машине, не только определяют расход энергии, но и оказывают существенное влияние на режим и устойчивость работы.

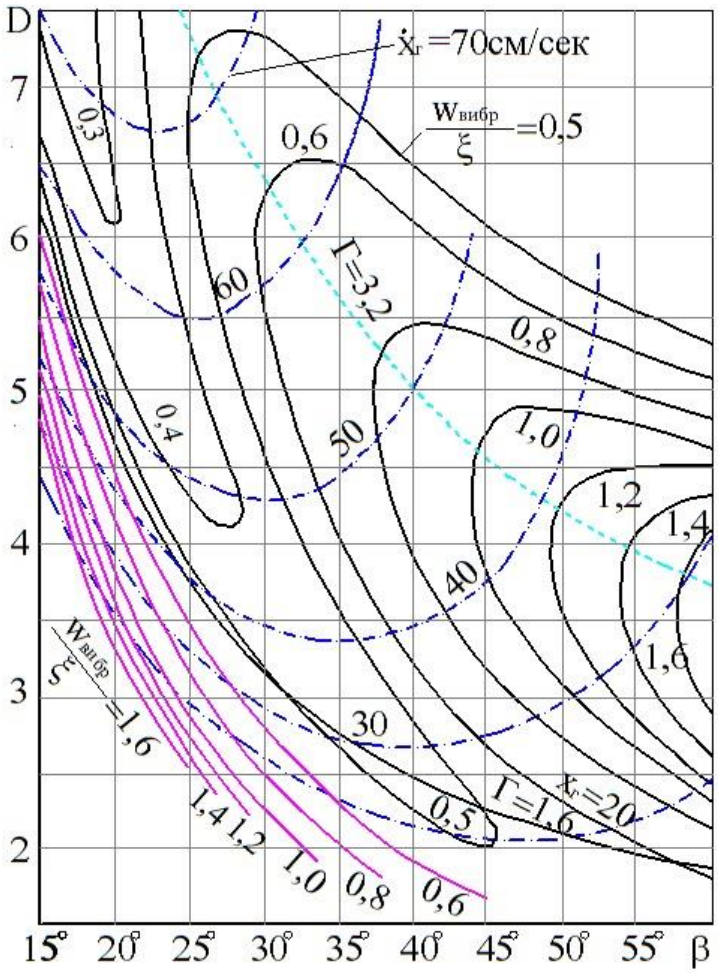


Рисунок 3 – Зависимость $W_{вибр.}/\xi$ и $\dot{x}_г$ от угла вибрации β и коэффициента динамики вибрационной машины

При расчёте вибрационных установок влияние сопротивлений учитывается введением в расчётное уравнение соответствующего члена с коэффициентом сопротивления или коэффициентом демпфирования, значение которого определяется величиной действующих сопротивлений.

Определим эквивалентный вязкостному трению коэффициент сопротивления, обусловленный рассеянием энергии при вибрационном транспортировании [8]. Работа, совершаемая возмущающей силой при наличии вязкостных сопротивлений, равна

$$E_{вязк.} = \pi \cdot c\omega A, \tag{7}$$

где c – коэффициент вязкостных сопротивлений.

Для отыскания эквивалентного вязкостному трению коэффициента сопротивления приравняем работу при вязкостных сопротивлениях работе, затрачиваемой на вибрационное транспортирование

$$\pi \cdot c\omega A = \xi \cdot m_г \frac{gDA}{2} \psi \left(\frac{A\omega^2 \sin\beta}{g} \right), \tag{8}$$

откуда

$$c_{экв.} = \xi \cdot m_г \frac{\omega}{2\pi} \psi \left(\frac{A\omega^2 \sin\beta}{g} \right). \tag{9}$$

В данном выражении принято $\xi \cdot m_г / m = 0$.

При расчёте вибрационных машин более часто пользуются коэффициентом демпфирования [10]:

$$\gamma = \frac{c}{m\omega_0}, \tag{10}$$

где ω_0 – собственная частота колебаний вибрационной машины.

Коэффициент демпфирования, обусловленный сопротивлениями вибрационному транспортированию, будет равен:

$$\gamma = \frac{\xi \cdot m_г}{m} \cdot \frac{\omega}{2\pi\omega_0} \psi\left(\frac{A\omega^2 \sin\beta}{g}\right). \quad (11)$$

Выражение (11) достаточно точно определяет коэффициент демпфирования, что на практике при проектировании вибрационных транспортирующих машин с совмещённым процессом переработки пищевого сырья безошибочно позволит определять полную сумму всех энергетических затрат без учёта сопротивлений совмещённого процесса, которые рассчитываются отдельно.

Оценивая возможности и область применения вибрационной техники в технологической переработке сыпучих продуктов, следует рассматривать ее как новый научно-технический метод, приложение которого к задачам совершенствования технологий производства продуктов питания, открывает разносторонние возможности ее усовершенствования и повышения эффективности. Уже сейчас вибрационная техника занимает ведущее положение в выполнении ряда технологических операций с сыпучим пищевым сырьём [3].

Накопленный в настоящее время опыт позволяет считать, что при дальнейшем развитии вибрационная техника явится мощным рычагом совершенствования пищевых технологий переработки.

Внедрение вибрационных машин в пищевое производство повышает уровень механизации и автоматизации различных работ, способствует коренному усовершенствованию технологических процессов и созданию новых, более совершенных и производительных машин, увеличивает экономическую эффективность предприятий и повышает производительность труда [10].

Высокие производственные показатели, получаемые при внедрении вибрационной техники, обусловливаются главным образом тем, что вибрационные машины в большинстве случаев характеризуются повышенной технологической эффективностью и отличаются рядом конструктивно-эксплуатационных достоинств.

Выводы. В процессе аналитического исследования энергетических затрат на вибрационное транспортирование сыпучих пищевых масс нами были получены уточнённые выражения: для мощности, затрачиваемой вибрационной транспортирующей установкой на перемещение сыпучей массы (4); выражение для работы, совершаемой возмущающей силой при наличии вязкостных сопротивлений (7); выражение для коэффициента демпфирования (11), обусловленного сопротивлениями вибрационному транспортированию. В настоящее время развитие и применение вибрационной техники на перерабатывающих производствах идет в двух основных направлениях [4]. Во-первых, это дальнейшее усовершенствование и повышение эффективности широко распространенных в технологических линиях машин, таких как: вибрационные конвейеры, сепараторы, миксеры, мешалки, взбивалки и др.; во-вторых, это расширение области применения вибрационной техники и создание новых машин для самых различных технологических процессов пищевых производств и предприятий.

Список использованной литературы:

1. *Григорьев А.В., Гришко А.К., Лапшин Э.В., Наумова И.Ю., Данилова Е.А., Юрков Н.К.* Вычисление выходных параметров системы измерения модуля и компонент вектора вибрационного перемещения исследуемой материальной точки объекта контроля // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Т. 2. С. 41-44.
2. *Герасимов С.А.* Автомодельность вибрационного перемещения в среде с сопротивлением // Прикладная механика и техническая физика. 2002. Т. 43. № 1. С. 108-111.
3. *Лавендел Э.Э.* Вибрации в технике: справочник. В 6 т. Т. 4. Вибрационные процессы и машины. М.: Машиностроение, 1981. 509 с.
4. *Фалько А.Л., Степанов Д.В.* Перспективная конструкция вибрационного конвейера для использования в линиях по переработке свежей или размороженной рыбы // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2019. № 3. С. 94-103.
5. *Фалько А.Л., Аллахвердиев Т.Ш.О., Цыганкова И.В.* Повышение эффективности транспортирования грузов с помощью вибрационного перемещения // Вестник КГМТУ. 2021. № 1. С 127-141.
6. *Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю.* Вибрационное перемещение. М.: Наука, 1964. 411 с.
7. Журавлева Е.В. Моделирование динамики процесса вибрационного транспортирования сыпучего материала: дис. … канд. техн. наук: 01.02.06 / Елена Вадимовна Журавлева. Курск, 2000. 129 с.
8. *Schraud A.* Der leistungsbedarf von schwingförderanlagen. Forschung auf dem gebiete des ingeneurwesens // Berlin, schattenmagazin. 1997. No. 2. 92 p.
9. *Schraud A.* Die Veränderung der amplitude von schwingförderanlagen durch die dämpfung des Fördergutes // Berlin, schattenmagazin «Erdöl und Kohle». 1998. No. 9. 78 p.
10. *Wehmeier K.H.* Untersuchungen zum fördervorgang auf schwin-grinnen // Berlin, schattenmagazin «Födern und Heben». 1991. No. 5. 68 p.

References:

1. Grigor'yev A.V., Grishko A.K., Lapshin E.V., Naumova I.Yu., Danilova Ye.A., Yurkov N.K. Vychisleniye vykhodnykh parametrov sistemy izmereniya modulya i komponent vektora vibratsionnogo peremeshcheniya issleduyemoy material'noy tochki ob"yekta kontrolya [Calculation of the output parameters of the measurement system of the module and the components of the vector of vibration displacement of the studied material point of the control object]. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"], 2016, vol. 2, pp. 41-44. (In Russian).
2. Gerasimov S.A. Avtomodel'nost' vibratsionnogo peremeshcheniya v srede s soprotivleniyem [Self-similarity of vibrational displacement in a medium with resistance]. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika* [Applied Mechanics and technical Physics], 2002, vol. 43, no. 1, pp. 108-111. (In Russian).
3. Lavendel E. E. *Vibratsii v tekhnike. T. 4. Vibratsionnyye protsessy i mashiny* [Vibrations in technology. Vol. 4. Vibration processes and machines]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1981, 509 p. (In Russian).
4. Fal'ko A.L., Stepanov D.V. Perspektivnaya konstruktsiya vibratsionnogo konveyyera dlya ispol'zovaniya v liniyakh po pererabotke svezhey ili razmorozhennoy ryby [A promising design of a vibrating conveyor for use in lines for processing fresh or thawed fish]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya* [Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex – healthy food products], 2019, no. 3, pp. 94-103. (In Russian).
5. Fal'ko A.L., Allakhverdiyev T.Sh.O., Tsigankova I.V. Povysheniye effektivnosti transportirovaniya gruzov s pomoshch'yu vibratsionnogo peremeshcheniya [Improving the efficiency of cargo transportation by means of vibration movement]. *Vestnik KGMTU* [Bulletin of KSMTU], 2021, no. 1, pp. 127-141. (In Russian).
6. Blekhman I.I., Dzhanelidze G.Yu. *Vibratsionnoye peremeshcheniye* [Vibration movement]. Moscow, Nauka Publ., 1964, 411 p. (In Russian).
7. Zhuravleva Ye.V. *Modelirovaniye dinamiki protsessa vibratsionnogo transportirovaniya sypuchego materiala. Diss. ... kand. tekhn. nauk* [Modeling of the dynamics of the process of vibrational transportation of bulk material. Cand. engin. sci. diss.]. Kursk, 2000, 129 p. (In Russian).
8. Schraud A. Der leistungsbedarf von schwingförderanlagen. Forschung auf dem gebiete des ingeneurwesens. *Berlin, schattenmagazin*, 1997, no. 2, 92 p. (In German).
9. Schraud A. Die Veränderung der amplitude von schwingförderanlagen durch die dämpfung des Fördergutes. *Berlin, schattenmagazin, «Erdöl und Kohlen»*, 1998, no. 9, 78 p. (In German).
10. Wehmeier K.H. Untersuchungen zum fördervorgang auf schwin-grinnen. *Berlin, schattenmagazin «Födern und Heben»*, 1991, no. 5, 68 p. (In German).

Сведения об авторах / Information about authors

Фалько Александр Леонидович	д-р техн. наук, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 298324, Республика Крым, г. Керчь, ул. Ульяновых, 3а, кв. 80 falkoas@rambler.ru
Falko Alexander Leonidovich	Dr. Sci. (Engin.), Professor of the Department of machines and apparatuses of food production Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 298324, Republic of Crimea, Kerch, Ulyanov str., 3a, apt. 80 falkoas@rambler.ru

Ильина Ольга Борисовна	магистрант 2-го курса направления подготовки «Технологические машины и оборудование» Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 298310, Республика Крым, г. Керчь, ул. Победы, 14, кв. 119 olga66246@yandex.ru
Ilyina Olga Borisovna	2nd year master's student of the direction of training “Technological machines and equipment” Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 298309, Republic of Crimea, Kerch, Victory str., 14, apt. 119 olga66246@yandex.ru
Колесник Денис Владимирович	магистрант 2-го курса направления подготовки «Технологические машины и оборудование» Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 298311, Республика Крым, г. Керчь, ул. Славы, 9, кв. 6 koled.denis@yandex.ru
Kolesnik Denis Vladimirovich	2nd year master's student of the direction of training “Technological machines and equipment” Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 298306, Republic of Crimea, Kerch, Glory str., 9, apt. 6 koled.denis@yandex.ru

УДК 664.956 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_274**

Яшонков А.А., Устинова М.Э., Косачев В.С.

АНИЗОТРОПНАЯ МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ ТЕПЛООБМЕНА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ КУБИКА РЫБНОГО ФИЛЕ

Аннотация. Предложена и проанализирована математическая модель с распределенными параметрами процесса теплообмена анизотропного тела и окружающей средой по закону Ньютона. Рассмотрена задача одномерной и трехмерной анизотропной нестационарной теплопередачи путем теплопроводности в среде инженерных расчетов PTC MathCAD. В основу математической модели теплообмена положена аналитическое решение, которое позволяет рассмотреть этот процесс на основе феноменологического описания процесса сушки в сушилках виброкипящего слоя на примере производства сушеных рыбных продуктов. По результатам экспериментальных исследований показана адекватность полученной математической модели. Подтверждена возможность учета анизотропии в процессах теплообмена при использовании как одномерной, так и объемной математической модели переноса с распределенными параметрами. Разработанная модель анизотропного теплообмена позволяет значительно увеличить точность описания как процесса теплообмена, так и процесса сушки влажного материала на стадии предварительного прогрева, так как в этом случае формируется температурный профиль, отличающийся значительной неоднородностью, что особо важно, с учетом температурной неоднородности, которая непосредственно влияет на качество получаемого в процессе сушки пищевого продукта.
Ключевые слова: рыбное сырье, математическое моделирование, процесс сушки, нестационарная теплопередача, PTC MathCAD.

Yashonkov A.A., Ustinova M.E., Kosachev V.S.

ANISOTROPIC MODEL OF HEAT TRANSFER KINETICS IN THE PROCESS OF DRYING A FISH FILLET CUBE

Abstract. A mathematical model with distributed parameters of the heat exchange process of an anisotropic body and the environment according to Newton's law is proposed and analyzed. The problem of one-dimensional and three-dimensional anisotropic unsteady heat transfer by thermal conductivity in the environment of engineering calculations of PTC MathCAD is considered. The mathematical model of heat transfer is based on an analytical solution that allows us to consider this process on the basis of a phenomenological description of the drying process in vibro-boiling layer dryers on the example of the production of dried fish products. According to the results of experimental studies, the adequacy of the obtained mathematical model is shown. The possibility of accounting for anisotropy in heat transfer processes using both one-dimensional and volumetric mathematical models of transport with distributed parameters is confirmed. The developed model of anisotropic heat transfer makes it possible to significantly increase the accuracy of the description of both the heat exchange process and the drying process of wet material at the preheating stage, since in this case a temperature profile is formed, characterized by significant heterogeneity, which is especially important, taking into account the temperature heterogeneity, which directly affects the quality of the food product obtained during drying.
Keywords: fish raw materials, mathematical modeling, drying process, non-stationary heat transfer, PTC MathCAD.

Введение. Продовольственные продукты, подвергаемые тепловой обработке, как правило, содержат высокую влажность, которая частично или

полностью удаляется во время этого процесса [1, 2]. Наиболее распространены процессы сушки и обжарки пищи, описываемые как процессы внутренней и внешней тепло- и массопередачи с граничными условиями третьего рода при изменении агрегатного состояния. Успешное математическое моделирование в этом случае, как правило, связано с переходом к многомерной модели с распределенными параметрами [3]. Использование аналитических решений краевых задач тепло- и массопередачи особенно важно для моделирования [4, 5] обжарки и сушки в кипящем слое [6], где общая скорость процесса как правило лимитируется внутренними сопротивлениями перемещения массы и тепла. Успешное моделирование этого процесса позволяет предсказать не только скорость обезвоживания продукта, но и распределение температурного поля в материалах пищи, что особенно важно, так как непосредственно влияет на ее качество [7-9]. Как было показано ранее для модели сушки распылением единичной капли [10], температурное распределение внутри материала не может игнорироваться даже в этом идеальном случае. Поэтому для описания теплообмена в процессе сушки кубика рыбного филе использовали известное аналитическое решение [11, с. 191], которое может быть использовано для граничных условий краевой задачи теплообмена как третьего, так и первого рода, что позволяет обобщить эти процессы за счет варьирования критерия Bi [11, с. 206], представляющего собой меру отношения температурного перепада в теле к температурному напору между средой и телом. Исследования проводили на примере производства снеков из филе бычка азовского, что связано с большим спросом населения на продукты и полуфабрикаты из рыбного сырья [12-15].

Цель исследования – научное обоснование применимости анизотропной модели кинетики теплообмена в процессе сушки кубика рыбного филе в сушилках виброкипящего слоя.

Материалы и методы исследования. Объектом исследований является процесс сушки на примере производства сушеных снеков из бычка азовского (Семейство бычковое – Gobiidae), представляющего собой сложный тепло массообменный процесс. Скорость его во многих случаях определяется

скоростью внутреннего теплопереноса, определяющего условия испарения влаги в твердом теле. Процесс в кипящем слое позволяет значительно увеличить поверхность контакта между частицами материала и сушильным агентом, интенсифицировать испарение влаги из материала и сократить продолжительность сушки. Применение в сушилках виброкипящего слоя, позволяет улучшить перемешивание материала и тем самым в несколько раз повысить величину коэффициентов тепло- и массообмена. Вибрационное воздействие в сочетании с подачей газа через пористое дно аппарата под слой сыпучего материала позволяет снизить скорость газа до значения ниже критического. Тогда роль газа как ожижающего агента перестает являться определяющей. Для оценки этих параметров процесса предлагается использование метода математического моделирования, позволяющего идентифицировать коэффициентов тепло- и массообмена, на основе решения обратной задачи нестационарного теплообмена при температурах выше 100 ºС между поверхностью анизотропного тела и окружающей средой по закону Ньютона. В качестве исходного сырья для исследования процесса сушки рыбного сырья приняты кубики из размороженного филе бычка азовского размером 7×7×7 мм, при равномерном начальном распределении температуры $T_o = \text{const}$. В начальный момент времени продукт помещается в среду псевдоожиженного слоя с постоянной температурой $T_c > T_o$. Предполагается, что теплообмен между поверхностью кубика и окружающей средой происходит по закону Ньютона. Следовательно, процесс нагрева кубиков из размороженного филе бычка азовского может быть описан как краевой задачей нагревания тела при граничных условиях первого, так и третьего рода, при последующей идентификации модели по критерию Био в эксперименте.

При начальном равномерном распределении температуры известно аналитическое решение [11, с. 191] для одномерной задачи, проиллюстрированной на плоскости (неограниченная пластина):

$$T(x,\tau,T_c,T_o,a_x,Bi,R_x) = T_o + (T_c - T_o)\ \text{x}$$

$$\text{x}\left\langle 1 - \sum_{n=0}^{\infty}\left\{\frac{2\cdot\cos\left[\mu_n\left(\frac{\pi}{2}+\mu_n(Bi)\right)\right]}{\mu_n(Bi)+sin[\mu_n(Bi)]\cdot cos[\mu_n(Bi)]}\cdot cos\left[\mu_n(Bi)\cdot\frac{x}{R_x}\right]\right.\right. \tag{1}$$

$$\left.\left.\cdot\, exp\left[-\mu_n(Bi)^2\cdot\frac{a_x\cdot\tau}{{R_x}^2}\right]\right\}\right\rangle,$$

где a_x – коэффициент температуропроводности, м^2/сек;

$\mu_n(Bi)$ – корень характеристического уравнения аналитического решения (1), $\text{ctg}[\mu_n] = \mu_n/Bi$;

Bi – критерий Био $Bi = \frac{\alpha\cdot R}{\lambda}$, характеризующий отношение интенсивности внешнего теплообмена к интенсивности внутреннего теплообмена;

α – коэффициент теплообмена среды, Вт/(м^2·К);

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К).

В зависимости на основе суперпозиции этого решения (1) можно получить модель анизотропного переноса тепла при обосновании процесса производства морепродуктов [11, с. 264]:

$$T\left(x,y,z,\tau,T_c,T_o,a_x,a_y,a_z,Bi_x,Bi_y,Bi_z,R\right) =$$

$$= T_c - [T_c - T(x,\tau,T_c,T_o,a_x,Bi_x,R)]\cdot\left[T_c - T\left(x,\tau,T_c,T_o,a_y,Bi_y,R\right)\right] \tag{2}$$

$$\cdot\,[T_c - T(x,\tau,T_c,T_o,a_z,Bi_z,R)]\ ,$$

Используя вышеизложенную расчетную схему краевой задачи (1) с граничными условиями третьего рода для моделирования предварительного прогрева влажного материала в процессе его тепловой обработки до момента нагрева поверхности пластины выше температуры фазового перехода испарения влаги определили значения усредненной влажности в процессе испарительной сушки в среде инженерных расчетов PTC MathCAD:

$$\mu_x = \begin{bmatrix} \mathrm{root}\left[\left(\cot(\mu) - \frac{1}{\mathrm{Bio}_x}\cdot\mu\right), \mu, \pi\cdot 0 + \frac{1}{1000}, \pi\cdot(0+1) - \frac{999}{1000}\right] \\ \mathrm{root}\left[\left(\cot(\mu) - \frac{1}{\mathrm{Bio}_x}\cdot\mu\right), \mu, \pi\cdot 1 + \frac{1}{1000}, \pi\cdot(1+1) - \frac{999}{1000}\right] \\ \mathrm{root}\left[\left(\cot(\mu) - \frac{1}{\mathrm{Bio}_x}\cdot\mu\right), \mu, \pi\cdot 2 + \frac{1}{1000}, \pi\cdot(2+1) - \frac{999}{1000}\right] \end{bmatrix}$$

$$W_{1D}(a_x, \mathrm{Bio}_x) = \frac{\int_0^R w_к + (w_н - w_к)\cdot\Phi\left[100\,°C - \left[T_c - \left[T_c - \left[T_c + (T_c - T_o)\cdot\sum_{n=0}^{2}\left[\frac{2\cdot\cos\left(\frac{\pi}{2} + \mu_{x_n}\right)}{\mu_{x_n} + \sin(\mu_{x_n})\cdot\cos(\mu_{x_n})}\cdot\cos\left(\mu_{x_n}\cdot\frac{x}{R}\right)\cdot\exp\left[-(\mu_{x_n})^2\cdot\frac{a_x\cdot 10^{-10}\cdot\frac{m^2}{s}\cdot\tau_k}{R^2}\right]\right]\right]\right]\right]\right] dx}{(R)} \quad (3)$$

где $w_н$, $w_к$ – начальное и конечное влагосодержание материала в процессе испарительной сушки;

Ф – функция Хевисайда.

Используя (3) с учетом (2), получаем аналогичную, но уже объемную модель краевой задачи теплообмена в процессе сушки кубика рыбного филе с граничными условиями третьего рода для моделирования предварительного прогрева влажного материала в процессе его тепловой обработки.

Необходимые параметры, в частности усредненное влагосодержание, можно определить эмпирически с достаточной для технологических целей обеспечения качества высушенного продукта точностью, но при этом особенности распределения как температурного поля, так и поля влагосодержания остаются недоступны для дальнейшей оценки, что не позволяет гарантировать обеспечения качественной влаготепловой обработки. Предлагаемая математическая модель позволяет по экспериментальным данные с учетом (2) и (3), воспроизвести динамику полей влагосодержания и температуры как для одномерных, так и для трехмерных анизотропных объектов, используя достаточно простую математическую модель. Таким образом использование интегрального показателя влагосодержания материала (3) позволяет идентифицировать параметры процесса испарительной сушки по изменению этого показателя во времени.

Результаты исследования и их обсуждение. В качестве исходного сырья для исследования процесса сушки рыбного сырья приняты кубики из

размороженного филе бычка азовского размером 7×7×7 мм, характеризующегося следующими теплофизическими параметрами коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и плотность которые были определены на основании анализа литературных источников. Искомые коэффициенты соответственно составили 0,43 (Вт/(м·°С)), 3670 (Дж/(кг·°С)) и 930 кг/м^3. В результате идентификации одномерной математической модели с использованием экспериментальных данных были получены следующие зависимости изменения влагосодержания и температуры материала в процессе испарительной сушки (рис. 1).

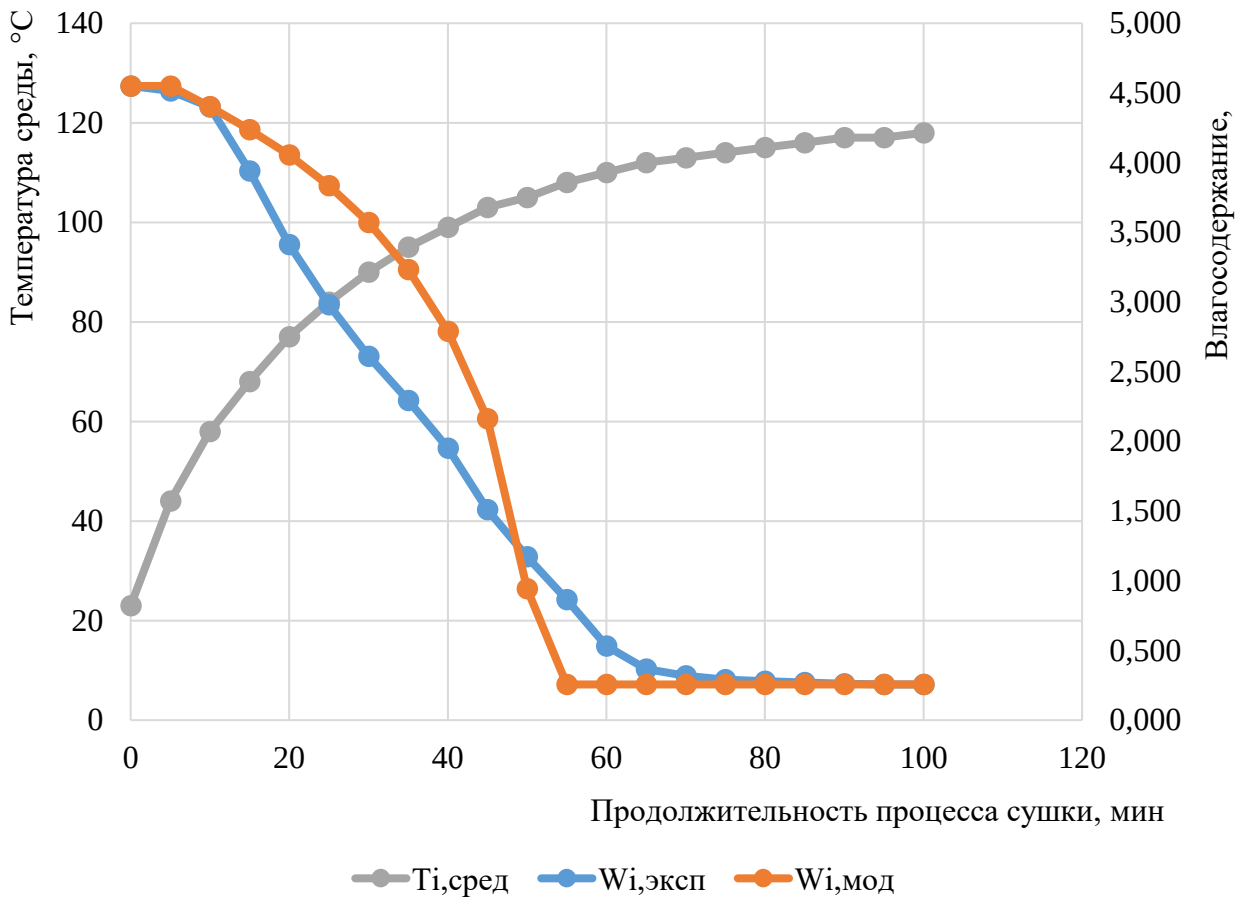


Рисунок 1 – Зависимости изменения влагосодержания и температуры кубиков филе бычка в процессе испарительной сушки (идентификация одномерной модели)

Результаты расчета по этим данным в среде инженерных расчетов PTC MathCAD были обработаны по критерию Фишера в программном обеспечении Microsoft Office Excel ver. 2108 (рис. 2).

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
τ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	мин	
Fo_X	0,000	0,040	0,079	0,119	0,159	0,198	0,238	0,278	0,317	0,357	0,397	0,436	0,476	0,516	0,555	0,595	0,635	0,674	0,714	0,754	0,794	б/р	
$W_{i,эксп}$	4,550	4,514	4,400	3,940	3,412	2,980	2,610	2,294	1,952	1,510	1,174	0,864	0,532	0,366	0,318	0,292	0,280	0,270	0,262	0,256	0,256	кг/кг	
$W_{i,мод}$	4,550	4,550	4,403	4,237	4,055	3,834	3,571	3,233	2,790	2,163	0,943	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256		
$T_{i,сред}$	23	44	58	68	77	84	90	95	99	103	105	108	110	112	113	114	115	116	117	117	118	°C	
$(W_{i,мод}-W_{сред,мод})^2$	6,7751	6,7751	6,0302	5,2438	4,4435	3,5617	2,6366	1,6538	0,7109	0,0466	1,0088	2,8598	2,8598	2,8598	2,8598	2,8598	2,8598	2,8598	2,8598	2,8598	2,8598	$\Sigma(W_{i,мод}-W_{сред,мод})^2$	58,9048
$(W_{i,эксп}-W_{i,мод})^2$	0,0000	0,0013	0,0000	0,0882	0,4135	0,7299	0,9232	0,8819	0,7027	0,4263	0,0535	0,3697	0,0762	0,0121	0,0038	0,0013	0,0006	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	$\Sigma(W_{i,эксп}-W_{i,мод})^2$	4,6844
$W_{сред,мод}$	1,947	m	4	Число факторов			a_x	Bio_x	$w_н$	$w_к$													
		n	17	Число опытов			3,8E-09	7,997	4,55	0,256													
		$F_{расч}$	37,7				$м^2$/сек	б/р	кг/кг	кг/кг													
		$F_{табл}$	3,259	5,412	9,633																		
		α	0,05	0,01	0,001																		
Адекватность модели по Фишеру			ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА																		
			σ	2σ	3σ																		

Рисунок 2 – Результаты обработки экспериментальных данных одномерной модели по критерию Фишера

Как видно из представленных данных (рис. 1) использование расчетной схемы краевой задачи (1) с граничными условиями третьего рода для идентификации параметров модели процесса сушки позволило получить адекватное описание этого процесса при величине критерия Bi = 7,997.

Полученное значение этого критерия показывает, что скорость нагрева в процессе сушки кубика рыбного филе определяется как скоростью переноса тепла внутри материала, так и скоростью переноса тепла через пограничный слой, т.е. представляет собой краевую задачу с граничными условиями третьего рода.

Анализ графика (рис. 1) показывает, что, не смотря на статистически значимую адекватность одномерной модели наблюдается значительное различие экспериментальных и расчетных данных. Поэтому была использована трехмерная анизотропная модель (2) с коэффициентами температуропроводности (a_x, a_y, a_z) и параметров идентификации модели – координатных чисел Био (Bi_x, Bi_y, Bi_z) и коэффициентов температуропроводности (a_x, a_y, a_z) входящих в пробную функцию температурного поля (2) переходного

процесса по трем главным осям теплопроводности (x), (y) и (z). Идентификация трехмерной модели по экспериментальным данным приведена на рисунке 3.

Визуальный анализ полученных зависимостей (рис. 3) показал существенное улучшение описательной способности объемной анизотропной модели кинетики теплообмена в процессе сушки кубика рыбного филе в сушилках виброкипящего слоя. Для подтверждения этого положения была проведена статистическая обработка данных по критерию Фишера в программном обеспечении Microsoft Office Excel ver. 2108 (рис. 4).

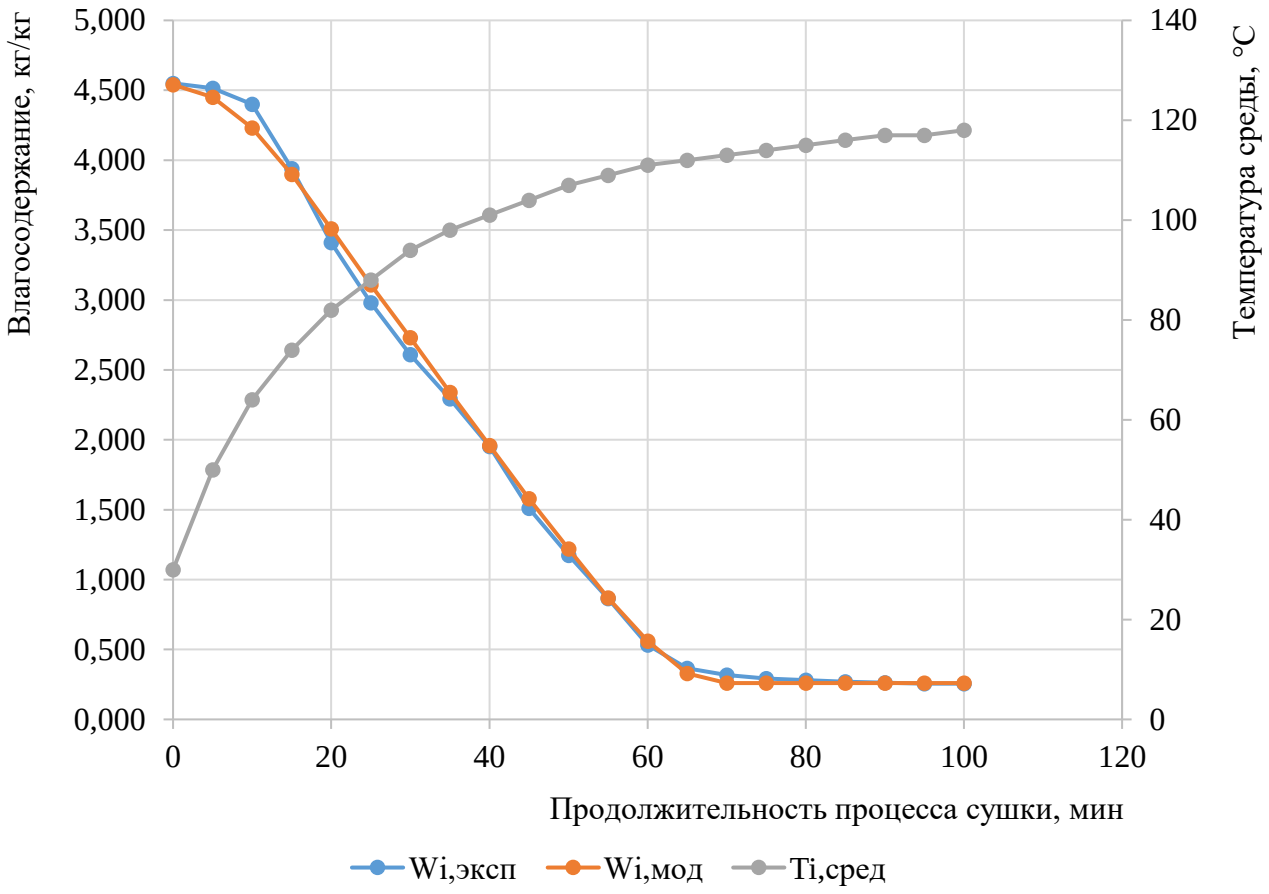


Рисунок 3 – Зависимости изменения влагосодержания и температуры кубиков филе бычка в процессе испарительной сушки (идентификация трехмерной модели)

Как видно из представленных данных (рис. 3) использование расчетной схемы трехмерной краевой задачи (2) с граничными условиями третьего рода для идентификации параметров модели процесса сушки позволило также, как и для одномерной модели получить адекватное описание этого процесса. Однако расчетный критерий Фишера в случае объемной анизотропной модели значительно превышает аналогичный показатель одномерной модели (в 14,7 раз).

В качестве дополнительной зависимости, построенной по изменению влагосодержания продукта в процессе сушки средствами математического моделирования с использованием идентифицированных показателей восстановлена зависимость изменения температуры материала от времени процесса.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
τ	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	мин	
Fo_X	0,000	0,040	0,079	0,119	0,159	0,198	0,238	0,278	0,317	0,357	0,397	0,436	0,476	0,516	0,555	0,595	0,635	0,674	0,714	0,754	0,794		
Fo_Y	0,000	0,013	0,026	0,039	0,052	0,065	0,077	0,090	0,103	0,116	0,129	0,142	0,155	0,168	0,181	0,194	0,207	0,219	0,232	0,245	0,258	б/р	
Fo_Z	0,000	0,034	0,069	0,103	0,138	0,172	0,206	0,241	0,275	0,309	0,344	0,378	0,413	0,447	0,481	0,516	0,550	0,585	0,619	0,653	0,688		
$W_{i,эксп}$	4,550	4,514	4,400	3,940	3,412	2,980	2,610	2,294	1,952	1,510	1,174	0,864	0,532	0,366	0,318	0,292	0,280	0,270	0,262	0,256	0,256	кг/кг	
$W_{i,мод}$	4,540	4,450	4,230	3,900	3,510	3,110	2,730	2,340	1,960	1,580	1,220	0,870	0,560	0,330	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260		
$T_{i,сред}$	30	50	64	74	82	88	94	98	101	104	107	109	111	112	113	114	115	116	117	117	118	°C	
$(W_{i,мод}-W_{сред,мод})^2$	7,6782	7,1875	6,0563	4,5410	3,0309	1,7982	0,9234	0,3260	0,0365	0,0357	0,3015	0,8083	1,4618	2,0709	2,2772	2,2772	2,2772	2,2772	2,2772	2,2772	2,2772	$\Sigma(W_{i,мод}-W_{сред,мод})^2$	45,3649
$(W_{i,эксп}-W_{i,мод})^2$	0,0001	0,0041	0,0289	0,0016	0,0096	0,0169	0,0144	0,0021	0,0001	0,0049	0,0021	0,0000	0,0008	0,0013	0,0034	0,0010	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	$\Sigma(W_{i,эксп}-W_{i,мод})^2$	0,0918
$W_{сред,мод}$	1,769	m	8	Число факторов			$a_{.x}$	$a_{.y}$	$a_{.z}$	$Bio_{.x}$	$Bio_{.y}$	$Bio_{.z}$	$w_{.н}$	$w_{.к}$									
		n	18	Число опытов			1,6E-09	5,3E-10	1,4E-09	7,001	8,585	7,827	4,55	0,256									
		$F_{расч}$	555,9				$м^2$/сек	$м^2$/сек	$м^2$/сек	б/р	б/р	б/р	кг/кг	кг/кг									
		$F_{табл}$	3,230	5,467	10,368																		
		α	0,05	0,01	0,001																		
Адекватность модели по Фишеру			ИСТИНА	ИСТИНА	ИСТИНА																		
			σ	2σ	3σ																		

Рисунок 4 – Результаты обработки экспериментальных данных трехмерной анизотропной модели по критерию Фишера

Выводы. Представленная температурная диаграмма (рис. 1 и 3) показывает, что при равномерном начальном распределении температуры в процессе предварительного прогрева температурная неоднородность возрастает вплоть до момента фазового перехода (100 ˚С) на поверхности высушиваемого объекта. Таким образом, уже предварительное моделирование показало

важность учета фазы предварительного прогрева влажного материала, так как на этой стадии формируется температурный профиль, отличающийся значительной неоднородностью, что особо важно, так как температурная неоднородность непосредственно влияет на качество пищевого продукта. Подтверждена возможность учета анизотропии в процессах теплообмена при использовании объемной математической модели переноса с распределенными параметрами. Представленные в статье результаты исследования вносят существенный новый вклад в развитие анизотропного переноса тепла при обосновании процесса производства морепродуктов на основе предложенной модели математического описания процесса, которая позволяет по гравиметрическим данным динамики среднего влагосодержания восстанавливать динамику прогрева высокобелкового продукта, что является основой для лучшего понимания процессов термообработки на основе существующих концепций денатурации белковой составляющей морепродуктов. Использование этих восстановленных данных температуры и влажности в дальнейшем позволит оптимизировать технологические режимы термообработки пищевого сырья.

Список использованной литературы:

1. *Ustinova M.E., Yashonkov A.A.* Experimental studies into the kinetics of the process of vacuum drying of carrot chips // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. vol. 640. Article 022011. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022011.
2. *Рудобашта С.П.* Современное состояние и направления развития теории и практики сушки // Современные энергосберегающие тепловые технологии: сборник научных трудов 7-ой Международной научно-практической конференции. М., 2020. С. 13-22.
3. *Gukasyan A.V., Koshevoy E.P., Kosachev V.S.* Two-dimensional mathematical model of oil-bearing materials in extrusion-type transportation over rectangular screw core // Journal of Physics: Conference Series. 2018. vol. 1015. Article 032051. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032051.
4. *Кошевой Е.П., Косачев В.С., Меретуков З.А.* Теоретическое рассмотрение деформирования материала на выходе экструдера // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2004. № 5-6. С. 86-88.
5. *Fiapshev A., Kilchukova O., Shekikhachev Y., Khamokov M. and Khazhmetov L.* Mathematical model of thermal processes in a biogas plant // MATEC Web Conf. 2018. Vol. 212. Article 01032. DOI: 10.1051/matecconf/201821201032.
6. *Бурдо О.Г., Безбах И.В., Зыков А.В., Омар Саид Ахмед.* Повышение энергетической эффективности процессов обезвоживания пищевого сырья // Интегрированные технологии и энергосбережение. 2008. № 2. С. 23-28.
7. *Подгорный С.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С.* Термодинамический подход в теории сушки // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 4. С. 88-91.

8. *Ganguly A, Varma N, Sane P, Bogner R, Pikal M, Alexeenko A.* Spatial variation of pressure in the lyophilization chamber part-I: computational modeling // AAPS PharmSciTech. 2017. Vol. 18. Iss. 3. P. 577-585. DOI: 10.1208/s12249-016-0513-3.
9. *Слезов В.В., Кутовой В.А., Николайчук Л.И.* К теории испарения воды при термовакуумной сушке // Промышленная теплотехника. 2006. Т. 28. № 5. С. 54-58.
10. *Farid M.M.* A new approach to modeling of single droplet drying // Chem. Eng. Sci. 2003. Vol. 58. P. 2985-2993. DOI: 10.1016/s0009-2509(03)00161-1.
11. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
12. *Рыжкова С.М., Кручинина В.М.* Тенденции потребления рыбы и продуктов ее переработки в России // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технология. 2020. С. 181-189. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-2-181-189.
13. *Ершов А.М., Пахольченко В.А.* Опыт внедрения современных технологий сушки и копчения рыбы на базе малых инновационных предприятий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6 (2). С. 367-370.
14. *Иванова Е.Е., Запорожская С.П., Касьянов Д.Г., Косенко О.В.* О перспективах выращивания и переработки теплолюбивых рыб в Краснодарском крае // Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения: материалы международной научно-практической конференции. 2020. С. 178-185.
15. *Макаров А.В., Максименко Ю.А., Дяченко Э.П.* Исследование оптических и терморадиационных характеристик вспененного раствора желатина из отходов переработки рыбы // Известия КГТУ. 2020. № 56. С. 88-96.

References:

1. Ustinova M.E., Yashonkov A.A. Experimental studies into the kinetics of the process of vacuum drying of carrot chips. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 640, article 022011. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022011. (In English).
2. Rudobashta S.P. Sovremennoe sostoyanie i napravleniya razvitiya teorii i praktiki sushki [The current state and directions of development of the theory and practice of drying]. *Sbornik nauchnykh trudov 7 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye energosberegayushchie teplovye tekhnologii»* [Collection of scientific papers of the 7th International Scientific and Practical Conference «Modern energy-saving thermal technologies»]. Moscow, 2020, pp. 13-22. (In Russian).
3. Gukasyan A.V., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Two-dimensional mathematical model of oil-bearing materials in extrusion-type transportation over rectangular screw core. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1015, article 032051. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032051. (In English).
4. Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Meretukov Z.A. Termodinamicheskiy podkhod v teorii sushki [Thermodynamic approach in drying theory]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* [News of institutes of higher education. Food technology], 2015, no. 4, pp. 88-91. (In Russian).
5. Fiapshev A., Kilchukova O., Shekikhachev Y., Khamokov M. and Khazhmetov L. Mathematical model of thermal processes in a biogas plant. *MATEC Web Conf.*, 2018. vol. 212, article 01032. DOI: 10.1051/matecconf/201821201032. (In English).
6. Burdo O.G., Bezbakh I.V., Zykov A.V., Omar Said Akhmed. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti protsessov obezvozhivaniya pishchevogo syr'ya [Increasing the energy efficiency of the processes of dehydration of food raw materials]. *Integrirovannye tekhnologii i energosberezhenie* [Integrated technologies and energy saving], 2008, no. 2, pp. 23-28. (In Russian).
7. Podgornyy S.A., Koshevoy E.P., Kosachev V.S. Termodinamicheskiy podkhod v teorii sushki [Thermodynamic approach in drying theory]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* [News of institutes of higher education. Food technology], 2015, no.

4, pp. 88-91. (In Russian).
8. Ganguly A, Varma N, Sane P, Bogner R, Pikal M, Alexeenko A. Spatial variation of pressure in the lyophilization chamber part-I: computational modeling. *AAPS PharmSciTech*, 2017, vol. 18. iss. 3, pp. 577-585. (In English). DOI: 10.1208/s12249-016-0513-3.
9. Slezov V.V., Kutovoj V.A., Nikolajchuk L.I. K teorii ispareniya vody pri termovakuumnoj sushke [To the theory of water evaporation during thermovacuum drying]. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial heat engineering], 2006, vol. 28, no 5, pp. 54-58. (In Russian).
10. Farid M.M. A new approach to modeling of single droplet drying. *Chem. Eng. Sci.*, 2003, vol. 58, pp. 2985-2993. (In English). DOI: 10.1016/s0009-2509(03)00161-1.
11. Lykov A.V. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of thermal conductivity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1967, 600 p. (In Russian).
12. Ryzhkova S.M., Kruchinina V.M. Tendencii potrebleniya ryby i produktov ee pererabotki v Rossii [Trends in the consumption of fish and its processed products in Russia]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologiya – Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2020, pp.181-189. (In Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2020-2-181-189.
13. Ershov A.M., Pahol'chenko V.A. Opyt vnedreniya sovremennyh tekhnologij sushki i kopcheniya ryby na baze malyh innovacionnyh predpriyatij [Experience in the introduction of modern technologies for drying and smoking fish on the basis of small innovative enterprises]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2013, vol. 15, no. 6 (2), pp. 367-370. (In Russian).
14. Ivanova E.E., Zaporozhskaya S.P., Kas'yanov D.G., Kosenko O.V. O perspektivakh vyrashchivaniya i pererabotki teplolyubivykh ryb v Krasnodarskom krae [About the prospects of growing and processing heat-loving fish in the Krasnodar Territory]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Biotekhnologicheskie, ekologicheskie i ekonomicheskie aspekty sozdaniya bezopasnykh produktov pitaniya spetsializirovannogo naznacheniya»* [Materials of the international scientific and practical conference “Biotechnological, environmental and economic aspects of creating safe food for specialized purposes”]. 2020, pp. 178-185. (In Russian).
15. Makarov A.V., Maksimenko Yu.A., Dyachenko E.P. Issledovanie opticheskikh i termoradiatsionnykh kharakteristik vspenennogo rastvora zhelatina iz otkhodov pererabotki ryby [Study of optical and thermoradiation characteristics of a foam solution of gelatin from fish processing waste]. *Izvestiya KGTU* [KSTU News], 2020, no. 56, pp. 88-96. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Яшонков Александр Анатольевич	канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе,82 jashonkov@ranbler.ru
Yashonkov Alexander Anatolyevich	Ph.D. (Engin.), Associate professor, Head of the Department of machines and apparatus for food production Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 jashonkov@ranbler.ru
Устинова Мария Эдуардовна	ассистент кафедры машин и аппаратов пищевых производств Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 mapp7@mail.ru
Ustinova Maria Eduardovna	assistant at the Department of machines and apparatus of food production Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82

	mapp7@mail.ru
Косачев Вячеслав Степанович	д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения Кубанский государственный технологический университет 350072, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2 vs.kosachev@gmail.com
Kosachev Vyacheslav Stepanovich	Dr. Sci. (Engin.), Professor, Professor of the Department of Technological Equipment and Life-Support Systems Kuban State Technological University 350072, Krasnodar, Moskovskaya str., 2 vs.kosachev@gmail.com

УДК 338.47:656 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_287**

Алексахина Л.В.

КРЫМСКИЕ МОРСКИЕ ПОРТЫ: ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрен уровень использования портовой инфраструктуры крымских морских портов на современном этапе на основе оценки загрузки и резерва использования портовых мощностей, сформированных для полноценного функционирования вертикально-интегрированного цикла по созданию качественного транспортно-логистического продукта. Выявлено современное состояние и тенденции развития крымских морских портов, представлена динамика финансовых результатов, дана оценка их деловой активности и финансового состояния: финансовой устойчивости и относительных показателей ликвидности на основе использования традиционных методов, а также представлены результаты оценки уровня экономической безопасности естественного монополиста на основе применения индуктивного метода. Сформулирована проблемная ситуация в отрасли и обозначены ее причины, обоснованы направления сохранения портового хозяйства Крыма с возможностью последующего развития данного сегмента регионально-отраслевого пространства.
Ключевые слова: портовая инфраструктура, мощность, оценка, экономическая безопасность, индикаторы.

Aleksakhina L.V.

CRIMEAN SEAPORTS: STATUS INDICATORS

Abstract. The article considers the level of use of the port infrastructure of the Crimean seaports at the present stage is considered on the basis of an assessment of the loading and reserve use of port facilities formed for the full functioning of a vertically integrated cycle to create a high-quality transport and logistics product. The current state and development trends of the Crimean seaports are revealed, the dynamics of financial results are presented, an assessment of their business activity and financial condition is given: financial stability and relative liquidity indicators based on the use of traditional methods, and the results of assessing the level of economic security of a natural monopolist based on the use of the inductive method are presented. The problematic situation in the industry is formulated and its causes are identified, the directions of preserving the port economy of the Crimea with the possibility of further development of this segment of the regional-industrial space are substantiated.
Keywords: port infrastructure, capacity, assessment, economic security, indicators.

Введение. Системообразующая и коммуникационная роль объектов морской транспортной инфраструктуры в экономике и в социальной сфере приморских регионов неоспорима, ее значительный вклад в обеспечение их безопасности и в развитие экономической системы, особенно в современных геополитических условиях, актуализирует рассмотрение широкого спектра вопросов применительно к данному сегменту регионально-отраслевого пространства: от сложившегося экономического положения и динамики результатов хозяйствования, степени удовлетворения потребностей регионов в

качественном транспортно-логистическом продукте, уровня экономической безопасности, проблемных ситуаций в отрасли и причин их возникновения, до стратегических направлений и тактических аспектов развития отрасли. Особое значение имеет рассмотрение этих вопросов применительно к Республике Крым, в связи с выгодным экономико-географическим положением, протяженной береговой линией и удобным размещением производственных мощностей морских портов.

Целью исследования является оценка экономического положения, динамики результатов хозяйствования и уровня экономической безопасности крупного представителя портового хозяйства Республики Крым – субъекта естественной монополии – Государственного унитарного предприятия «Крымские морские порты».

Материалы и методы исследования. В современной научной литературе большое внимание уделяется вопросам оценки инфраструктурного обеспечения регионов, в частности, морского портового хозяйства [1-6], уровня экономической безопасности субъектов хозяйствования [7-9] и стратегированию их развития в сфере морского транспорта и портового хозяйства, в частности [10-12]. Существенный интерес к разным аспектам данной предметной области со стороны отечественных и зарубежных учёных и практиков обоснован все более актуализирующейся необходимостью обеспечения национальной и региональной безопасности и высоким динамизмом протекающих экономических процессов, требующих опережающего развития инфраструктуры, что для приморских регионов выводит на первый план проблемы развития морского транспорта и морских портов. Региональная же специфика Республики Крым на данном этапе: наличие ряда ограничений для экономического развития региона [13], обусловленных подходом мирового сообщества к вопросу принадлежности региона и применением санкционного пакета обусловливает интерес к оценке влияния геополитического фактора на функционирование портового хозяйства Республики Крым.

Исследование основано на использовании принципов системного и комплексного подходов. Существенная роль отведена методам экономико-

статистического анализа, позволившим выявить состояние и тенденции развития портового хозяйства; методам финансового анализа, которые позволили оценить финансовое состояние портового хозяйства и индуктивному методу оценки уровня экономической безопасности, позволившему на основе расчета индикаторов и сопоставления полученных расчетных значений с рекомендуемыми получить представление об уровне экономической безопасности ряда портов Республики Крым.

Результаты исследования и их обсуждение. Большая часть портовой инфраструктуры Республики Крым сосредоточена в Государственном унитарном предприятии «Крымские морские порты» (далее – ГУП РК «КМП»), имеющем в своей структуре следующие филиалы: Госгидрография, Евпаторийский, Керченский, Феодосийский и Ялтинский торговые порты. Функционально-компонентная структура ГУП РК «КМП» представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 – Функционально-компонентная структура ГУП РК «КМП»

Источник: составлено автором с использованием [14]

При этом специализация отдельных элементов филиальной сети предприятия различна, основы чего были заложены еще при проектировании и строительстве объектов морской транспортной инфраструктуры в период СССР. Широкий спектр услуг, оказываемых филиальной сетью предприятия, позволяет говорить о сформированных портовых мощностях для полноценного функционирования вертикально-интегрированного цикла по созданию качественного транспортно-логистического продукта.

На основе информации, опубликованной субъектом естественной монополии на официальном сайте [14], полученной из открытого источника, в связи с чем не являющейся конфиденциальной, на рисунке 2 представлена загрузка производственной мощности ГУП РК «КМП» и его филиалов по состоянию на конец 2020 г. и конец 2021 г.

Так, загрузка производственной мощности ГУП РК «КМП» по состоянию на декабрь 2020 г. и декабрь 2021 г. не превышает 30 % (27,11 % и 28,6 % соответственно), хотя и имеет место незначительная тенденция к росту коэффициента использования производственной мощности. На фоне существенной недозагрузки производственной мощности по перевалке грузов в целом по ГУП РК «КМП», степень использования производственной мощности варьирует в исследуемой совокупности, а размах вариации коэффициента загрузки производственной мощности по филиалам предприятия очень значителен – от 69,83 % до 94,92 %. При этом наиболее загружены мощности Евпаторийского торгового порта, доля которого в фактической производственной мощности морских торговых портов ГУП РК «КМП составляет лишь 16 % (рис. 3). тогда как производственные мощности Феодосийского торгового порта с долей 25 % от фактической мощности предприятия загружены лишь на 5,08 % по состоянию на декабрь 2021 г. Также существенный резерв производственной мощности по перевалке грузов характерен для Керченского торгового порта (83,92 %), который имеет в распоряжении 50 % всей мощности предприятия, что значительно повышает уровень затратности погрузо-разгрузочных работ.

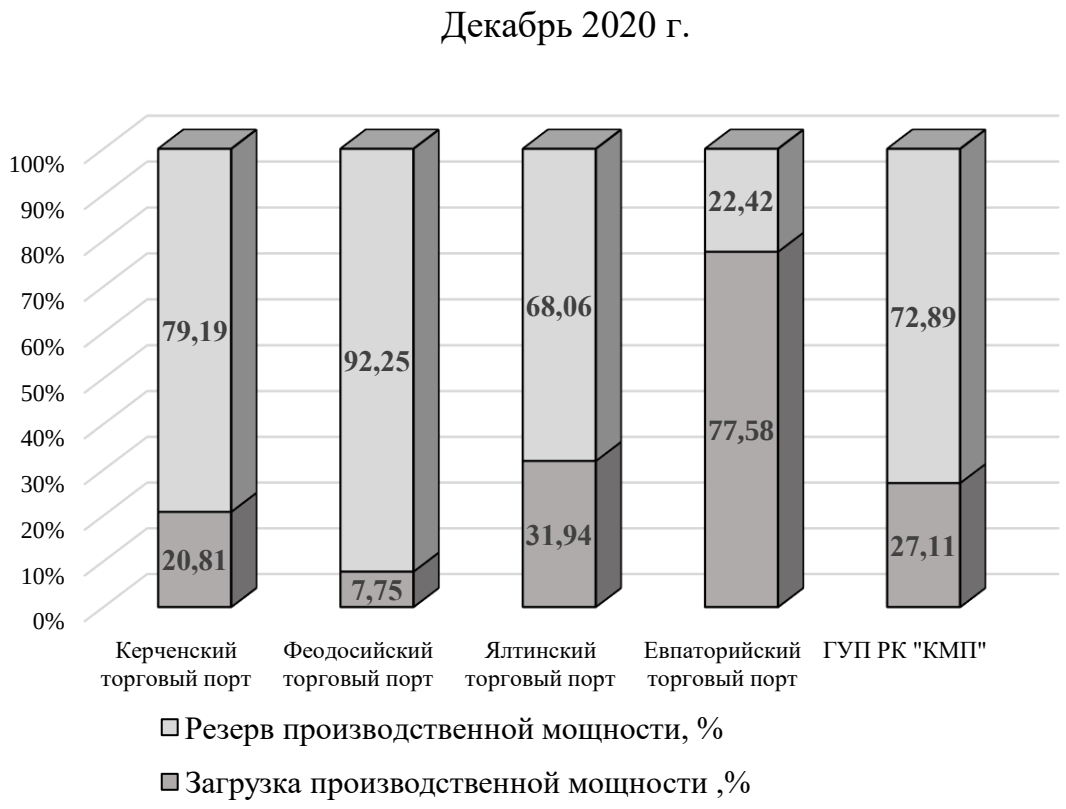


Рисунок 2 – Загрузка производственной мощности по перевалке грузов ГУП РК «КМП» и его филиалов по состоянию на декабрь 2020 г. и декабрь 2021 г., %

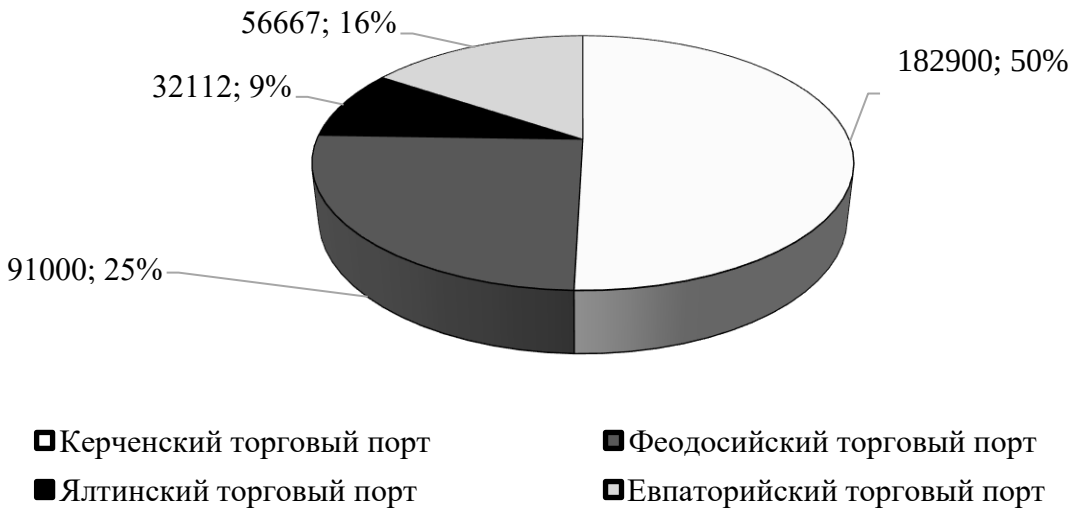


Рисунок 3 – Фактическая производственная мощность морских торговых портов ГУП РК «КМП» по состоянию на декабрь 2021 г., т

Представленные на рисунке 4 данные о производственной мощности и объёме обязательств по заключенным ГУП РК «КМП» в январе 2021 г. договорам в разрезе номенклатурных групп грузов позволяют констатировать, что мощности по перевалке металлолома и металлопроката в обозначенном периоде не использовались, вместе с этим существенно недоиспользованы мощности по перевалке инертных и рудных грузов, хотя фактический объем перевалки по данному виду грузов доминирует по сравнению с другими номенклатурными группами, что связано с инфраструктурных объектов региона (автомобильных дорог), а также с возведением на территории полуострова заданий и сооружений в рамках Федеральных целевых программ, корпоративного и индивидуального строительства.

Таким образом, в связи с ограниченностью грузопотоков, проходящих через порты полуострова, производственные мощности морских портов региона являются на данный момент избыточными, ибо во избежание применения санкционных мер со стороны ЕС и США к грузо- и судовладельцам, последние предпочитают осуществлять перевалку груза на материковой части РФ (в том числе через частные грузовые терминалы), а доставка экспортных грузов

железнодорожным транспортом в морские порты Крыма существенно затратнее, чем в другие порты РФ.

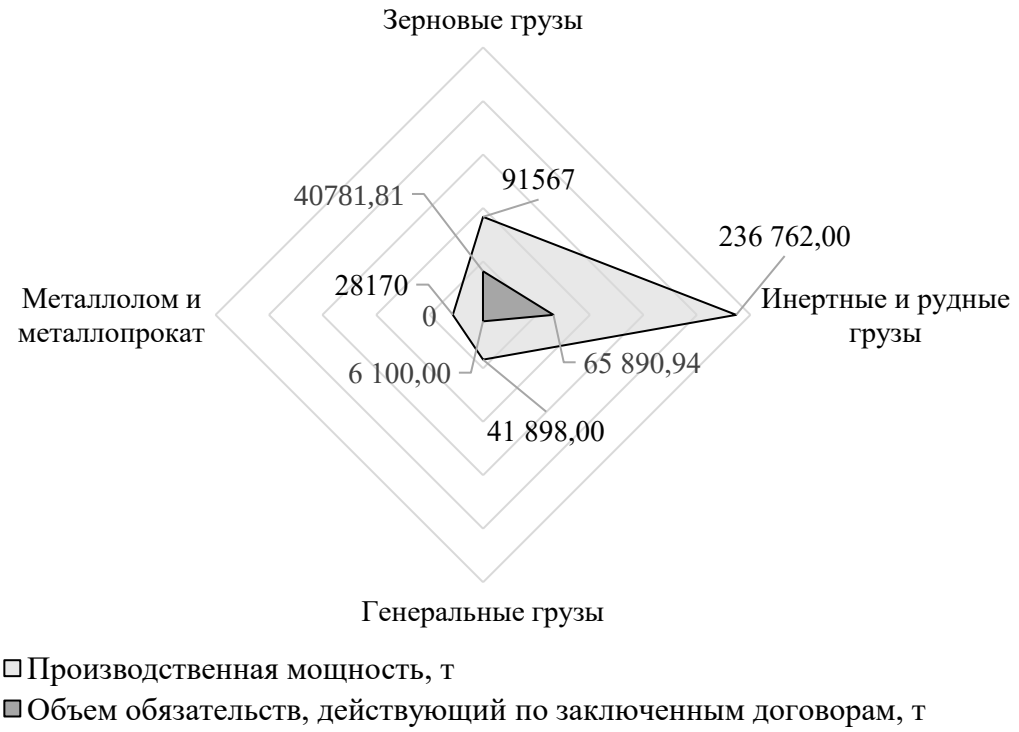


Рисунок 4 – Производственная мощность и объем обязательств по заключенным ГУП РК «КМП» в январе 2021 г. договорам в разрезе номенклатурных групп грузов

Это приводит к недополучению доходов государственной компанией, негативно отражается на состоянии технико-технологической базы портового хозяйства и подходных каналов, ввиду утраты источников развития и недофинансирования обновления морской инфраструктуры и дефицита средств на проведение дноуглубительных работ, что ограничивает возможности портов по приему судов с большей осадкой.

Недостаточный грузопоток и значительное недоиспользование производственных мощностей сопряжены с отрицательной динамикой показателей деловой активности портового хозяйства ГУП РК «КМП» за 2015-2020 гг. (табл. 1).

Таблица 1 – Динамика показателей деловой активности портового хозяйства ГУП РК «КМП» за 2015-2020 гг.

Показатели	Годы						Средний абсолютный прирост (+,-)	Среднегодовой темп прироста, %
	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
Коэффициент оборачиваемости капитала	0,40	0,39	0,41	0,37	0,28	0,24	-0,03	-9,59
Коэффициент оборачиваемости оборотного капитала	4,08	3,63	3,80	3,72	3,18	2,91	-0,23	-6,54
Коэффициент оборачиваемости собственного капитала	0,43	0,45	0,48	0,44	0,35	0,33	-0,02	-5,18
Коэффициент оборачиваемости запасов	11,90	12,88	13,02	10,60	7,70	6,91	-1,00	-10,29
Коэффициент оборачиваемости кредиторской задолженности	14,62	8,63	6,36	3,65	2,03	1,29	-2,67	-38,43
Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности	9,59	6,66	5,76	6,33	6,99	6,13	-0,69	-8,58

Так, за исследуемый период на предприятии имели место отрицательный средний абсолютный прирост и отрицательный среднегодовой темп прироста коэффициентов оборачиваемости всего капитала, оборотного капитала, собственного капитала, запасов, кредиторской и дебиторской задолженности, что наглядно демонстрирует сложившиеся тенденции к снижению показателей деловой активности рассматриваемого портового хозяйства. Закономерным результатом сложившихся тенденций является недополучение доходов и финансовых результатов хозяйственной деятельности морских портов (рис. 4).

Анализируя данные рисунка 4, можно констатировать, что исследуемые морские порты за период 2014-2020 гг. допустили формирование отрицательных

финансовых результатов, при этом за весь период убыток до налогообложения возрос с 5946 тыс. руб. до 718847 тыс. руб., то есть более, чем в 120 раз.

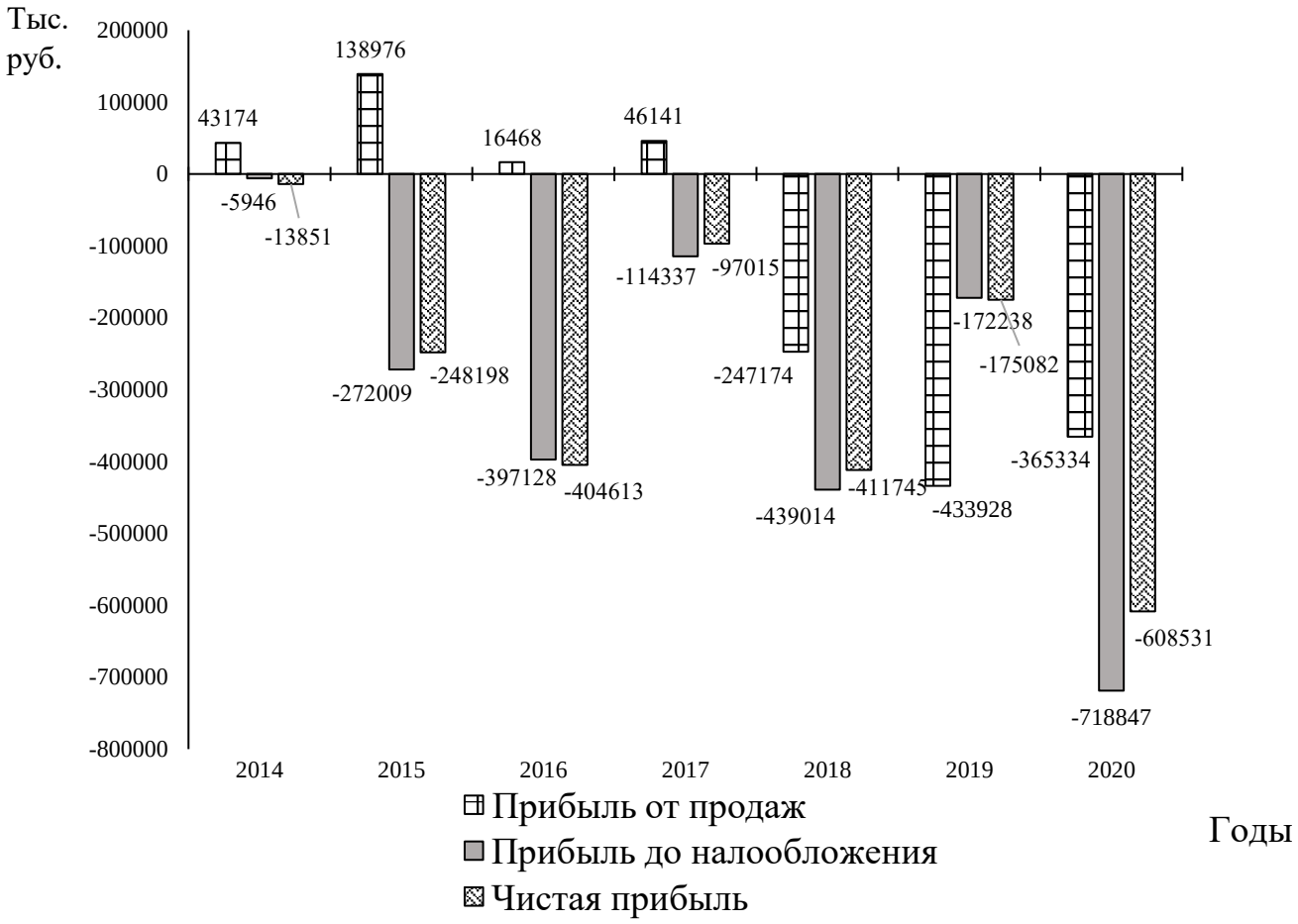


Рисунок 4 – Динамика финансовых результатов деятельности ГУП РК «КМП» за 2014-2020 гг.

Таким образом, прибыль как источник развития отсутствует у ГУП РК «КМП» на протяжении всего изучаемого периода, к тому же значительными темпами ежегодно увеличивается размер его убытка. Рассматривая финансовый результат в качестве объективного измерителя эффективности бизнеса, приходится утверждать, что на данном этапе рассматриваемый сегмент регионально-отраслевого пространства находится в крайне неблагоприятных условиях ведения бизнеса, что также негативно отражается на финансовом состоянии предприятия: его финансовой устойчивости и ликвидности.

Абсолютные показатели финансовой устойчивости и показатели обеспеченности запасов и затрат источниками их формирования ГУП РК «КМП» за 2015-2020 гг. представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Абсолютные показатели финансовой устойчивости и показатели обеспеченности запасов и затрат источниками их формирования ГУП РК «КМП» за 2015-2020 гг., млн руб.

Наименование показателя	Годы						Среднегодовой абсолютный прирост (+,-)
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Собственные оборотные средства	167,60	-47,22	-185,90	-358,73	-581,97	-884,25	-210,37
Собственные и долгосрочные заемные источники формирования запасов и затрат	167,60	-47,22	-185,90	-358,72	-581,96	-884,24	-210,37
Общая величина источников формирования запасов и затрат	553,28	604,41	583,81	514,95	442,97	397,45	-31,16
Излишек (+) или недостаток (-) собственных оборотных средств	-22,27	-217,44	-356,16	-539,33	-765,04	-1051,64	-205,87
Излишек (+) или недостаток (-) собственных оборотных и долгосрочных заемных источников формирования запасов и затрат	-67,85	-217,44	-356,16	-539,33	-765,03	-1051,63	-196,76
Излишек (+) или недостаток (-) общей величины основных источников для формирования запасов и затрат	440,87	434,18	413,55	334,35	259,90	230,06	-42,16

Собственные оборотные средства исследуемых морских портов начиная с 2016 г. имеют отрицательные значения с явно выраженной тенденцией к росту показателя по модулю. В целом за период собственные оборотные средства, собственные и долгосрочные заемные источники формирования запасов и затрат и общая величина источников формирования запасов и затрат характеризовались отрицательным среднегодовым абсолютным приростом, в данной связи сформировался недостаток собственных оборотных средств и собственных оборотных и долгосрочных заемных источников формирования запасов и затрат.

В таблице 3 представлены коэффициенты ликвидности ГУП РК «КМП» за 2015-2020 гг.

Таблица 3 – Показатели ликвидности ГУП РК «КМП» за 2015-2020 гг.

Наименование показателя	Годы						Средний абсолютный прирост (+,-)	Среднегодовой темп прироста, %
	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
Коэффициент покрытия	1,43	0,93	0,76	0,59	0,43	0,31	-0,22	-26,39
Коэффициент быстрой ликвидности	0,94	0,67	0,54	0,38	0,25	0,18	-0,15	-28,22
Коэффициент абсолютной ликвидности	0,29	0,13	0,03	0,02	0,04	0,02	-0,05	-39,82

Согласно данным таблицы 3 в период 2015-2020 гг. ГУП РК «КМП» характеризовалось значениями коэффициентов ликвидности на уровне ниже нормативных, кроме того, сложилась устойчивая тенденция к их снижению, о чем свидетельствуют отрицательные значения средних абсолютных приростов и среднегодовых темпов прироста.

Рассмотрим уровень экономической безопасности предприятия (табл. 4).

Таблица 4 – Индикаторы экономической безопасности ГУП РК «КМП» [9]

Индикаторы	Нормативное (рекомендуемое) значение	Расчетные значения за период 2014-2020 гг.
Загрузка производственных мощностей, %	≥70	<70
Доля инновационной продукции во всей продукции предприятия, %	10-15	0
Доля дебиторской задолженности в сумме активов, %	Стремится к 0	[36,57-49,67]
Соотношение дебиторской и кредиторской задолженностей	1	[1,68-0,15]
Коэффициент финансирования	>0,7	[22,0-2,15]
Коэффициент автономии	≥0,5	[0,95-0,68]
Коэффициент соотношения заёмных и собственных средств	≤0,7	[0,045-0,47]
Коэффициент текущей ликвидности	2-3.5(min 1,5)	[1,43-0,31]
Коэффициент оборачиваемости капитала, об.	Рост	Снижение
Фондоотдача, руб./руб.	Рост	[0,22-0,49] Рост
Коэффициент отдачи собственного капитала	Рост	Снижение
Коэффициент оборачиваемости запасов, об.	Рост	Резкое снижение
Рентабельность перманентного капитала, %	Рост	Нерентабельно, рост убыточности
Рентабельность продукции, %	Рост	

По данным, представленным в таблице 4, можно констатировать крайне низкий уровень экономической безопасности базы исследования. Так, в соответствии с величиной отклонения фактических показателей от пороговых значений индикаторов экономической безопасности состояние морских портов можно характеризовать как кризисное, так как превышены пороговые значения большинства основных индикаторов экономической безопасности.

Выводы. Морские порты Республики Крым, которые рассматривались в рамках данного исследования, характеризуются существенной степенью недозагрузки производственных мощностей по перевалке грузов, что сопряжено с отрицательной динамикой показателей деловой активности портового хозяйства на протяжении всего изучаемого периода, к тому же значительными темпами ежегодно увеличивается размер убытков морских портов, значения же коэффициентов ликвидности находятся на уровне ниже нормативных, кроме того, сложилась устойчивая тенденция к их снижению, сформирован недостаток собственных оборотных средств и собственных оборотных и долгосрочных заемных источников формирования запасов и затрат, характерен крайне низкий уровень экономической безопасности базы исследования, поэтому состояние морских портов можно характеризовать как кризисное. Недополучение доходов государственной компанией негативно отражается на состоянии технико-технологической базы портового хозяйства и подходных каналов, ввиду утраты источников развития и недофинансирования обновления морской инфраструктуры и дефицита средств на проведение дноуглубительных работ, что ограничивает возможности портов по приему судов с большей осадкой. Рассматриваемый сегмент регионально-отраслевого пространства находится в крайне неблагоприятных условиях ведения бизнеса, поэтому для сохранения считаем необходимой адресную поддержку данной отрасли региона путем лоббирования ее интересов в части обеспечения менее затратной доставки экспортных грузов железнодорожным транспортом в морские порты Крыма, в части обеспечения грузопотока путем реализации прямых методов

государственного регулирования данной отрасли, а также диверсификации деятельности портового хозяйства путем расширения спектра услуг для маломерных судов и активизации участия портового хозяйства в создании качественного туристского продукта.

Список использованной литературы:

1. *Бабурина О.Н., Грасс Е.Ю.* Современное состояние и проблемы морского транспорта России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 16. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-problemy-morskogo-transporta-rossii-1 (дата обращения: 05.12.2021).
2. *Бабурина О.Н., Кондратьев С.И.* Морские порты мира и России: динамика грузооборота и перспективы развития // Транспортное дело России. 2016. № 6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/morskie-porty-mira-i-rossii-dinamika-gruzooborota-i-perspektivy-razvitiya (дата обращения: 05.12.2021).
3. *Жусупов С.Д.* Состояние и перспективы развития морских портов России // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2011. № 6 (37). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-morskih-portov-rossii (дата обращения: 05.12.2021).
4. *Титов А.В., Ивашкович Д.Б.* Современные тенденции развития морских портов в мире и их влияние на портовую индустрию России // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2016. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-razvitiya-morskih-portov-v-mire-i-ih-vliyanie-na-portovuyu-industriyu-rossii (дата обращения: 05.12.2021).
5. *Шевченко И.В., Крюченко Н.Н.* Сравнительная характеристика современного состояния морского транспорта и портового хозяйства России и ее зарубежных партнеров // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 48. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnaya-harakteristika-sovremennogo-sostoyaniya-morskogo-transporta-i-portovogo-hozyaystva-rossii-i-ee-zarubezhnyh-partnerov (дата обращения: 05.12.2021).
6. Review of maritime transport. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf (дата обращения: 05.12.2021).
7. *Мошкова Р.А.* Инструменты оценки и моделирования экономической безопасности на транспорте // Транспортное дело России. 2016. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-otsenki-i-modelirovaniya-ekonomicheskoy-bezopasnosti-na-transporte (дата обращения: 05.12.2021).
8. *Подмолодина И.М., Воронин В.П., Коновалова Е.М.* Подходы к оценке экономической безопасности предприятий // Вестник ВГУИТ. 2012. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-otsenke-ekonomicheskoy-bezopasnosti-predpriyatiy (дата обращения: 05.12.2021).
9. *Хиревич Э.Ю.* Определение оптимальной методики оценки экономической безопасности предприятия // Инновационная наука. 2016. № 2. С. 123-127.
10. *Балыбердин А.Л.* О стратегии развития морского транспорта России // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2011. № 2 (33). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-strategii-razvitiya-morskogo-transporta-rossii (дата обращения: 05.12.2021).
11. *Бузина Т.В.* Стратегия инновационного развития компаний морского транспорта // Управление инновациями: теория, методология, практика. 2016. № 16. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-innovatsionnogo-razvitiya-kompaniy-morskogo-

transporta (дата обращения: 05.12.2021).
12. *Liliyani N. W., Harianto, Safari A.* Development of value chain strategy of sea transport services' companies after spin off // RJOAS. 2019. No. 1 (85). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/development-of-value-chain-strategy-of-sea-transport-services-companies-after-spin-off (дата обращения: 05.12.2021).
13. *Костяев С.С. Юшков И.В.* Особенности интеграции и адаптации Крыма в российскую социально-политическую систему // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. 2015. № 4 (20). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-integratsii-i-adaptatsii-kryma-v-rossiyskuyu-sotsialno-politicheskuyu-sistemu (дата обращения: 05.12.2021).
14. Крымские морские порты: официальный сайт. URL: https://crimeaports.ru/ (дата обращения: 05.12.2021).

References:

1. Baburina O.N., Grass E.Yu. Sovremennoe sostoyanie i problemy morskogo transporta Rossii [The current state and problems of Russian maritime transport]. *Nacional'nye interesy: prioritety i bezopasnost'* [National interests: priorities and security], 2013, no. 16. (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-problemy-morskogo-transporta-rossii-1 (accessed 05.12.2021).
2. Baburina O.N., Kondrat'ev S.I. Morskie porty mira i Rossii: dinamika gruzooborota i perspektivy razvitiya [Seaports of the world and Russia: cargo turnover dynamics and development prospects]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport business of Russia], 2016, no. 6. (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/morskie-porty-mira-i-rossii-dinamika-gruzooborota-i-perspektivy-razvitiya (accessed 05.12.2021).
3. Zhusupov S.D. Sostoyanie i perspektivy razvitiya morskikh portov Rossii [State and prospects of development of Russian seaports]. *Transport Rossiiskoi Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike* [Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, Economics], 2011, no. 6 (37). (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-morskih-portov-rossii (accessed 05.12.2021).
4. Titov A.V., Ivashkovich D.B. Sovremennye tendentsii razvitiya morskikh portov v mire i ikh vliyanie na portovuyu industriyu Rossii [Current trends in the development of seaports in the world and their impact on the Russian port industry]. *Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of the ASTU. Series: Marine Engineering and Technology], 2016, no. 1. (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tendentsii-razvitiya-morskih-portov-v-mire-i-ih-vliyanie-na-portovuyu-industriyu-rossii (accessed 05.12.2021).
5. Shevchenko I.V., Kryuchenko N.N. Sravnitel'naya kharakteristika sovremennogo sostoyaniya morskogo transporta i portovogo khozyaistva Rossii i ee zarubezhnykh partnerov [Comparative characteristics of the current state of sea transport and port facilities in Russia and its foreign partners]. *Nacional'nye interesy: prioritety i bezopasnost'* [National interests: priorities and security], 2013, no. 48. (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnaya-harakteristika-sovremennogo-sostoyaniya-morskogo-transporta-i-portovogo-hozyaystva-rossii-i-ee-zarubezhnyh-partnerov (accessed 05.12.2021).
6. Review of maritime transport. (In English). URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf (accessed 05.12.2021).
7. Moshkova R.A. Instrumenty otsenki i modelirovaniya ekonomicheskoi bezopasnosti na transporte [Tools for assessing and modeling economic security in transport]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport business of Russia], 2016, no. 2. (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/instrumenty-otsenki-i-modelirovaniya-ekonomicheskoy-bezopasnosti-na-transporte (accessed 05.12.2021).
8. Podmolodina I.M., Voronin V.P., Konovalova E.M. Podkhody k otsenke ekonomicheskoi bezopasnosti predpriyatii [Approaches to assessing the economic security of enterprises]. *Vestnik*

VGUIT [Bulletin of the VSUET], 2012, no. 4. (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-otsenke-ekonomicheskoy-bezopasnosti-predpriyatiy (accessed 05.12.2021).
9. Khirevich E.Yu. Opredelenie optimal'noi metodiki otsenki ekonomicheskoi bezopasnosti predpriyatiya [Determination of the optimal methodology for assessing the economic security of the enterprise]. *Innovatsionnaya nauka* [Innovative Science], 2016, no. 2, pp. 123-127. (In Russian).
10. Balyberdin A.L. O strategii razvitiya morskogo transporta Rossii [On the strategy of development of maritime transport of Russia]. *Transport Rossiiskoi Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike* [Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, economics], 2011, no. 2 (33). (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-strategii-razvitiya-morskogo-transporta-rossii (accessed 05.12.2021).
11. Buzina T.V. Strategiya innovatsionnogo razvitiya kompanii morskogo transporta [Strategy of innovative development of marine transport companies]. *Upravlenie innovatsiyami: teoriya, metodologiya, praktika* [Innovation management: theory, methodology, practice], 2016, no. 16. (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-innovatsionnogo-razvitiya-kompaniy-morskogo-transporta (accessed 05.12.2021).
12. Liliyani N.W., H., Safari A. Development of value chain strategy of sea transport services' companies after spin off. *RJOAS*, 2019, no. 1 (85). (In English). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/development-of-value-chain-strategy-of-sea-transport-services-companies-after-spin-off (accessed 05.12.2021).
13. Kostyaev S.S. Yushkov I.V. Osobennosti integratsii i adaptatsii Kryma v rossiiskuyu sotsial'no-politicheskuyu sistemu [Features of integration and adaptation of Crimea into the Russian socio-political system]. *Gumanitarnye nauki. Vestnik Finansovogo universiteta Humanities* [Bulletin of the Financial University], 2015, no. 4 (20). (In Russian). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-integratsii-i-adaptatsii-kryma-v-rossiyskuyu-sotsialno-politicheskuyu-sistemu (accessed 05.12.2021).
14. *Krymskie morskie porty: ofitsial'nyi sait* [The official website of the Crimean seaports]. (In Russian). URL: https://crimeaports.ru/ (accessed 05.12.2021)

Сведения об авторах / Information about authors

Алексахина Людмила Викторовна	канд. экон. наук, доцент кафедры экономики Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 lyu6097@yandex.ru
Aleksakhina Lyudmila Viktorovna	Ph.D. (Econ.), Associate Professor at the Department of economics Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 lyu6097@yandex.ru

УДК 338.43 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_302**

Кибенко Е.А., Кибенко В.А.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛЫХ ФОРМ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ

Аннотация. В статье на основе изучения путей повышения эффективности функционирования фермерских хозяйств и конкурентоспособности выпускаемой ими продукции выявлены основные направления развития отечественного аграрного сектора в части организации малых форм хозяйствования. Акцентировано внимание на необходимости адаптации зарубежного опыта развития аграрного сектора экономики применительно к российским условиям хозяйствования. Доказано, что реализация зарубежной практики обеспечения эффективного функционирования малых форм отечественного аграрного производства должна предусматривать создание действующей системы социально ответственных отношений между государством, бизнесом и населением, что, в свою очередь, требует наличия соответствующей институциональной среды. Рассмотрены основные нормативно-правовые меры формирования институциональной системы в аграрном секторе экономики, а также механизмы реализации социальной ответственности в крестьянских хозяйствах.
Ключевые слова: аграрное производство, сельскохозяйственная кооперация, эффективность, крестьянское хозяйство, фермерское хозяйство, социальный эффект.

Kibenko E. A., Kibenko V. A.

FOREIGN EXPERIENCE IN IMPROVING THE EFFICIENCY OF SMALL-SCALE PRODUCTION ACTIVITIES IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF THE ECONOMY

Abstract. In the article, based on the study of ways to improve the efficiency of the functioning of farms and the competitiveness of their products, the main directions of the development of the domestic agricultural sector in terms of organizing small businesses are identified. Attention is focused on the need to adapt foreign experience in the development of the agrarian sector of the economy in relation to the Russian economic conditions. It has been proved that the implementation of foreign practice of ensuring the effective functioning of small forms of domestic agricultural production should provide for the creation of an operating system of socially responsible relations between the state, business and the population, which, in turn, requires an appropriate institutional environment. The main regulatory measures for the formation of the institutional system in the agricultural sector of the economy, as well as the mechanisms for the implementation of social responsibility in peasant farms are considered.
Keywords: agrarian production, agricultural cooperation, efficiency, peasant economy, farm, social effect.

Введение. В современных условиях экономическая деятельность субъектов сферы малого аграрного производства в значительной степени определяет состояние и перспективы национального рынка сельскохозяйственного сырья. Следует также отметить и возрастающую роль

данного сегмента аграрного сектора отечественной экономики как фактора, влияющего на характер социально-экономического развития сельских территорий. В то же время уровень технико-технологического организационно-экономического и информационного обеспечения развития малых форм аграрного производства не соответствует требованиям реалий. Решение существующей проблемы свидетельствует о необходимости применения комплексного системного подхода, который будет учитывать социально-экономическую природу функционирования субъектов малого аграрного производства.

Целью исследования является изучение зарубежного опыта в сфере повышения эффективности производственной деятельности малых форм в аграрном секторе экономики.

Материалы и методы исследования. Теоретической и методической основой исследования являются научные труды ученых по вопросам обеспечения эффективного развития малых форм аграрного производства [1-8].

Так, изучение природы крестьянского хозяйства [2], специфики предложения труда в сельском хозяйстве и факторов его определяющих [1], путей повышения эффективности функционирования фермерских хозяйств и конкурентоспособности выпускаемой ими продукции [4, 5], позволило выявить основные направления развития отечественного аграрного сектора в части организации малых форм хозяйствования. Учитывая недостаточную проработку вопросов эффективного функционирования крестьянских хозяйств в современной отечественной литературе, в статье акцентировано внимание на необходимости адаптации зарубежного опыта развития аграрного сектора экономики применительно к российским условиям хозяйствования.

В процессе исследования использовались следующие методы: абстрактно-логический метод – при выявлении сущности эффективного развития малых форм аграрного производства и обобщении теоретических основ функционирования хозяйств семейного типа; монографический – при

исследовании взглядов ученых на проблемы эффективного функционирования малых форм аграрного производства, а также исследовании зарубежного опыта обеспечения развития малого аграрного бизнеса; анализ и синтез - для анализа особенностей современного состояния и перспектив развития субъектов малого аграрного производства.

Результаты исследования и их обсуждение. Специфический характер дифференциации субъектов малого аграрного производства в системе национальной экономики связан с результатами реформирования колхозно-совхозной системы организации сельскохозяйственного производства, что предопределяет необходимость исследования опыта реформирования сельского хозяйства в странах, где ранее функционирование экономической системы жестко контролировалось государственными учреждениями.

Отметим, что одним из требований эффективного развития малого аграрного предпринимательства в современных условиях является приобретение ими статуса социально-экономического института, выполняющего определенные функции, а также имеющего своих представителей в системе органов власти, как на общегосударственном, так и на региональном уровнях.

Учитывая вышеуказанные обстоятельства, нами были рассмотрены особенности зарубежной организации функционирования субъектов малого аграрного производства в условиях различных экономических моделей. В частности, проанализирована специфика государственной политики в сфере содействия развитию крестьянских хозяйств в Республике Беларусь, принципы функционирования хозяйственной модели в которой длительное время были полностью идентичны отечественной экономической системе.

Так, А. Чеплянский следующим образом характеризует ситуацию с использованием рабочей силы в аграрном секторе данной страны [1]:

1. При увеличении на 1 пункт соотношения среднемесячной заработной платы работников сельского хозяйства и ее среднереспубликанского уровня численность занятого в сельском хозяйстве населения увеличивалась на 6,7 тыс.

чел., а прирост сельского населения на 1000 человек сопровождался ростом числа занятых в аграрном секторе на 476 человек.

2. В аграрных регионах Республики Беларусь предложение труда в большей степени определяется колебаниями численности сельского населения, а в меньшей – относительным уровнем заработной платы [1, с. 54].

То есть, в аграрном секторе данной страны, по аналогии с отечественной ситуацией, имеют место проблемы с эффективным использованием имеющегося ресурсного потенциала (в данном случае, рабочей силы). Это обусловлено сложностями, которые испытывают субъекты малого аграрного производства в процессе организации экономической деятельности.

С целью оптимизации развития малых форм аграрного производства в рамках «Государственной программы развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016-2020 гг.» предусматривается осуществление комплекса мероприятий, направленных на обеспечение условий для развития и поддержки малых форм хозяйствования в сельском хозяйстве [9].

К ним, в соответствии с действующим законодательством Республики Беларусь, относят следующие категории аграриев:

- микроорганизации и малые организации, основным видом деятельности которых является производство продукции сельского хозяйства;
- личные подсобные хозяйства граждан, подсобные хозяйства граждан, занимающихся производством продукции сельского хозяйства с использованием земельных участков, предоставленных в соответствии с действующим законодательством;
- сельскохозяйственные потребительские кооперативы как некоммерческие организации участников, занятых в производстве продукции сельского хозяйства [2].

Следует отметить, что в аграрном секторе Республики Беларусь, по аналогии с соответствующим сегментом национальной экономики, продолжается процесс формирования самодостаточной системы малого

предпринимательства как единственной альтернативы колхозно-совхозной системы организации сельскохозяйственного производства. Как следствие, подавляющее большинство субъектов аграрного предпринимательства составляют фермерские хозяйства, которые представляют собой не только семейное сельскохозяйственное предприятие, но и выполняют важные функции на селе. Именно поэтому в рамках данной программы ставится задача по увеличению количества крестьянских (фермерских) хозяйств.

Также программа предусматривает решение следующих задач:

- развитие малого предпринимательства в сельском хозяйстве;
- поддержка товарного производства сельскохозяйственной продукции в хозяйствах граждан;
- стабилизация производства сельскохозяйственной продукции в хозяйствах граждан;
- развитие кооперации, установление правового статуса сельскохозяйственных потребительских кооперативов;
- прямое финансирование крестьянских (фермерских) хозяйств за счет средств республиканского бюджета в соответствии с законодательством;
- удовлетворение потребностей граждан в товарах (работах, услугах) при производстве сельскохозяйственной продукции;
- организация закупки и сбыта сельскохозяйственной продукции, произведенной в хозяйствах граждан;
- предоставление информационной поддержки через средства массовой информации, глобальную компьютерную сеть Интернет, а также путем проведения семинаров, конференций и других мероприятий с участием представителей малых форм хозяйствования [2].

Чрезвычайно важным в данном аспекте является попытка обеспечить комплексный системный характер развития малых форм аграрного производства, стимулируя при этом хозяйства, которые осуществляют свою деятельность на товарных началах. В результате не только достигается задача по

увеличению количества субъектов малого аграрного предпринимательства, но и сохраняется система социально-экономических связей на уровне сельских территорий.

Кроме того, одной из причин, препятствующих эффективному функционированию крестьянских хозяйств, как в качестве товарного, так и потребительского типов, является отсутствие благоприятной институциональной среды, которая должна формироваться с участием не только соответствующих государственных структур отраслевого направления, но и органов власти на уровне конкретного региона (область, город, село). По нашему мнению, принципиально неверным является точка зрения о необходимости возложения всех задач непосредственно на субъекты малого аграрного производства.

При этом особую значимость приобретает создание системы надлежащего нормативно-правового обеспечения как официального основания экономической деятельности субъектов аграрного производства, прежде всего, товарного типа. Следует отметить, что реализация данного процесса является достаточно длительной и требует четкого осознания стратегических ориентиров дальнейшего функционирования крестьянских хозяйств, а также необходимости ответственности со стороны государственных институтов как фактора, существенным образом влияющего на уровень конкурентоспособности их деятельности.

Показательным в этом случае является процесс формирования системы обслуживающей кооперации для субъектов аграрного бизнеса в США, который начался более 100 лет назад и включал в себя не только организационную, финансовую, но и информационную помощь (табл. 1).

В частности, еще в 1914 г. при Министерстве сельского хозяйства США была создана специальная служба, которая начала заниматься образовательной деятельностью в кооперативах.

Таблица 1 – Основные нормативно-правовые меры формирования институциональной системы в аграрном секторе США

Период	Нормативно-правовые акты	Цель, задачи
1930-1940 гг.	Сельскохозяйственный маркетинговый акт 1929 г. и Акт модификации сельского хозяйства 1933 г. Акт сельскохозяйственных маркетинговых соглашений 1937 г.	Повышение цен на продукты сельского хозяйства, регулирование производственно-хозяйственной деятельности фермеров, рефинансирование задолженности фермеров
1960-1970 гг	Программы продовольственных талонов, бесплатных школьных завтраков 1960-х годов. Сельскохозяйственные акты 70-х годов	Повышение уровня доступности продовольствия на внутреннем рынке, освоение зарубежных рынков, стимулирование экспорта сельскохозяйственной продукции
1980-1990 гг.	Закон 1985 г. «О продовольственной безопасности США», закон 1990 г. «Об охране сельскохозяйственного обеспечения продовольственными товарами»	Создание системы поддержки фермерских хозяйств, которая включала залоговые займы, компенсационные платежи, выплаты фермерам в случае стихийных бедствий. Развитие программы регулирования объемов производства сельскохозяйственных культур. Расходы на сельское хозяйство начали рассматриваться как долгосрочные инвестиции для стабильного развития сельского хозяйства США.
1990 - по настоя-щее время	Сельскохозяйственный акт 1996 г., Акт фермерской безопасности и развития инвестирования в сельской местности 2002 г., Фермерский акт 2014 г.	Программа поддержки аграрного рынка и субсидирование производства основных сельскохозяйственных продуктов («продовольственные товары для мира»). Направлена на оказание поддержки правительству и неправительственным организациям развивающихся стран (страны СНГ, Восточной и Центральной Европы), при переработке и продаже дешевых товаров из США, поддержку свободного предпринимательства. Осуществление комплекса целевых государственных программ для фермеров. Регулирование взаимоотношения государства, производителей и потребителей сельскохозяйственной продукции.

Закон Каннера-Волстеда, принятый в 1922 году, освободил фермеров от антимонопольного законодательства для организации маркетинговых кооперативов. В течение 1923-1926 гг. была создана Ассоциация

производственного кредита (предоставляло возможность фермерам получать кратко- и среднесрочные кредиты) и службу сельскохозяйственных кооперативов в системе Министерства сельского хозяйства США.

В период 1933-1935 гг. правительством была окончательно сформирована фермерская кредитная система для помощи как фермерам, так и созданным ими кооперативам, а также принят Закон «Об электрификации сельской местности», заложивший основы для финансовой помощи кооперативным организациям, оказывающим электрические и телефонные услуги в сельской местности.

Рассматривая перспективы процесса развития кооперативного строительства на базе крестьянских хозяйств, следует отметить такой важный аспект, как готовность отечественных представителей малого аграрного производства к активному межхозяйственному сотрудничеству и способность создавать объединения кооперативно-корпоративного типа, позволяющие совместно осуществлять производственно-хозяйственную деятельность. Одной из основных проблем эффективного функционирования соответствующих интеграционных образований является недостаточная информированность подавляющего большинства отечественных аграриев о выгодах их участия в кооперативной организации, отсутствие практических навыков по созданию и организации эффективной деятельности производственных и обслуживающих кооперативов и т.п.

В ЕС системы сельскохозяйственного консультирования есть в каждой стране; это одно из требований Общей сельскохозяйственной политики. Советники консультируют по всем вопросам – начиная от создания семейных ферм и сельскохозяйственных кооперативов, толкования законодательства и помощи в экспорте продукции, и заканчивая тем, как правильно кормить и доить коров, или как лучше организовать пастбище. В Европе советники консультируют и по развитию несельскохозяйственного предпринимательства в сельской местности, сельского зеленого туризма, а также помогают сельским общинам решать ряд проблем развития сельских территорий [1].

В данном случае особенно актуален опыт создания системы консультирования в аграрном секторе Польши, учитывая тот факт, что подавляющее большинство сельскохозяйственных предприятий в данной стране составляют малые хозяйства, площадь угодий которых составляет от 5 до 10 га.

Увеличение количества субъектов малого аграрного предпринимательства возможно за счет юридического оформления статуса личных крестьянских хозяйств товарного типа и изучение принципов их успешного функционирования [10].

В соответствии с действующим законодательством, в Польше создан Центр сельскохозяйственного консультирования, основной задачей которого является разработка комплекса мер по повышению конкурентоспособности и уровня доходов фермерских хозяйств, в том числе содействие устойчивому развитию сельских территорий за счет роста профессионализма фермеров и других сельских жителей. В рамках деятельности Центра реализуются следующие направления: подготовка и внедрение единых методов работы местных совещательных служб при выполнении своих обязанностей; подготовка и передача совещательным центрам информационных и учебных материалов; анализ и разработка прогнозов развития сельскохозяйственной совещательной деятельности; подготовка персонала центров консультирования; проведение подготовки советников в области устойчивого развития сельских территорий; развитие и поддержка центральной информационной системы и базы данных для сельскохозяйственных совещательных услуг; обучение, демонстрации, семинары, конференции и другие мероприятия по развитию сельского хозяйства и развития сельских районов и органического земледелия; координация задач, выполняемых центрами консультирования; распространение результатов исследований в сельскохозяйственной практике [3].

Вместе с тем, наибольший интерес представляет опыт американских и канадских фермеров, так как практически любому региону России в Северной Америке есть агроклиматический аналог [4].

Отметим, что кооперация также развита во Франции, Италии, Бельгии, Великобритания и других странах ЕС.

Так, во Франции первые кооперативные хозяйства появились еще в XII веке. Кооперативы занимаются приемом, переработкой и реализацией готовой продукции. При этом государство поддерживает развитие кооперации на законодательном уровне [5, с. 59].

В Италии в кооперативы объединены почти все фермеры, в них производится более 3/4 сельскохозяйственной продукции страны [6, с. 52].

Фермерское хозяйство является основной производительной единицей аграрного комплекса Бельгии. Около 2 % занятого в сельском хозяйстве населения Бельгии обеспечивает страну основными продуктами питания, кроме того, значительную часть произведенного продовольствия направляют на экспорт [7, с. 40].

В Великобритании около 70 % фермеров являются членами двадцати крупных снабженческих кооперативов. Через сеть сбытовых кооперативов реализуется порядка 20 % фермерской продукции. Большинство кооперативов финансируется паевыми долями членов кооператива, а, в случае необходимости, используются небольшие банковские кредиты [7, с. 42].

В Швеции практически все фермеры являются членами местных молочных или мясных ассоциаций (союзов), что позволяет им через кооперативы реализовывать более 85 % продукции [8, с. 30].

Таким образом, международный опыт свидетельствует, что активное развитие консультирования как составляющей системы институционального обеспечения эффективного функционирования субъектов малого аграрного производства способствует процессу развития сельских территорий, что особенно актуально в связи с разработкой государственных программ по децентрализации власти и делегированию административно-хозяйственных полномочий сельским общинам.

Следует отметить, что понятие «социальная ответственность» достаточно

широкое и охватывает комплекс современных социально-экономических отношений на макро- мезо- и макроуровнях. В общем смысле под этой категорией понимается система обязательств, которые добровольно принимают на себя физические и юридические лица, соглашаясь выполнять санкционные меры в случае их нарушения. На практике социальная ответственность реализуется в форме политической, религиозной, моральной и корпоративной ответственности. Последняя форма наиболее активно изучается отечественными и зарубежными учеными, поскольку именно активное участие субъектов предпринимательской деятельности в системе социально-экономических отношений является неотъемлемой составляющей функционирования национальной.

Формирование системы социально ответственных отношений на уровне национальной экономики предусматривает создание механизма взаимодействия между государственными институтами, представителями бизнес-среды и населением. Каждый из участников, в свою очередь, должен взять на себя четко определенные обязательства, обусловленные его статусом и социально-экономической природой. Так, в частности, на общегосударственные и местные органы власти возлагается комплекс обязательств по поводу создания надлежащей нормативно-правовой базы для эффективного функционирования предпринимательской среды, а также функции контроля по уровню соответствия использования рабочей силы, природных ресурсов (трудовое и экологическое законодательство) и др. Деятельность представителей бизнеса должна не только соответствовать нормам действующего законодательства, но и способствовать улучшению социального климата на уровне конкретного населенного пункта, а также обеспечивать профессиональный рост наемных работников в условиях комфортной жизнедеятельности их и их семей (социальная ответственность бизнеса).

Как следствие, сельское хозяйство является в определенной степени образом жизни, который формирует специфическую ментальность и

собственную систему ценностей. Наличие тесных личных и родственных связей между жителями сельских территорий объединяет их в единый целостный организм с собственными взглядами и потребностями, а также способствует созданию организационных формирований, где владелец имущественных, трудовых ресурсов, равно как и владелец конечного результата, отождествляются. Именно поэтому, по нашему мнению, более полно отражает специфику экономической деятельности данных субъектов хозяйствования термин «крестьянское хозяйство». Это понятие объединяет в себе микроэкономическую специфику домохозяйств с крестьянским способом хозяйствования.

Признаками крестьянского хозяйства являются:

• индивидуальная (семейная) собственность на средства производства и произведенный продукт;

• минимальное использование наемного труда;

• мелкотоварный характер производства;

• преимущественное использование собственных средств производства.

Крестьянские хозяйства используют преимущественно труд членов семьи и собственные земельные площади. Поэтому, в отличие от предпринимательских структур, в этих крестьянских хозяйствах избегают применения опасных для здоровья человека технологических приемов. В то же время от личных крестьянских хозяйств и сельских домохозяйств данная категория производителей отличается товарным характером производства, возможностью деятельности в городах.

Уникальность крестьянских хозяйств в этом аспекте определяется их двойственной природой, поскольку они, с одной стороны, представляют семью, проживающую в сельской местности, а с другой – они интегрированы в соответствующие социально-экономические процессы. Вместе с этим экономической базой функционирования крестьянского хозяйства является, прежде всего, эффективная производственная деятельность в аграрной сфере, за

счет которой обеспечивается приемлемый для членов-владельцев хозяйства уровень удовлетворения материальных и духовных потребностей.

В отличие от обычного субъекта предпринимательства, деятельность крестьянского хозяйства (особенно личных подсобных хозяйств) в большей степени определяется воздействием неправовых составляющих, среди которых важное место занимает нравственная социальная ответственность (рис. 1).

Рисунок 1 – Реализация механизмов социальной ответственности в крестьянских хозяйствах

Таким образом, объект исследования сочетает в себе две составляющие модели социально ответственной экономики. Уникальный статус крестьянских

хозяйств обусловливает необходимость привлечения данной составляющей аграрного производства к участию в решении как проблем развития отрасли, так и вопросов, связанных с обеспечением процесса развития сельских территорий.

Наличие благоприятного семейного климата, адекватного восприятия всеми членами семьи общего вектора деятельности, а также необходимости собственного личного участия являются обязательными условиями функционирования сельского хозяйства, как потребительского, так и товарного типов.

Еще одними важными факторами, в значительной мере определяющими характер формирования нравственной социальной ответственности данного сегмента аграрного производства, являются особенности взаимоотношений в пределах сельской общины, степень интеграции сельского хозяйства и его членов в систему социально-экономических отношений на уровне населенного пункта. Эффективную деятельность крестьянского хозяйства как потребительского, так и товарного типов, невозможно осуществлять в условиях социального вакуума, игнорируя действующие правила межличностных отношений.

Важным направлением развития крестьянских хозяйств на принципах социальной ответственности является формирование системы социального партнерства с участием сельских общин, представителей товарного и мелкотоварного сегментов аграрного производства, а также органов государственной и местной власти. Принятие положений декларации социального партнерства позволит четко зафиксировать перечень взаимных обязательств и будет способствовать улучшению сотрудничества государства и аграриев.

Выводы. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы: реализация зарубежной практики обеспечения эффективного функционирования малых форм отечественного аграрного производства должна предусматривать создание действующей системы

социально ответственных отношений между государством, бизнесом и населением, что, в свою очередь, требует наличия соответствующей институциональной среды. Выделены особенности применения зарубежного опыта по обеспечению эффективного функционирования малых форм хозяйствования, основными из которых являются следующие:

- специфический характер дифференциации субъектов малого аграрного производства в системе национальной экономики;
- низкий уровень институционализации субъектов аграрного производства семейного типа;
- отсутствие со стороны государства стратегического видения роли субъектов малого аграрного производства, как селоформирующего и селосоздающего фактора.

Список использованной литературы:

1. *Чеплянский А.В.* Предложение труда в сельском хозяйстве и факторы его определяющие // Аграрная экономика. 2014. № 4. С. 49-54.
2. *Чаянов А.В.* Природа крестьянского хозяйства // Труды Всероссийского съезда Лиги аграрных реформ. М., 1918. С.4-5.
3. *Коринец Р.* Кто такой советник и почему он крайне необходим фермеру. URL: https://agroinsider.com.ua/2018/06/04/xto-takij-doradnik-i-chomu-vin-vkraj-neobxidnij-fermeru/ (дата обращения: 22.12.2021).
4. *Подобай Н.В.* Пути повышения эффективности функционирования крестьянских (фермерских) хозяйств в Брянской области // Экономика сельского хозяйства России. 2013. № 3. С. 46-56.
5. *Никитина А.А.* Развитие крестьянских (фермерских) хозяйств: на примере Республики Башкортостан: дис. … канд. экон. наук: 08.00.05: Анжелика Александровна Никитина. Уфа, 2006. 233 с.
6. *Шимко Д.С., Кубрак М.С., Володько О.В.* Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса в Республике Беларусь // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство. 2016. № 4 (12). URL: https://aeconomy.ru/news/economy/sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya/ (дата обращения: 22.12.2021).
7. *Белоус В.Н.* Организационно-экономическое обоснование повышения конкурентоспособности и эффективности крестьянских (фермерских) хозяйств: дис. … канд. экон. наук: 08.00.05 / Виталий Николаевич Белоус. Москва, 2001. 182 с.
8. *Феронова А.В.* Повышение экономической эффективности функционирования крестьянских (фермерских) хозяйств: дис. … канд. экон. наук: 08.00.05 / Анна Владимировна Феронова. Ставрополь, 2008. 203 с.
9. О Государственной программе развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016-2020 годы и внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 июня 2014 г. № 585: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 11.03.2016 г. № 196. URL: https://agroforum.by/topic/1354-gosudarstvennaia-programma-razvitiia-agrarnogo/ (дата обращения: 22.12.2021).

10. Совещательные службы Польши. URL: http://www.dorada.org/ua/files/AgriculturalExtensionInTheWorld/Poland.pdf/ (дата обращения: 22.12.2021).

References:

1. Cheplyansky A.V. Predlozheniye truda v sel'skom khozyaystve i faktory yego opredelyayushchiye [Labor supply in agriculture and its determining factors]. *Agrarnaya ekonomika* [Agrarian economy], 2014, no. 4, pp. 49-54. (In Russian).
2. Chayanov A.V. Priroda krest'yanskogo khozyaystva [The nature of the peasant economy]. *Trudy Vserosiyskogo s"yezda Ligi agrarnykh reform* [Proceedings of the All-Russian Congress of the League of Agrarian Reforms]. Moscow, 1918, pp. 4-5. (In Russian).
3. Korinets R. *Kto takoy sovetnik i pochemu on krayne neobkhodim fermeru* [Who is an adviser and why is he extremely necessary for a farmer]. (In Russian). Available at: https://agroinsider.com.ua/2018/06/04/xto-takij-doradnik-i-chomu-vin-vkraj-neobxidnij-fermeru/ (accessed 22.12.2021).
4. Podobay N.V. Puti povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya krest'yanskikh (fermerskikh) khozyaystv v Bryanskoy oblasti [Ways to improve the efficiency of the functioning of peasant (farm) farms in the Bryansk region]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [The economics of agriculture in Russia], 2013, no. 3 pp. 46-56. (In Russian).
5. Nikitina A.A. *Razvitiye krest'yanskikh (fermerskikh) khozyaystv: na primere Respubliki Bashkortostan. Diss. ... kand. econ. nauk* [Development of peasant (farm) farms: on the example of the Republic of Bashkortostan. Cand. econ. sci. diss.]. Ufa, 2006, 233 p. (In Russian).
6. Shimko D.S., Kubrak M.S., Volodko O.V. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa v Respublike Belarus' [The state and prospects of development of the agro-industrial complex in the Republic of Belarus]. *Aekonomika: ekonomika i sel'skoye khozyaystvo* [Aeconomics: economics and agriculture], 2016, no. 4 (12). (In Russian). Available at: http://aeconomy.ru/science/economy/sostoyanie-iperspektivy-razvitiya/ (accessed: 22.12.2021).
7. Belous V.N. *Organizatsionno-ekonomicheskoye obosnovaniye povysheniya konkurentosposobnosti i effektivnosti krest'yanskikh (fermerskikh) khozyaystv. Diss. ... kand. econ. nauk* [Organizational and economic justification for improving the competitiveness and efficiency of peasant (farm) farms. Cand. econ. sci. diss.]. Moscow, 2001, 182 p. (In Russian).
8. Feronova A.V. Povysheniye ekonomicheskoy effektivnosti funktsionirovaniya krest'yanskikh (fermerskikh) khozyaystv. *Diss. ... kand. econ. nauk* [Improving the economic efficiency of the functioning of peasant (farmer) farms. Cand. econ. sci. diss.]. Stavropol, 2008, 203 p. (In Russian).
9. Republic of Belarus. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus № 585 of March 16, 2016, «O Gosudarstvennoy programme razvitiya agrarnogo biznesa v Respublike Belarus' na 2016-2020 gody i vnesenii izmeneniy v postanovleniye Soveta Ministrov Respubliki Belarus ot 11 marta 2016 № 196». [On the State Program for the Development of Agricultural Business in the Republic of Belarus for 2016-2020 and amendments to the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus No. 585 of June 16, 2014]. Available at: https://agroforum.by/topic/1354-gosudarstvennaia-programma-razvitiia-agrarnogo/ (accessed 22.12.2021). (In Russian).
10. *Soveshchatel'nyye sluzhby Pol'shi* [Advisory services of Poland]. (In Russian). Available at: http://www.dorada.org.ua/files/AgriculturalExtensionInTheWorld/Poland.pdf (accessed 22.12.2021).

Сведения об авторах / Information about authors

Кибенко Екатерина Андреевна — д-р философии, доцент кафедры экологии моря
Керченский государственный морской технологический университет

	298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 kibenkoea@gmail.com
Kibenko Ekaterina Andreevna	Ph.D. (Econ.), Associate Professor at the Department of Marine Ecology Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 kibenkoea@gmail.com
Кибенко Владимир Александрович	канд. экон. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и марикультуры Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 kibenkovladimir@mail.ru
Kibenko Vladimir Alexandrovich	Ph.D. (Econ.), A*ssociate Professor at the Department of aquatic bioresources and mariculture* Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 kibenkovladimir@mail.ru

УДК 338.5(639.2/.3) **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_319**

Макарова О.В.

ТРАНСФЕРТНОЕ ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ В ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. Проанализированы взгляды ученых и практиков на децентрализацию управления предприятием и построение управленческого учета по центрам ответственности. Внесены предложения по усовершенствованию организационной структуры управления предприятий рыбохозяйственного комплекса на основе выделения центров ответственности различных типов (центров затрат, центров доходов, центров прибыли, центров инвестиций), и линий ответственности. Доказано, что для оценки результатов деятельности подразделений необходима информация об их расходах и доходах, получение которых достигается путем внедрения на предприятии внутренних расчетов с использованием трансфертных цен, то есть создания на предприятии внутренней рыночной среды (предпринимательских отношений). Изучены теоретические наработки, международный и отечественный опыт применения трансфертных цен в управлении и разработан механизм применения трансфертных цен на продукцию структурных подразделений предприятий рыбохозяйственного комплекса.
Ключевые слова: трансфертное ценообразование, децентрализация управления, рыбохозяйственный комплекс, центры ответственности, центры прибыли, рыночные цены.

Makarova O.V.

TRANSFER PRICE FORMATION IN A DECENTRALIZED MANAGEMENT SYSTEM OF FISHING INDUSTRY

Abstract: The views of scientists and practitioners on the decentralization of enterprise management and the construction of management accounting by responsibility centers are analyzed. Proposals were made to improve the organizational structure of management of enterprises in the fishing industry based on the allocation of responsibility centers of various types (cost centers, revenue centers, profit centers, investment centers), and lines of responsibility. It is proved that in order to assess the performance of departments, information is needed on their expenses and income, the receipt of which is achieved by introducing internal settlements at the enterprise using transfer prices, that is, creating an internal market environment (entrepreneurial relations) at the enterprise. The theoretical developments, international and domestic experience of using transfer prices in management have been studied, and an algorithm has been developed for calculating transfer prices for the products of structural divisions of enterprises in the fishing industry.
Keywords: transfer pricing, management decentralization, fishing industry, responsibility centers, profit centers, market prices.

Введение. Для того чтобы принимать управленческие решения в динамичных рыночных ситуациях, администрации (руководителю) нужна своевременная, оперативная, достоверная и в достаточной степени детализированная информация о расходах, доходах и результатах деятельности предприятия. В связи с этим возникает потребность в создании и организации системы управления, как предприятием в целом, так и его отдельными

подразделениями.

На современном этапе производственная деятельность предприятий рыбохозяйственного комплекса состоит из двух производственных процессов, разных по характеру: вылова рыбы и других водных живых ресурсов и производства пищевой и непищевой продукции из рыбы и других водных живых ресурсов. Таким образом, учитывая современные условия хозяйствования предприятий рыбохозяйственного комплекса и особенностей организации производства (внутренних организационных факторов) можно сделать вывод, что совершенствование организационно-экономического механизма необходимо осуществлять, применяя принципы децентрализации в оценке эффективности управления, а именно, выделяя центры ответственности. Главной целью организации такой системы управления предприятием является обеспечение своевременной информацией менеджеров, которые несут ответственность за достижение конкретных целей производственных подразделений. В числе основных проблем, возникающих при разработке учетной информации по структурным подразделениям, можно выделить:

– выделение структурных подразделений в организации;

– выделение и оценка активов структурных подразделений;

– измерение рентабельности (результатов деятельности) структурных подразделений;

– трансфертное ценообразование на продукцию (работы, услуги) структурных подразделений.

Цель исследования – научное обоснование механизма использования системы трансфертных цен предприятиями рыбохозяйственного комплекса как составляющей внутреннего экономического механизма управления, основанного на децентрализации и расширении ответственности структурных подразделений за результаты хозяйствования.

Материалы и методы исследования. Система учета доходов и расходов по центрам ответственности исследуется и рекомендуется к внедрению многими

учеными [1, 2, 3, 4], поскольку способствует существенному повышению эффективности деятельности предприятия в условиях рыночной экономики.

Понятие центра ответственности не является новым для экономики отечественных предприятий. Вопрос децентрализации управления уже рассматривался в научных исследованиях отечественных авторов в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого века при исследовании системы внутреннего хозяйственного расчета. Но в то время рассматривался только один вид центра ответственности – центр затрат.

Большинство авторов [1, 3, 5, 6] определяют центр ответственности как подразделение (сферу деятельности), в рамках которого установлена ответственность руководителя за показатели деятельности (расходы, доходы, инвестиции), которые он контролирует.

Рассматривая виды центров ответственности, современные отечественные авторы [5, 7, 8, 9], опираются на исследования западных ученых в области управленческого учета [2, 3]. Большинство ученых выделяют центры затрат (контролируют только расходы), центра доходов (контролируют только доходы), центры прибыли (контролируют расходы и доходы), центры инвестиций (контролируют расходы, доходы и инвестиции).

Стоит отметить, что центр прибыли характеризуется тем, что менеджер, который им управляет, несет ответственность как за затраты центра, так и за доходы, которые являются основными объектами управленческого учета. Право менеджера контролировать цены на продукцию структурного подразделения является основным признаком, характеризующим центр прибыли, кроме того такой принцип управления кардинально меняет систему внутренних взаимоотношений структурных подразделений предприятия. Право руководителя подразделения назначать цену продукции и его ответственность за результаты деятельности подразделения обусловлены возможностью решения дальнейшей судьбы продукции (работ, услуг) подразделения. Современная децентрализация управления предусматривает возможность продажи продукции как внутри предприятия, так и сторонним потребителям. Таким образом, можно

сказать, что политика трансфертного ценообразования - это проникновение рыночного механизма во внутреннюю систему управления предприятия.

Анализ экономической литературы показал, что большинство авторов [1, 5, 6, 7, 8, 9] определяют трансфертную цену как внутреннюю цену, по которой одно структурное подразделение предприятия (цех, участок или отдел) передает свою продукцию (оказывает услуги, выполняет работы) другому структурному подразделению того же предприятия.

Проблеме трансфертного ценообразования за рубежом уделяется достаточно много внимания. Первые законодательные акты, по трансфертному ценообразования, были приняты в Соединенных Штатах Америки. А в 90-х годах XX столетия появились соответствующие международные нормы.

В международной практике выделяют три основных метода трансфертного ценообразования [2, 3]:

• рыночной цены (comparable uncontrolled price method);

• цены перепродажи (resale price method);

• текущих расходов (cost-plus method).

В Российской Федерации законы, регулирующие трансфертное ценообразование были приняты в 2012 году. Регулирование осуществляется главой 6.1 Налогового Кодекса РФ [10], а также статьями 20 и 40 НК РФ. В данном законе приведены ситуации, в которых налоговые органы имеют право проверять установленные компанией цены. Так, в главе 14.3 Налогового Кодекса РФ представлены методы трансфертного ценообразования в целях налогообложения, используемые Федеральной налоговой службой РФ при осуществлении налогового контроля в связи с совершением сделок между взаимозависимыми лицами:

1. метод сопоставимых рыночных цен;

2. метод цены последующей реализации;

3. затратный метод;

4. метод сопоставимой рентабельности;

5. метод распределения прибыли;

6. метода цены независимой оценки.

Однако трансфертное ценообразование в системе управленческого учета не регламентировано на законодательном уровне, поэтому предприятия, в частности рыбохозяйственного комплекса, имеют определенную свободу при выборе того или иного метода. В то же время при внедрении децентрализованной системы управления и трансфертного ценообразования в практику хозяйствования предприятия сталкиваются с определенными проблемами:

– отсутствием методических рекомендаций по внедрению на предприятиях системы учета по центрам ответственности;

– несоответствием организационной структуры предприятий требованиям децентрализованной системы учета и управления;

– отсутствием четко определенного механизма расчета трансфертных цен на продукцию структурных подразделений.

Результаты исследования и их обсуждение. При децентрализованной системе управления предприятие представляет собой определенный набор центров ответственности, эффективность деятельности которых определяется двумя параметрами:

– достижением поставленных целей (как финансовых, так и нефинансовых);

– эффективностью использования ресурсов.

Наиболее эффективным является центр ответственности, который выполнил поставленные перед ним цели, при этом затратив минимальное количество ресурсов. Эффективность деятельности каждого отдельно взятого центра ответственности определяет эффективность деятельности предприятия в целом, что в конечном итоге влияет на его положение на конкурентном рынке.

Исследования, проведенные по ряду предприятий рыбохозяйственного комплекса, позволили сделать вывод, что организационная структура управления большинства предприятий не в полной мере соответствует потребностям управления, поскольку руководство не имеет возможности

идентифицировать ответственность конкретных лиц за результаты деятельности отдельных структурных подразделений. Управления предприятием, построенное на принципе децентрализации, требует формализованного подхода к формированию его организационной структуры. Данный подход должен охватывать все структурные единицы и определять место каждого подразделения (рыболовецкого судна, транспортного судна, цеха, участка, бригады) с точки зрения делегирования ему определенных полномочий и ответственности.

В статье предлагается организационная структура управления предприятием рыбохозяйственного комплекса, которая представлена совокупностью центров ответственности различного типа, связанных между собой линиями ответственности (см. рисунок 1 и условные обозначения к нему). Линии ответственности показывают направления движения информации и команд.

Поскольку большинство предприятий рыбохозяйственного комплекса являются средними по размеру, центром инвестиций выступает предприятие в целом. Учитывая особенности деятельности предприятий рыбохозяйственного комплекса, выделено два центра прибыли: «Флот» и «Производство рыбной продукции». Центр прибыли «Флот» занимается выловом рыбы и других водных живых ресурсов и изготовлением полуфабрикатов на судах, его руководителем является директор флота, который контролирует расходы и доходы своего подразделения. В состав ЦП «Флот» входят центры производственных затрат: суда, бригады прибрежного лова.

Вторым центром прибыли является "Производство рыбной продукции", руководителем которого является директор по производству. Внутри второго центра прибыли центрами производственных затрат могут быть пресервный цех, консервный цех, цех копчения, участок посола, участок кормовой рыбной продукции и тому подобное.

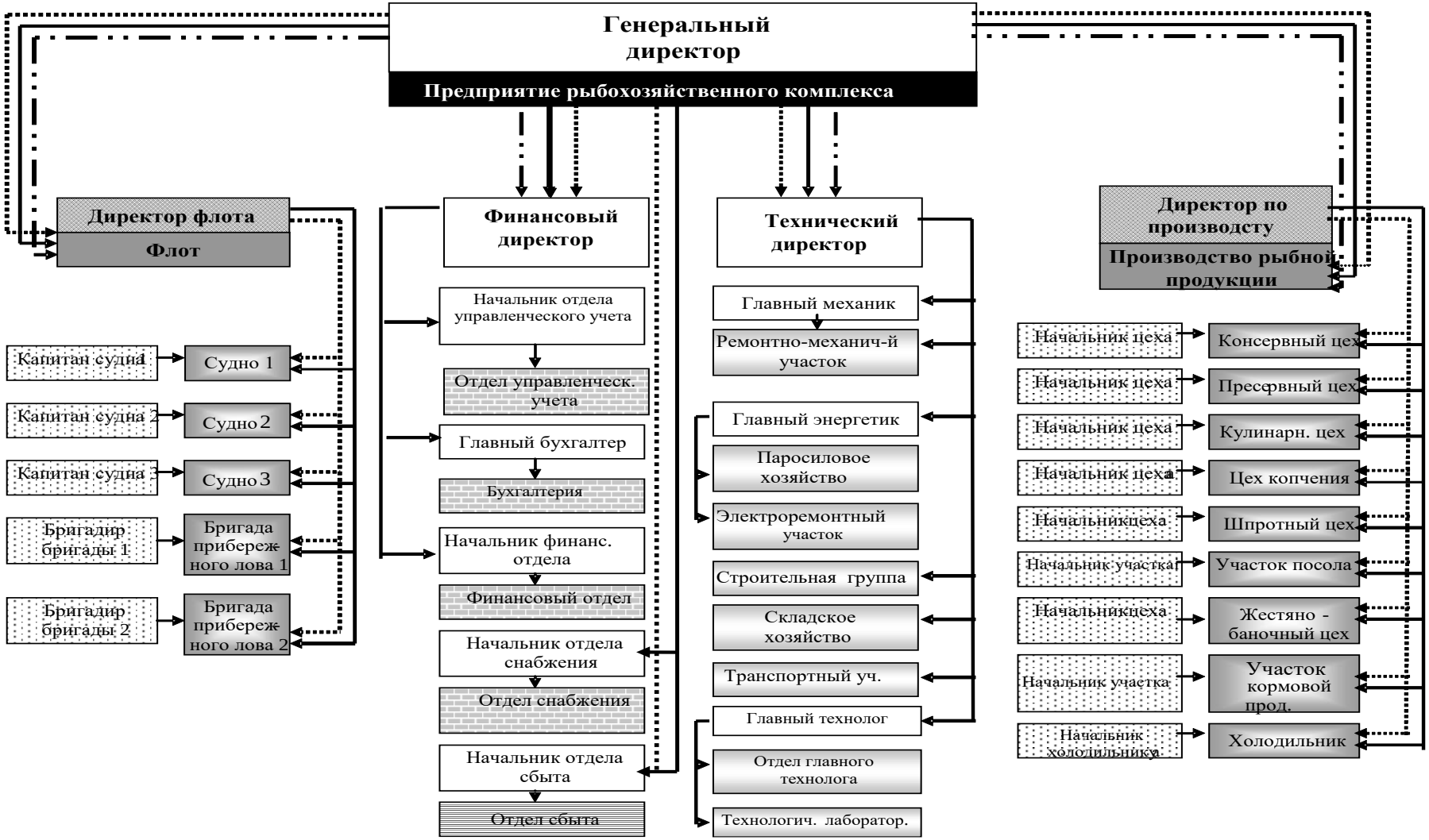


Рисунок 1 – Примерная организационная структура предприятия рыбохозяйственного комплекса с выделением центров и линий ответственности

Условные обозначения к рисунку 1:

1. центры инвестиций;
2. центры прибыли;
3. центры производственных затрат;
4. обслуживающие центры затрат;
5. центры дискретных затрат;
6. центры доходов;
7. руководитель центра инвестиций;
8. руководитель центра прибыли;
9. руководитель центра производственных затрат
10. руководитель обслуживающего центра затрат, центра дискретных затрат, центра доходов;

- линия ответственности за затраты;
- линия ответственности за доходы;
- линия ответственности за инвестиции.

Кроме того, центрам затрат являются вспомогательное производство (ремонтно-механический участок, электроремонтный участок, паросиловое хозяйство и т.д.), обслуживающее производство (транспортный участок, складское хозяйство и т.д.).

Данные управленческого учета по выделенным центрам ответственности должны быть достоверными, объективными, оперативными и своевременными. Информация должна быть эффективной, высокого качества, содержать оптимальное количество показателей, для удовлетворения интересов максимального количества пользователей на различных уровнях управления. Помимо этого, формируемая информация должна быть собрана с наименьшими затратами времени и труда. Несомненно, что для удовлетворения всех перечисленных требований следует использовать различные методы сбора, обработки и систематизации информации с использованием современных

информационных технологий.

Для оценки результатов деятельности подразделений необходима информация об их расходах и доходах, получение которых достигается путем внедрения на предприятии внутренних расчетов с использованием трансфертных цен, то есть создания на предприятии внутренней рыночной среды (предпринимательских отношений). Это не противоречит пункту 1 статьи 2 Гражданского кодекса Российской Федерации, согласно которому предпринимательской является самостоятельная, осуществляемая на свой риск деятельность, направленная на систематическое получение прибыли от пользования имуществом, продажи товаров, выполнения работ или оказания услуг лицами, зарегистрированными в этом качестве в установленном законом порядке. При этом предпринимательская деятельность должна осуществляться на основе коммерческого расчета.

Как отмечалось выше, одним из проблемных вопросов является определение трансфертных цене на продукцию подразделений. Руководству предприятия необходимо определиться, каким именно подразделениям можно предоставить свободу внутреннего и внешнего ценообразования (то есть дать возможность зарабатывать), а также право выбора поставщика и потребителя. Руководителю такого центра отвечает только за контролируемые им расходы и доходы.

Таким образом, выбор метода трансфертного ценообразования зависит в первую очередь от внутренней политики предприятия рыбохозяйственного комплекса. Степень самостоятельности, которая предоставляется руководителю подразделения при установлении цены, предусматривает определенную ответственность за результаты деятельности подразделения. Считаем, что поскольку показатели, в соответствии с которым руководитель подразделения несет ответственность, зависят от типа центра ответственности, то и выбор метода трансфертного ценообразования должен также зависеть от типа центра ответственности. Это значит, что если руководитель центра затрат несет ответственность за выполнение бюджетов расходов и свою продукцию не может

реализовывать внешним заказчикам, то любая попытка сделать наценку на продукцию будет искусственной, поскольку на цену не будут влиять такие факторы, как спрос и конкуренция, которые определяют верхнюю границу цены, поэтому продукция в другое подразделение должна передаваться по себестоимости. Для подразделений, в которых формируется прибыль (центры прибыли), справедливо установленная наценка дает возможность оценить вклад каждого центра ответственности в результаты деятельности всего предприятия.

Рассмотрим порядок формирования трансфертных цен на примере двух основных центров ответственности предприятия рыбного хозяйства: ЦП 1 – «Флот» и ЦП 2 – «Производство рыбной продукции», поскольку решение проблемы формирования трансфертной цены на продукцию флота, а именно на рыбу-сырец позволит:

– гармонизировать интересы рыболовного флота с интересами руководства предприятия;

– выполнять учетную функцию при калькулировании себестоимости готовой продукции центров ответственности.

По решению руководства предприятия центру прибыли «Флот» может быть предоставлена возможность реализовывать рыбу-сырец на сторону (внешним покупателям). Это зависит от статуса подразделения центра прибыли на предприятии, то есть является ли он центром формирования лишь условной прибыли, или является центром реальной прибыли. Как центр прибыли, он будет заинтересован в высокорентабельной работе, так как это напрямую отразится на заработной плате его сотрудников. Центр прибыли «Производство рыбной продукции» в этом случае может использовать как продукцию предоставленную флотом, так и продукцию других поставщиков. Это предотвращает необоснованное завышение трансфертной цены со стороны центра прибыли 1 «Флот». С целью поддержания баланса интересов центров ответственности и предприятия, взаимоотношения между структурными подразделениями должны осуществляться под контролем генерального директора. Таким образом, между центрами ответственности возможно взаимовыгодное сотрудничество, которое

положительно отразится на конечных результатах деятельности предприятия в целом.

В хозяйственной деятельности предприятия рыбохозяйственного комплекса, возможна ситуация, когда центру прибыли «Флот» будет выгоднее реализовывать рыбу-сырец на сторону, поскольку рыночные цены могут быть выше установленных на предприятии трансфертных цен. В данном случае центру прибыли «Производство рыбной продукции» придется закупать сырье у сторонних организаций. Возможно, центр прибыли «Производство рыбной продукции» сможет найти поставщика с ценами ниже трансфертных цен. Но низкие цены не гарантируют качество сырья, что может отразиться на деятельности предприятия в целом.

Предлагаем следующую модель расчета трансфертной цены на продукцию центра прибыли 1 «Флот». Себестоимость единицы продукции центра прибыли рассчитывается по формуле:

$$С = Р_{пр} + Р_{оп}, \quad (1)$$

где С – себестоимость продукции, руб.;

$Р_{пр}$ – прямые расходы, руб.;

$Р_{оп}$ – общепроизводственные расходы, руб..

Формула расчета трансфертной цены единицы продукции флота будет выглядеть следующим образом:

$$ТЦ_1 = (Р_{пр1} + Р_{оп1}) + П_1 = С_1 + П_1, \quad (2)$$

где $ТЦ_1$ – трансфертная цена ЦП 1, руб.;

$Р_{пр1}$ – прямые расходы ЦП 1, руб.;

$Р_{оп1}$ – сумма общепроизводственных расходов ЦП 1, руб.;

$П_1$ – ожидаемый размер прибыли ЦП 1, руб.

Трансфертная цена должна контролироваться руководством предприятия рыбохозяйственного комплекса и не превышать размера цены на подобную продукцию на рынке, чтобы цена конечного продукта была конкурентоспособной. Следовательно, верхняя граница величины $П_1$ представляет собой разницу между рыночной ценой (РЦ) на аналогичный вид рыбы и его себестоимостью. В таком случае формула расчета верхнего предела трансфертной цены на продукцию флота (ЦП 1) примет вид:

$$ТЦ_1 = С_1 + (РЦ_1 – С_1). \quad (3)$$

Поскольку, как отмечалось ранее, полная децентрализация управления имеет определенные недостатки, то в целях недопущения злоупотреблений руководство предприятия должно осуществлять контроль порядка расчета трансфертных цен. Если администрации предприятия необходимо мобилизовать средства для развития социальных и непроизводственных программ, накопления средств для экономического стимулирования и развития предприятия и на другие программы, а трансфертная цена на продукцию флота будет равна рыночной цене на подобную продукцию, то у руководства предприятия не будет оставаться средств на финансирование данных программ. Для создания источника поступления средств руководству в модель трансфертной цены необходимо ввести регулирующий коэффициент, который позволит установить нижний предел трансфертной цены. В этом случае формула трансфертной цены для ЦП 1 примет вид:

$$ТЦ_1 = С_1 + П_1 \times k_1, \quad (4)$$

где k_1 – регулирующий коэффициент для ЦП 1.

Использование регулирующего коэффициента позволит руководству высвободить необходимые средства. Значение регулирующего коэффициента должно быть меньше или равно единице, не может быть случайным, а должно устанавливаться по согласию руководства предприятия и центра ответственности и колебаться в зависимости от:

– суммы средств, которая необходима администрации. В этом случае, если руководству необходима значительная сумма средств, коэффициент может быть равен 0,65-0,5. Не следует сильно понижать коэффициент, поскольку это может снизить у руководства и работников центра ответственности стимул к продуктивной работе;

– от состояния центра ответственности. Если центр ответственности нуждается в экономическом стимулировании, коэффициент можно поднять или приблизить к 1.

Таким образом, чем ближе размер регулирующего коэффициента к единице, тем большую часть ожидаемой прибыли может получить ЦП 1.

Рассчитаем трансфертную цену одной тонны хамсы азовской в октябре 2021 года, выловленной флотом (ЦП 1), на базе данных калькуляции. Сначала определим себестоимость 1 тонны хамсы. Зная, что на 1 т выловленной флотом хамсы расходы на оплату труда составляют 24710,0 руб., материальные затраты – 14780,0 руб., прочие расходы – 11450,0 руб., общепроизводственные расходы – 1780,0 руб., путем подстановки в формулу 1 получим:

$$C_1 = 24710{,}0 + 14780{,}0 + 11450{,}0 + 1780{,}0 = 52720{,}0 \text{ руб/т}$$

Зная величину себестоимости 1 т хамсы свежей и рыночную цену (РЦ), которая равна 79800,0 руб./т, можем рассчитать максимальный размер ожидаемой прибыли для ЦП 1 ($П_1$), который составляет разницу между рыночной ценой (РЦ) и себестоимостью 1 т свежей хамсы (C_1):

$$П_1 = 79800{,}0 – 52720{,}0 = 27080{,}0 \text{ руб.}$$

Однако размер ожидаемой прибыли необходимо скорректировать на регулирующий коэффициент для ЦП 1 (k_1), который дает возможность администрации предприятия управлять распределением прибыли. Изучение состояния флота (ЦП 1) на 01.10.2021 года показало, что он нуждается в средствах на проведение капитального ремонта судов, поэтому размер k_1 для него установлен на уровне 0,8. подставляя данные в формулу 4, получаем размер трансфертной цены на 1 т хамсы свежей:

$$ТЦ_1 = 52720{,}0 + 27080{,}0 \times 0{,}8 = 74384{,}0 \text{ руб./т}$$

Предложенная модель расчета трансфертной цены наиболее приближена к варианту расчета трансфертной цены на основе смешанных цен, предлагаемых в экономической литературе, но имеет некоторые отличия, поскольку учитывает особенности хозяйствования предприятий рыбохозяйственного комплекса.

Учитывая, что подразделения строят взаимоотношения на принципах купли-продажи, движение ресурсов внутрихозяйственного оборота в учете следует показывать как реализацию (приобретение) с соответствующим отражением доходов (расходов). При этом НДС не начисляют.

Реализацию рыбы-сырца и полуфабрикатов, изготовленных на судах, осуществляют по трансфертным ценам. Подразделения-потребители, покупающие такую продукцию с целью предотвращения повышения себестоимости своей продукции, приходуются ресурсы внутрихозяйственного оборота по цене без учета прибыли, а разницу в его размере списывают на финансовые результаты деятельности соответствующего структурного подразделения. Структурные подразделения не имеют текущих счетов и ведут лишь учет расходов и доходов, а другие функции делегированы предприятию, которое платит налоги без распределения их по подразделениям.

Выводы. Внедрение системы учета расходов и результатов деятельности по центрам ответственности и внедрение системы внутренних расчетов на основе трансфертного ценообразования на предприятиях рыбохозяйственного комплекса даст возможность решить такие важные проблемы как: усиление оперативности выявления, обобщения, группировки затрат, доходов и финансовых результатов по центрам ответственности; обобщение производственных затрат отдельных подразделений и предприятия в целом по элементам затрат с ведением аналитического учета затрат по причинам их возникновения; повышение ответственности руководителей структурных подразделений за уровень расходов и результаты деятельности; снижение уровня расходов по отдельным структурным подразделениям и предприятию в целом и сокращение себестоимости рыбной продукции.

Такая система отражения расходов и доходов на аналитических счетах

учета вместе с использованием методики трансфертного ценообразования позволит использовать принципы рыночного механизма на уровне центров ответственности предприятий рыбохозяйственного комплекса, и, тем самым, повысить их заинтересованность и ответственность.

Предложенная в статье система децентрализации управления и применения трансфертных цен может быть использована представителями среднего бизнеса рыбохозяйственной отрасли субъектов Российской Федерации и, в том числе Республики Крым, в частности: ООО «АТЛЕШ», ООО «Керченская рыбопромышленная компания», ООО «Керчь-рыба», ООО «ЮГРЫБТРАНС», ООО «Пролив», ООО «Консервный комбинат Арктика», ООО «Во СТО Крат», ООО «Керчьхолод», ООО «Регион Тарханкут», ООО «МК Транс-сервис» и другими.

Список использованной литературы:

1. *Вахрушина М.А.* Бухгалтерский управленческий учет: учебник. 8-е изд, М.: Омега-Л, 2010. 570 с.
2. *Drury C.* Cost and management accounting: an introduction. 7th edition. South-Western Cengage Learning EMEA, 2006. 476 с.
3. *Хорнгрен Ч.Т., Фостер Дж.* Бухгалтерский учет: Управленческий аспект / Под ред. Я.В. Соколова. М.: Финансы и статистика, 2000. 416 с.
4. *Гюмюшлю А.И.* Применение трансфертного ценообразования // Практический маркетинг: Материалы IV международной студенческой научно-практической конференции, Москва, 24 апреля 2019 года / Отв. ред. И.Л. Сурат. М.: Негосударственное образовательное частное учреждение высшего образования «Московский экономический институт», 2019. С. 34-37.
5. *Автухова Е.Э.* Трансфертное ценообразование как инструмент управления компанией // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2021. № 2. С. 49-72.
6. *Абесадзе Д.Л.* Проблемы эффективного функционирования системы трансфертного ценообразования // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Т. 10. № 5-1. С. 504-508. DOI: 10.34670/AR.2020.11.23.078.
7. *Бутузова А.С.* Понятие трансфертных цен, их особенности // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 12-1. С. 202-204. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10361.
8. *Замбржицкая Е.С., Маковчук И.В.* Экономическое содержание понятий «трансфертная цена» и «трансфертное ценообразование» // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2015. № 7-8. С. 65-69.
9. *Часыгов Н.Х.* Особенности трансфертного ценообразования // Международный академический вестник. 2019. № 5 (37). С. 164-166.
10. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть первая) от 31.07.1998 № 146-ФЗ (ред. от 02.07.2021) // Правовой сайт «Консультант Плюс». 2021. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19671/ (дата обращения: 19.10.2021).

References:

1. Vahrushina M.A. *Buhgalterskij upravlencheskij uchet* [Management accounting]. 8th ed. Moscow, Omega-L Publ., 2010, 570 p. (In Russian)
2. Drury C. Cost and management accounting: an introduction. 7th ed. South-Western Cengage Learning EMEA, 2006, 476 p. (In English).
3. Horngren Ch.T., Foster J., Sokolova Ya.V. (ed.) *Buhgalterskij uchet: Upravlencheskij aspect* [Accounting: Management aspect]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2000, 416 p. (In Russian).
4. Gyumyushlyu A.I., Surat I.L. (ed.) Primenenie transfertnogo cenoobrazovaniya [Application of transfer pricing]. *Materialy IV mezhdunarodnoj studencheskoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Prakticheskij marketing»* [Materials of the 4th international student scientific and practical conference "Practical marketing" (Moscow, April 24, 2019)]. Moscow, 2019, pp. 34-37. (In Russian).
5. Avtuhova E.E. Transfertnoe cenoobrazovanie kak instrument upravleniya kompaniej [Transfer pricing as an instrument of company management] *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika* [Bulletin of Moscow University. Series 6: Economics], 2021, no. 2. pp. 49-72. (In Russian).
6. Abesadze D.L. Problemy effektivnogo funkcionirovaniya sistemy transfertnogo cenoobrazovaniya [Problems of effective functioning of the transfer pricing system]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economy: yesterday, today, tomorrow], 2020, vol. 10, no. 5-1, pp. 504-508. (In Russian). DOI: 10.34670/AR.2020.11.23.078.
11. Butuzova A.S. Ponyatie transfertnyh cen, ih osobennosti [The concept of transfer prices, their features] *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk* [International journal of the humanities and natural sciences], 2018, no. 12-1, pp. 202-204. (In Russian). DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10361.
7. Zambrzhickaya E.S. Ekonomicheskoe soderzhanie ponyatij «transfertnaya cena» i «transfertnoe cenoobrazovanie» [Economic content of the concepts "transfer price" and "transfer pricing"] *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoj nauki* [Theoretical and applied aspects of modern science], 2015, no. 7-8, pp. 65-69. (In Russian)
8. Chasygov N.H. Osobennosti transfertnogo cenoobrazovaniya [Features of transfer pricing] *Mezhdunarodnyj akademicheskij vestnik* [International academic bulletin], 2019, no. 5 (37), pp. 164-166. (In Russian)
9. Russian Federation. The Federal Law of the Russian Federation № 146-FZ of July, 31, 1998, Nalogovyj kodeks Rossijskoj Federacii (chast' pervaya) [Tax Code of the Russian Federation] *Pravovoj sajt «Konsul'tant Plyus»* [Legal website "Consultant Plus"], 2021. (In Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19671/ (aceessed 19.10.2021).

Сведения об авторе / Information about author

Макарова Оксана Владимировна	канд. экон. наук, доцент кафедры экономики Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 ksusha_kerch@inbox.ru
Makarova Oksana Vladimirovna	Ph.D. (Econ.), Associate Professor at the Department of economics Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 ksusha_kerch@inbox.ru

УДК 332.122 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_335**

Рысина В.А.

СВОБОДНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЗОНА НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА: ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗА 2018-2020 ГГ.

Аннотация. В статье рассмотрен механизм функционирования СЭЗ в Республике Крым и г. Севастополь как одного из действенных инструментов партнерства государства и субъектов хозяйствования, позволяющего привлекать в экономику дополнительные инвестиции в условиях ограничительных международных санкций и оказывающего значительное влияние на макроэкономические показатели в регионе. Охарактеризованы требования и основные преференции для участников СЭЗ, находящихся на территории Крыма и г. Севастополь. Рассмотрены основные нормативно-правовые акты, которые направлены на поддержку участников СЭЗ. Осуществлен анализ основных показателей функционирования СЭЗ за 2018-2020 гг. Произведена оценка эффективности деятельности участников СЭЗ в Республике Крым и г. Севастополь на основании официальных опубликованных статистических данных. Обосновано, что для дальнейшего развития СЭЗ необходима разработка дополнительных мер поддержки со стороны государства.
Ключевые слова: свободная экономическая зона, политика государства, налоговые льготы, инвестиции, анализ.

Rysina V.A.

FREE ECONOMIC ZONE ON THE TERRITORY OF CRIMEA: LEGAL FOUNDATIONS AND ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF FUNCTIONING FOR 2018-2020

Abstract. The article considers the mechanism of functioning of the FEZ in the Republic of Crimea and Sevastopol as one of the effective instruments of partnership between the state and business entities, which allows attracting additional economic investments under restrictive international sanctions and has a significant impact on macroeconomic indicators in the region. The requirements and main preferences for FEZ participants located on the territory of Crimea and Sevastopol are characterized. The main regulatory legal acts that are aimed at supporting the FEZ participants are looked. The analyzing of the basic indexes of the operations of the FEZ for 2018-2020 was carried out. The efficiency of the FEZ participants' activities in the Republic of Crimea and Sevastopol was assessed on the basis of official published statistical data. It is proved that for the future improvement of the FEZ, it is requirement to develop additional support measures from the state.
Keywords: free economic zone, state policy, tax benefits, investments, analysis.

Введение. В процессе осуществления внешнеэкономической деятельности могут применяться разнообразные варианты территориально-экономического управления, одним из которых можно считать режим свободной экономической зоны (СЭЗ). Как правило, СЭЗ в современных условиях активнее создаются в странах с развивающейся экономикой, благодаря чему государство решает проблемы привлечения иностранного капитала, увеличения торгового оборота и

развития отдельных территорий. СЭЗ получают особый статус, на территории данных зон действует ряд преференций, прежде всего, в сфере налогообложения, валютных и таможенных процедур, как для резидентов, так и для нерезидентов.

История развития свободных экономических зон насчитывает не одно столетие, однако их максимальное развитие пришлось на конец XX в. после принятия Киотской конвенции. В РФ наработан достаточно большой опыт создания СЭЗ. В настоящий момент на её территории действует 42 особых экономических зоны, которые позволили за последние 15 лет привлечь 1,4 трлн руб. инвестиций, создать более 46 тысяч новых рабочих мест, уплатить более 210 трлн руб. налогов, таможенных платежей и сборов. Основными приоритетными направлениями развития являются промышленность, технологии, туризм и логистика.

Создание на территориях Крыма и г. Севастополь свободной экономической зоны является оправданным шагом со стороны государства, поскольку введенные санкции практически ограничили приток в регион иностранных инвестиций. Это решение позволяет привлечь в экономику республики дополнительные ресурсы как из других субъектов РФ, так и из-за рубежа. В свою очередь, благодаря созданию СЭЗ в Крыму и г. Севастополь действует льготный режим налогообложения для иностранных инвесторов.

Цель исследования заключается в рассмотрении порядка функционирования свободной экономической зоны в Республике Крым и г. Севастополь и осуществлении анализа её деятельности за 2018-2020 гг.

Материалы и методы исследования. В качестве материалов исследования для проведения анализа использовались данные, отраженные в статистических отчетах и обзорах ФНС, ФТС, Росстата, Минэкономразвития РФ и Республики Крым, с учетом нормативно-правовых актов по вопросам функционирования свободной экономической зоны [1-5].

При осуществлении научного исследования применялись такие методы экономического анализа, как метод сравнения, метод использования

абсолютных, относительных и средних величин, метод группировок и графический метод.

Результаты исследования и их обсуждение. В Республике Крым и г. Севастополь СЭЗ была создана в 2014 г. благодаря введению в действие Федерального Закона № 377-ФЗ «О развитии Республики Крым и города федерального значения Севастополя и свободной экономической зоне на территориях Республики Крым и города федерального значения Севастополя» [6]. К первостепенным задачам разработки и применения указанного федерального закона, прежде всего, следует отнести создание свободных портов и СЭЗ на территории Крымского региона, привлечение дополнительных финансовых и трудовых ресурсов в экономику региона. Период действия Крымской СЭЗ составляет 25 лет с дальнейшим пролонгированием. В качестве варианта СЭЗ для Крыма была выбрана модель, применяемая в Калининградской области. Это объясняется, прежде всего, схожестью выгодного географического положения (выход к морю).

Согласно Федеральному закону № 377-ФЗ для выработки государственной политики и нормативно-правового регулирования разработана схема управления СЭЗ в Республике Крым и г. Севастополь, определены функции, полномочия каждого органа региональной власти и выполняемые ими работы (рис. 1).

К потенциальным участникам СЭЗ выдвигается ряд требований, к числу которых, прежде всего, относят следующее:

1) инвестиционные проекты реализуются только в Республике Крым и г. Севастополь;

2) объем капитальных вложений в рамках инвестиционного проекта первые три года с момента заключения контракта должен быть более 3 млн руб. для малых и средних предприятий, более 30 млн руб. – для крупных компаний;

3) обязательная регистрация и постановка на налоговый учет в налоговой инспекции на территории Крыма;

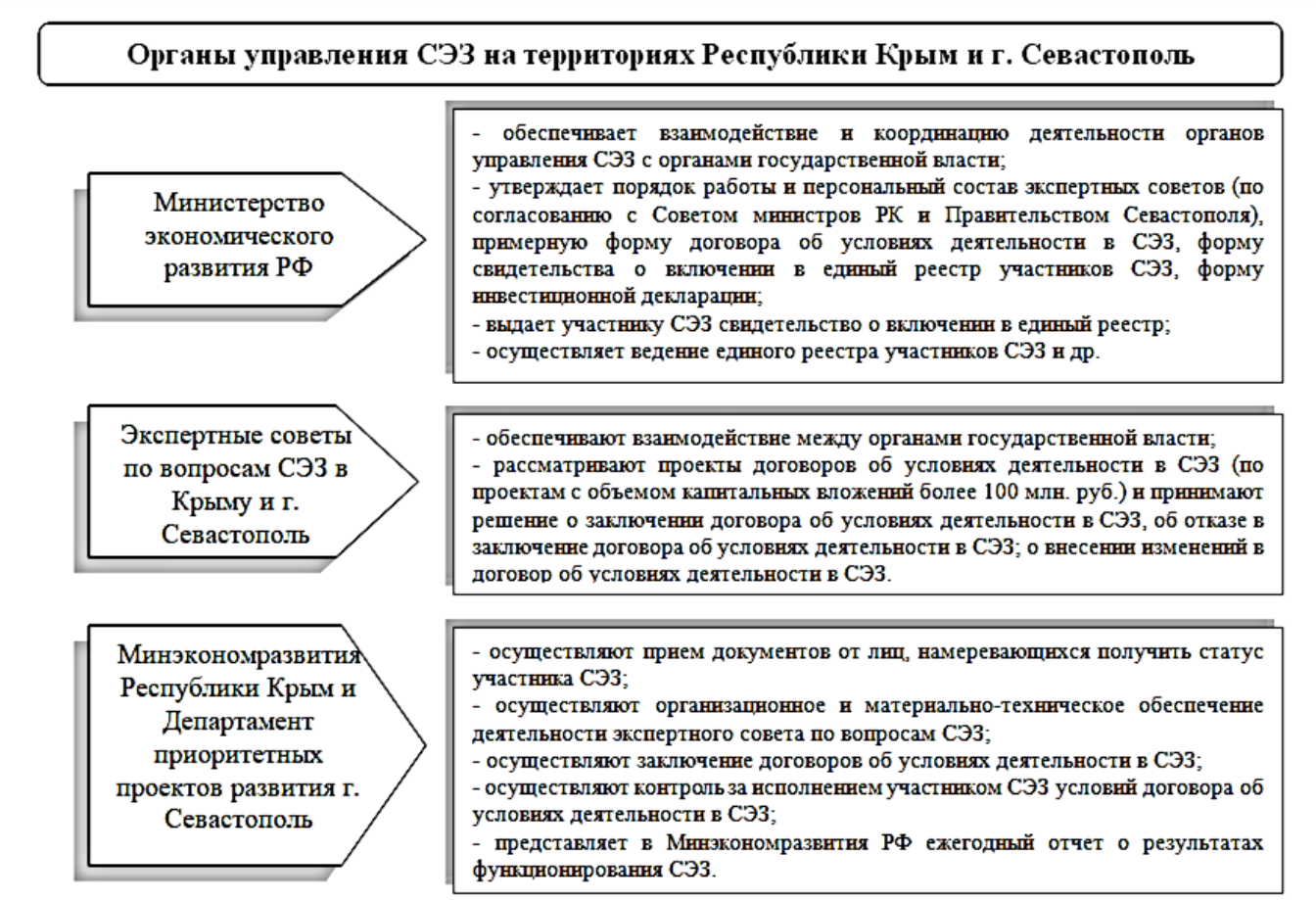


Рисунок 1 – Схема органов управления СЭЗ в Республике Крым и г. Севастополь

4) не осуществлять деятельность в сфере использования недр для разведки и добычи, а также разработки месторождений континентального шельфа.

Также следует отметить, что условия для участия в СЭЗ, установленные Федеральным законом № 377-ФЗ, достаточно привлекательны для будущих инвесторов. В первую очередь, это касается снижения налоговых ставок, прежде всего, по налогу на прибыль: в первые десять лет отчисления в федеральный бюджет рассчитывают по ставке 0 %; в республиканский бюджет – 2 % (первые три года), 6 % (с четвертый по восьмой год), 13,5 % (девятый – десятый год). Основным условием принятия вышеуказанных ставок является разделение учета налоговых доходов и расходов от деятельности участника СЭЗ и прочей деятельности. Кроме того, разрешается применять двойное ускорение

амортизации собственных основных средств.

Во-вторых, участники СЭЗ освобождаются от уплаты налога на имущество на 10 лет, налога на землю – на 3 года.

В-третьих, инвесторы-участники вправе применять пониженные тарифы страховых взносов – 7,6 %. Таможенные сборы и налоги при импорте иностранного оборудования рассчитываются по нулевой ставке. Подобные налоговые преференции будут нацелены на стимулирование развитие хозяйственной деятельности субъектов предпринимательства, а также позволят снизить отрицательное влияние политических и экономических санкций в отношении компаний, функционирующих на территории Республики Крым. Ещё один важный фактор для участников СЭЗ – это минимальный пакет документов, необходимых для вступления, и предоставление земельных участков в аренду без торгов.

Для ежегодного контроля эффективности функционирования СЭЗ постановлением Правительства РФ № 1368 от 12.12.2015 г. утверждены Правила оценки и подготовки отчета о результатах проведенного анализа [7]. Согласно п. 2 части I Правил данный отчет формирует Минэкономразвития РФ на основании отчетов, предоставленных Советом министров Республики Крым и Правительством г. Севастополь [8]. Благодаря такому анализу удается не только определить фактическое состояние эффективности функционирования СЭЗ в Республике Крым и г. Севастополь, но и разрабатывать эффективную государственную политику в данной сфере.

Так, анализ динамики заключения контрактов о деятельности в СЭЗ показал следующее: снижение в 2019 г. по сравнению с 2018 г. в 2 раза (2018 г. – 118 ед., 2019 г. – 63 ед.), увеличение в 2020 г. по сравнению с 2019 г. (2019 г. – 63 ед., 2020 г. – 98 ед.) в 1,6 раза, однако в целом за 2018-2020 гг. наблюдается снижение на 17 %. Основной фактор уменьшения количества заключенных контрактов о деятельности – окончание срока применения льготного периода пониженных тарифов страховых взносов участниками свободной

экономической зоны. Это делает особый режим осуществления предпринимательской деятельности в свободной экономической зоне менее привлекательным для указанных лиц. Указанный фактор, прежде всего, негативно повлиял в 2019 году на размер капитальных инвестиций участников свободной экономической зоны (снижение 33 % относительно 2018 г.) [9-11].

На сегодняшний момент в СЭЗ Крыма действует 1 747 контрактов о деятельности и осуществлено такое же количество инвестиционных проектов в различных отраслях (рис. 2). Согласно данным официальной информации в 2020 году активно функционирует на территориях Республики Крым и г. Севастополь 1 656 участников СЭЗ, из них 1 548 являются малыми и средними предприятиями (МСП), что составляет около 94 % [11].

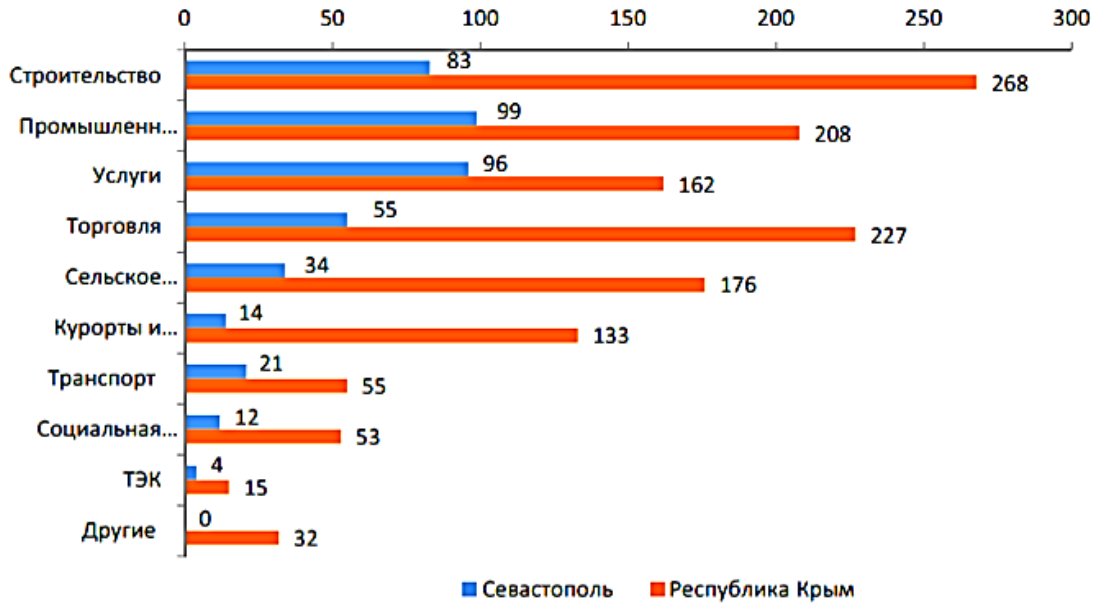


Рисунок 2 – Диаграмма распределения проектов по отраслям в 2020 г.

За анализируемый период наблюдается рост совокупного объема уплаченных участниками СЭЗ налогов: в 2018 г. – 19,4 млрд руб., 2019 г. – 25,5 млрд руб. (рост на 30 % по сравнению с 2018 г.), 2020 г. – 25,7 млрд руб. (рост на 32 % по сравнению с 2018 г.). Также наблюдается увеличение объемов уплаченных страховых взносов и таможенных платежей в рамках заключенных

контрактов в 2020 г. по сравнению с 2018-2019 гг. Однако из-за снижения внешнеэкономической активности участников СЭЗ из-за ограничительных мер, связанных с пандемией коронавируса, произошло уменьшение объема льгот по уплате таможенных сборов на 24 % по сравнению с 2019 г. [10, 11].

Общий объем уплаченных налогов, страховых взносов и таможенных платежей, перечисленных участниками СЭЗ в бюджеты различных уровней за 2015-2020 гг., составляет порядка 120 млрд руб. Также за рассматриваемый период из федерального бюджета РФ участникам СЭЗ предоставлено налоговых и неналоговых преференций на сумму 54 млрд руб., на 1 рубль предоставленных льгот приходится 3,8 рублей инвестиций [9-11].

При анализе объема выручки участников СЭЗ за 2018-2020 гг. установлен рост данного показателя на 18 % в 2019 г. по сравнению с 2018 г., в 2020 г. – на 5 % по сравнению с 2019 г. Доля выручки субъектов малого предпринимательства в указанном объеме составила около 38 % в 2020 г. и 35 % в 2019 г. соответственно.

По сравнению с 2019 г. в 2020 г. наблюдается незначительное снижение объема инвестиций, осуществленных участниками СЭЗ, на 1%, тогда как в 2019 г. прослеживался рост указанного показателя на 9 % по сравнению с 2018 г. Также следует отметить, что за 2020 г. участниками СЭЗ создано и начато использование 949 объектов транспортной, социальной, инновационной и инженерной инфраструктуры, это на 80 % больше по сравнению с 2019 г., на изменение показателя повлияло, прежде всего, окончание реализации инвестиционных проектов, заключенных в 2017-2018 гг.

В 2020 г. было создано 8,9 тыс. рабочих мест для осуществления инвестиционных проектов участниками СЭЗ, при этом значение указанного показателя снизилось на 48 % по сравнению с 2019 г. и на 50 % по сравнению с 2018 г. Подобная тенденция связана с уменьшением числа новых заключенных проектов из-за отсутствия в 2020 г. преференции по снижению страховых тарифов участникам СЭЗ после 01.01.2018 г., а также в связи с исполнением

участниками СЭЗ обязательств по ранее заключенным контрактам.

Для определения эффективности деятельности участников СЭЗ п.14 Правил рекомендуется рассчитывать отношение ряда фактических абсолютных показателей к подобным показателям по плану или прогнозу [7]. Согласно п. 22 Правил в качестве показателей для проведения сравнительно анализа деятельности участников СЭЗ применяются следующие показатели: создание новых рабочих мест, объем уплаченных налогов и объем инвестиций [7].

За анализируемый период участниками СЭЗ на территории Крыма в бюджеты разных уровней погашено: в 2020 г. – около 26 млрд руб. налоговых обязательств, что составляет 95 % от установленных плановых показателей. Если сравнивать с указанным показателем за 2018 г., то рост составляет 32 %, т.е. наблюдается положительная динамика. Создание рабочих мест выполнено на 125 % по сравнению с запланированным уровнем. Объем инвестиций участников СЭЗ перевыполнен на 86 % относительно планового уровня, при этом их прирост по сравнению с 2018 г. составил 7 % (рис. 3) [9-11].

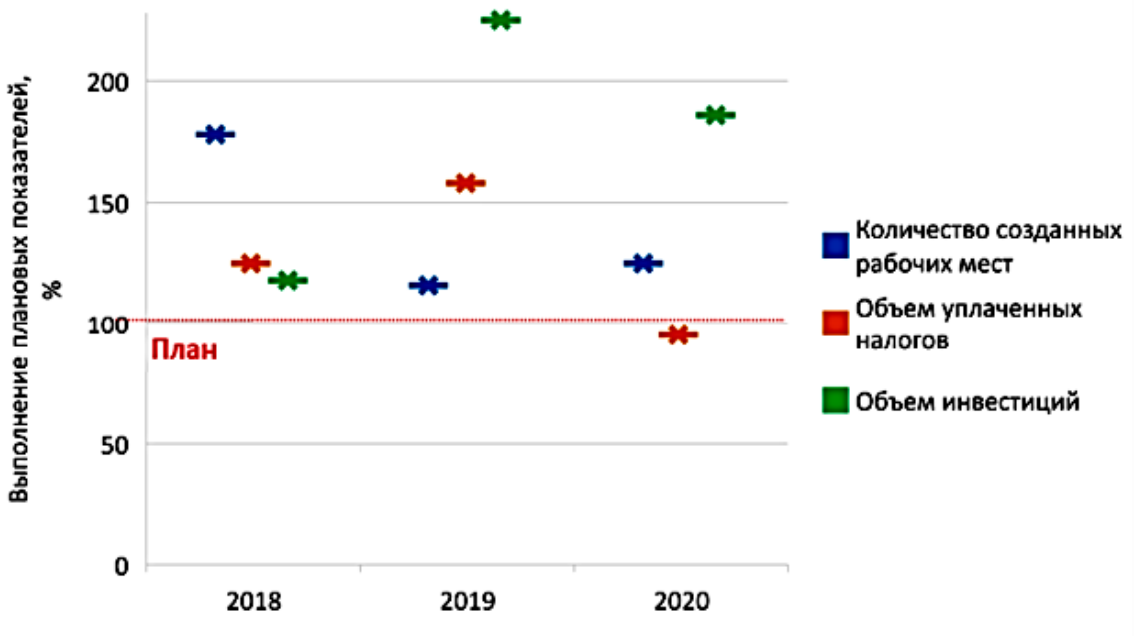


Рисунок 3 – Диаграмма выполнения плановых относительных показателей участниками СЭЗ в 2018-2020 гг.

Положительная динамика выполнения плановых показателей (п. 14 Правил) в 2020 г. и рост основных показателей за 2018-2020 гг. свидетельствуют о том, что деятельность участников СЭЗ в Республике Крым эффективна.

Пункт 15 Правил устанавливает влияние показателей деятельности СЭЗ на социально-экономическое развитие региона как соотношение ряда показателей деятельности СЭЗ и показателей социально-экономического развития РК и г. Севастополь [7].

В 2020 г. доля уплаченных налогов участниками СЭЗ в бюджеты РФ всех уровней относительно общего объема налоговых доходов РК и г. Севастополь составила около 40 %, в 2019 г. – 32 %, в 2018 г. – 28 %, т.е. прослеживается положительная динамика. Относительно показателя созданных рабочих мест наблюдается обратная тенденция: в 2018 г. – 1,4 % от численности трудоспособного населения Крыма, в 2019 г. – 1,3 %, 2020 г. – 0,7 %. При этом в 2020 г. из-за ограничений в связи с пандемией коронавируса довольно сложно оценить влияние созданных мест на уровень безработицы в регионе. Соотношение объема выручки участников СЭЗ и совокупного показателя ВРП Крыма в 2019-2020 гг. составило 45 %, 2018 г. – 41 % [9-11]. Все вышеуказанное отражает то, что функционирование СЭЗ в Республике Крым оказывает достаточное влияние на развитие региона.

Для оценки эффективности деятельности СЭЗ п.16 Правил предусмотрен расчет ряда показателей, представляющих собой отношение фактических абсолютных показателей (количество участников СЭЗ, объем выручки от продажи, количество созданных рабочих мест, объем капитальных инвестиций) к подобным плановым показателям функционирования СЭЗ [7]. Расчет производится в виде таблицы (табл. 1), итоги оцениваются по пятибалльной шкале как среднеарифметическое значение [7].

Так как средний балл попадает в границы критерия от 4 до 5 баллов, то согласно п. 20 Правил функционирование СЭЗ в Республике Крым и г. Севастополь за 2018-2020 гг. признается эффективным.

В целом период 2018-2020 гг. характеризуется ростом показателей эффективности функционирования СЭЗ, несмотря на уменьшение количества заключенных новых контрактов в рамках СЭЗ, что связано с исключением из преференций применения пониженных страховых тарифов по взносам для участников СЭЗ с 2018 г. [9-11]. В 2020 г. наблюдается снижение темпов роста данных показателей деятельности СЭЗ, что, прежде всего, связано с уменьшением числа участников 2018-2019 гг. (рис. 4), а также благодаря действию ограничительных мер из-за пандемии коронавируса. Также стоит отметить, что на изменение темпов прироста данных показателей влияет окончание сроков инвестиционных проектов, заключенных в 2015-2017 гг.

Таблица 1 – Данные для расчета итогового значения суммарного показателя функционирования СЭЗ по выполнению плановых показателей за 2018-2020 гг.

Показатель	2018				2019				2020			
	план	факт	выпол-нение плана, %	балл	план	факт	выпол-нение плана, %	балл	план	факт	выпол-нение плана, %	балл
Количество участников СЭЗ, ед.	641	97	15,1	1	36	37	102,8	5	39	75	192,3	5
Объем выручки от продажи товаров, работ и услуг, млрд руб.	212,3	254,5	119,9	5	254,8	300,3	117,9	5	316,7	313,9	99,1	5
Количество созданных рабочих мест, тыс. ед	9,9	17,7	178,8	5	14,7	17	115,6	5	7	8,9	127,1	5
Объем капитальных инвестиций, млрд руб.	39,4	46,4	117,8	5	22,5	50,6	224,9	5	26,9	49,9	185,5	5
Итоговый балл	4				5				5			

Для привлечения новых участников СЭЗ и снижения отрицательных последствий от прекращения действия льготных страховых тарифов с 2018 г. в НК РФ в 2020 г. были внесены изменения, которые предусматривают

применение понижающих страховых тарифов для участников СЭЗ, ставших таковыми с 01.01.2018 г.

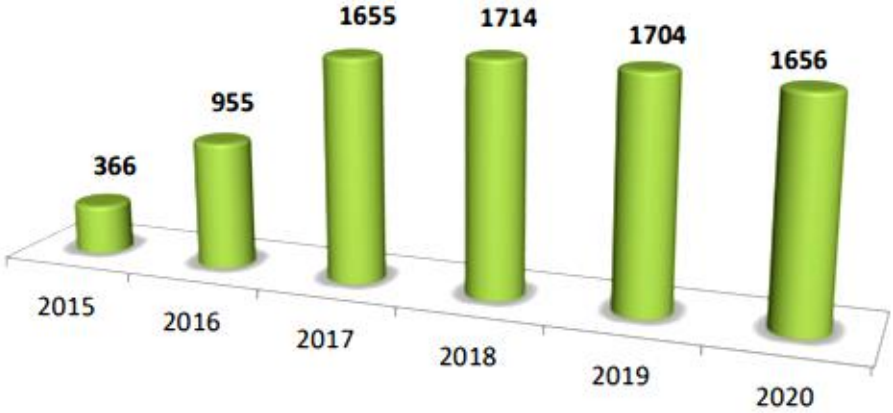


Рисунок 4 – Число участников СЭЗ за 2015-2020 гг.

В России впервые применён подобный механизм действия режима преференций, что позволит участнику СЭЗ компенсировать инвестиции, а в ряде случаев даже получить от государства льготу в полтора раза превышающую понесенные капитальные вложения. Считается, что применение данной преференции позволит создать условия для роста деловой активности и привлекательности СЭЗ в Крыму.

За последние шесть лет с момента создания СЭЗ ее участниками вложено около 210 млрд руб. инвестиций, из них 130 млрд руб. – капитальные вложения (рис. 5).

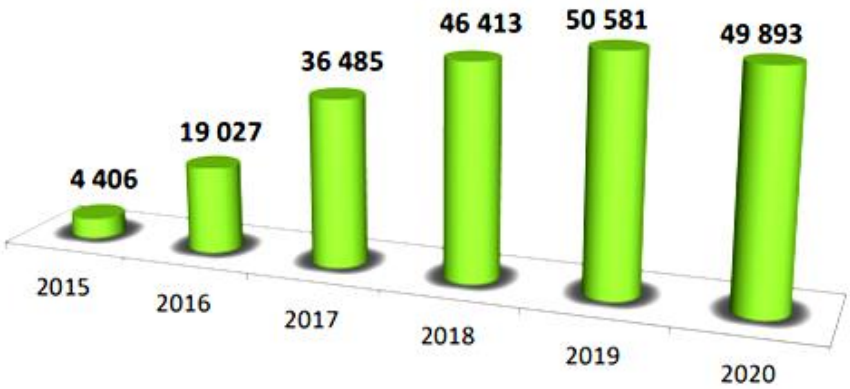


Рисунок 5 – Объем инвестиций участников СЭЗ за 2015-2020 гг.

С момента функционирования свободной экономической зоны в Республике Крым было создано свыше 70 тыс. рабочих мест. За рассматриваемый период в составе участников СЭЗ изменение доли субъектов малого и среднего предпринимательства показывает разнонаправленные тенденции (рис. 6). В основном участники СЭЗ в Республике Крым являются малыми и средними предприятиями (МСП), крупные компании составляют в общей доле участников около 10 %, что связано, прежде всего, с политическими рисками, из-за которых иностранные инвесторы не хотят непосредственно участвовать в развитии экономики РК [9-11].

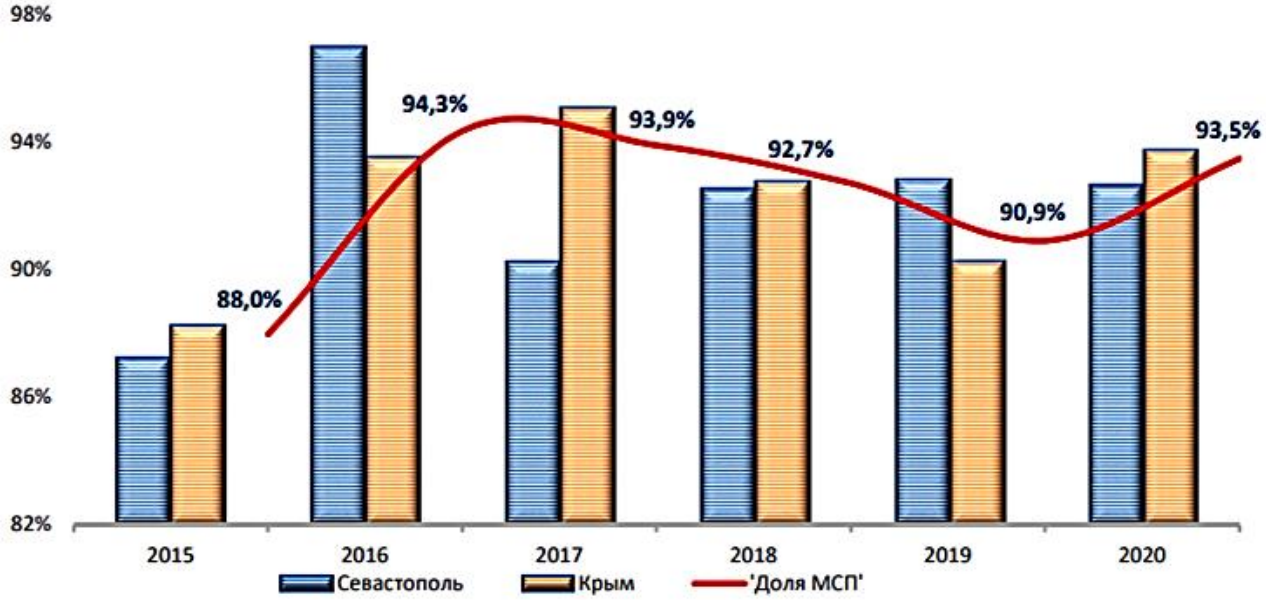


Рисунок 6 – Диаграмма, отражающая долю субъектов МСП
в составе участников СЭЗ за 2015-2020 гг.

В настоящий момент законодательные инициативы правительства РФ направлены на то, чтобы снизить влияние политических санкций ЕС и США против хозяйствующих субъектов Республики Крым и предоставить возможности крупному бизнесу легально работать в данном регионе. Для этого в составе СЭЗ Республики Крым созданы особые административные районы, в которых действует особый правовой режим, разработанный Минэкономразвития РФ и позволяющий сохранять конфиденциальность для крымских организаций

[12]. Также правительство РФ ввело в действие правила получения льготных кредитов для участников СЭЗ на территории Крыма. Объемы кредитования будут варьироваться от 10 млн до 5 млрд руб., разницу по ставкам компенсирует государство. Льготный кредит смогут получить участники СЭЗ, функционирующие в приоритетных сферах экономики Крыма: сельское хозяйство, легкая и пищевая промышленность, инновационные технологии, а также строительство.

Вывод. Таким образом, особый режим осуществления предпринимательской деятельности в СЭЗ является одним из действенных инструментов партнерства государства и субъектов хозяйствования, позволяющий привлекать в экономику Республики Крым и г. Севастополь дополнительные инвестиции в условиях ограничительных международных санкций и оказывающий значительное влияние на макроэкономические показатели в регионе. Осуществленный анализ функционирования участников СЭЗ, а также оценка эффективности деятельности СЭЗ в Республике Крым и г. Севастополь признает эффективным её функционирование за 2018-2020 гг. Для дальнейшего развития СЭЗ со стороны государства разрабатываются дополнительные меры поддержки её участников.

Список использованной литературы:

1. Сайт Федеральной налоговой службы Российской Федерации. URL: http://www.nalog.ru/ (дата обращения: 01.12.2021).
2. Сайт Федеральной таможенной службы Российской Федерации. URL: https://customs.gov.ru/ (дата обращения: 01.12.2021).
3. Сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/507/ (дата обращения: 01.12.2021).
4. Сайт Министерства экономического развития Российской Федерации. URL: http://www.economy.gov.ru/ (дата обращения: 01.12.2021).
5. Сайт Министерства экономического развития Республики Крым. URL: http://www.minek.rk.gov.ru/ (дата обращения: 01.12.2021).
6. О развитии Республики Крым и города федерального значения Севастополя и свободной экономической зоне на территориях Республики Крым и города федерального значения Севастополя: федеральный закон Российской Федерации № 377-ФЗ от 29 ноября 2014 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_171495/ (дата обращения: 01.12.2021).
7. Об утверждении Правил ежегодной оценки эффективности функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя и подготовки

отчета о результатах функционирования свободной экономической зоны: постановление Правительства Российской Федерации № 1368 от 12 декабря 2015 г. URL: https://base.garant.ru/71280958/ (дата обращения: 01.12.2021).

8. Об утверждении формы отчета о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя, представляемого высшим исполнительным органом государственной власти Республики Крым и высшим исполнительным органом государственной власти г. Севастополя: приказ Министерства экономического развития Российской Федерации № 374 от 15 июня 2016 г. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71342658/ (дата обращения: 01.12.2021).
9. Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2018 год. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/socialno_ekonomicheskoe_razvitie_respubliki_krym_i_goroda_federalnogo_znacheniya_sevastopolya/svedeniya_o_edinom_reestre_uchastnikov_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony/otchet_o_rezultatah_funkcionirovaniya_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony_na_territoriyah_respubliki_krym_i_g_sevastopolya_za_2018_god.html (дата обращения: 01.12.2021).
10. Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2019 год. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/socialno_ekonomicheskoe_razvitie_respubliki_krym_i_goroda_federalnogo_znacheniya_sevastopolya/svedeniya_o_edinom_reestre_uchastnikov_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony/otchet_o_rezultatah_funkcionirovaniya_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony_na_territoriyah_respubliki_krym_i_g_sevastopolya_za_2019_god.html (дата обращения: 01.12.2021).
11. Отчет о результатах функционирования свободной экономической зоны на территориях Республики Крым и г. Севастополя за 2020 год. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/socialno_ekonomicheskoe_razvitie_respubliki_krym_i_goroda_federalnogo_znacheniya_sevastopolya/svedeniya_o_edinom_reestre_uchastnikov_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony/otchet_o_rezultatah_funkcionirovaniya_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony_na_territoriyah_respubliki_krym_i_g_sevastopolya_za_2020_god.html (дата обращения: 01.12.2021).
12. *Резиденты свободной экономической зоны в Крыму смогут получить льготные кредиты до 5 млрд рублей. URL: https://www.kommersant.ru/doc/5119694?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (дата обращения: 01.12.2021).*

References:

1. *Sajt Federal'noj nalogovoj sluzhby Rossijskoj Federacii* [Site of the Federal Tax Service of the Russian Federation]. (In Russian). Available at: http://www.nalog.ru/ (accessed 01.12.2021).
2. *Sajt Federal'noj tamozhennoj sluzhby Rossijskoj Federacii* [Site of the Federal Customs Service of the Russian Federation]. (In Russian). Available at: http://customs.gov.ru/ (accessed 01.12.2021).
3. *Sajt Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki Rossijskoj Federacii* [Site of the Federal State Statistics Service of the Russian Federation]. (In Russian). Available at: http://rosstat.gov.ru/folder/507 (accessed 01.12.2021).
4. *Sajt Ministerstva ekonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii* [Site of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation] (In Russian). Available at: http://economy.gov.ru/ (accessed 01.12.2021).
5. *Sajt Ministerstva ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Krym* [Site of the Ministry of Economic Development of the Republic of Crimea] (In Russian). Available at: http://minek.rk.gov.ru/ (accessed 01.12.2021).
6. Russian Federation. The Federal Law № 377-FZ of November 29, 2014 *O razvitii Respubliki Krym i goroda federal'nogo znacheniya Sevastopolya i svobodnoj ekonomicheskoj zone na*

territoriyah Respubliki Krym i goroda federal'nogo znacheniya Sevastopolya [On the Development of the Republic of Crimea and the Federal City of Sevastopol and the Free Economic Zone on the Territories of the Republic of Crimea and the Federal City of Sevastopol]. (In Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_171495/ (accessed 01.12.2021)

7. Russian Federation. Resolution of the Government of the Russian Federation № 1368 of December 12, 2015 *Ob utverzhdenii Pravil ezhegodnoj ocenki effektivnosti funkcionirovaniya svobodnoj ekonomicheskoj zony na territoriyah Respubliki Krym i g. Sevastopolya i podgotovki otcheta o rezul'tatah funkcionirovaniya svobodnoj ekonomicheskoj zony* [On Approval of the Rules for the Annual Assessment of the Effectiveness of the Functioning of the Free Economic Zone in the Territories of the Republic of Crimea and Sevastopol and Preparation of a Report on the Results of the Functioning of the Free Economic Zone]. (In Russian). Available at: https://base.garant.ru/71280958/ (accessed 01.12.2021).
8. Russian Federation. Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation № 374 of June 15, 2016 *Ob utverzhdenii formy otcheta o rezul'tatah funkcionirovaniya svobodnoj ekonomicheskoj zony na territoriyah Respubliki Krym i g. Sevastopolya, predstavlyaemogo vysshim ispolnitel'nym organom gosudarstvennoj vlasti Respubliki Krym i vysshim ispolnitel'nym organom gosudarstvennoj vlasti g. Sevastopolya* [On Approval of the Form of the Report on the Results of the Functioning of the Free Economic Zone in the Territories of the Republic of Crimea and Sevastopol, submitted by the Supreme Executive Body of State Power of the Republic of Crimea and the Supreme Executive Body of State Power of Sevastopol]. (In Russian). Available at: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71342658/ (accessed 01.12.2021)
9. *Otchet o rezul'tatah funkcionirovaniya svobodnoj ekonomicheskoj zony na territoriyah Respubliki Krym i g. Sevastopolya za 2018 god* [Report on the results of the functioning of the free economic zone in the territories of the Republic of Crimea and Sevastopol for 2018]. (In Russian). Available at: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/socialno_ekonomicheskoe_razvitie_respubliki_krym_i_goroda_federalnogo_znacheniya_sevastopolya/svedeniya_o_edinom_reestre_uchastnikov_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony/otchet_o_rezultatah_funkcionirovaniya_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony_na_territoriyah_respubliki_krym_i_g_sevastopolya_za_2018_god.html (accessed 01.12.2021).
10. *Otchet o rezul'tatah funkcionirovaniya svobodnoj ekonomicheskoj zony na territoriyah Respubliki Krym i g. Sevastopolya za 2019 god* [Report on the results of the functioning of the free economic zone in the territories of the Republic of Crimea and Sevastopol for 2019]. (In Russian). Available at: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/socialno_ekonomicheskoe_razvitie_respubliki_krym_i_goroda_federalnogo_znacheniya_sevastopolya/svedeniya_o_edinom_reestre_uchastnikov_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony/otchet_o_rezultatah_funkcionirovaniya_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony_na_territoriyah_respubliki_krym_i_g_sevastopolya_za_2019_god.html (accessed 01.12.2021).
11. *Otchet o rezul'tatah funkcionirovaniya svobodnoj ekonomicheskoj zony na territoriyah Respubliki Krym i g. Sevastopolya za 2020 god* [Report on the results of the functioning of the free economic zone in the territories of the Republic of Crimea and Sevastopol for 2020]. (In Russian). Available at: https://www.economy.gov.ru/material/directions/regionalnoe_razvitie/socialno_ekonomicheskoe_razvitie_respubliki_krym_i_goroda_federalnogo_znacheniya_sevastopolya/svedeniya_o_edinom_reestre_uchastnikov_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony/otchet_o_rezultatah_funkcionirovaniya_svobodnoy_ekonomicheskoy_zony_na_territoriyah_respubliki_krym_i_g_sevastopolya_za_2020_god.html (accessed 01.12.2021).
12. *Rezidenty svobodnoj ekonomicheskoj zony v Krymu smogut poluchit' l'gotnye kredity do 5 mlrd rublej* [Residents of the free economic zone in Crimea will be able to receive preferential loans up to 5 billion rubles]. (In Russian). Available at: https://www.kommersant.ru/doc/5119694?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (accessed 01.12.2021).

Сведения об авторе / Information about author

Рысина Виктория Александровна	канд. экон. наук, доцент кафедры экономики Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 vika_daria@mail.ru
Rysina Victoria Alexandrovna	Ph.D. (Econ.), Associate Professor at the Department of economics Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Ordzhonikidze str., 82 vika_daria@mail.ru

УДК 336.84 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_351**

Скоробогатова В.В., Логунова Н.А.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА

Аннотация. В статье на основе исследования специфики функционирования рыбохозяйственного комплекса, а также проблематики его информационного обеспечения, представлен механизм внедрения в рыбной отрасли системы агрегирования информации, формирующейся на стадии производства, переработки и транспортировки рыбной продукции. Приведены содержательная сущность технологий распределенного реестра, а также особенности внедрения технологий блокчейна. Охарактеризован механизм функционирования технологий распределенного реестра, включающий такие элементы, как: доступ к системе; токены как средство доступа к информации; размещение информации; раскрытие информации; верификация раскрываемой информации. Установлена сфера использования токенов и процедура их накопления и передачи. Предложено использование токенов в качестве инструмента рыночного регулирования отношений в части пользования и раскрытия информации, что будет способствовать повышению достоверности аккумулируемых в рамках системы данных.
Ключевые слова: информационное обеспечение, технологий распределенного реестра, блокчейн, токены, верификация, технологии.

Skorobogatova V.V., Logunova N.A.

INFORMATION SUPPORT OF THE FISHERIES COMPLEX BASED ON THE INTRODUCTION OF MODERN DISTRIBUTED REGISTRY TECHNOLOGIES

Abstract. Based on the study of the specifics of the functioning of the fisheries complex, as well as the problems of its information support, the article presents a mechanism for the introduction of an information aggregation system in the fishing industry, which is formed at the stage of production, processing and transportation of fish products. The substantial essence of distributed registry technologies is given, as well as the features of the introduction of blockchain technologies. The mechanism of functioning of distributed registry technologies is characterized, including such elements as: access to the system; tokens as a means of access to information; placement of information; disclosure of information; verification of disclosed information. The scope of use of tokens and the procedure for their accumulation and transfer have been established. The use of tokens as a tool for market regulation of relations in terms of the use and disclosure of information is proposed, which will contribute to increasing the reliability of the information accumulated within the system.
Keywords: information support, distributed registry technologies, blockchain, tokens, verification, technologies.

Введение. Современные реалии функционирования рыбохозяйственного комплекса, обеспечивающего продовольственную независимость и безопасность государства, а также формирующего его как экспортоориентированный, так и импортозамещающий потенциал, свидетельствуют о необходимости внедрения

современных механизмов и технологий управления, позволяющих своевременно реагировать на изменения внешней среды и нивелировать риски высокой неопределенности ресурсной сырьевой базы. Данное обстоятельство обусловливает значимость создания системы информационного обеспечения рыбохозяйственной деятельности в контексте реализации экономической политики в части цифровой трансформации отрасли.

Цель исследования – на основе изучения специфики функционирования рыбохозяйственного комплекса представить механизм информационного обеспечения отрасли, базирующийся на внедрении современных технологий распределенного реестра.

Материалы и методы исследования. В современных научных публикациях достаточно много внимания уделено проблематике внедрения цифровых платформ и технологий в рыбной отрасли [1], в том числе вопросам устойчивого развития рыбохозяйственного комплекса в условиях цифровизации [2, 3], а также особенностям его цифровой трансформации [4]. В рамках кластерного образования рассмотрены перспективы внедрения информационно-аналитической системы в рыбном хозяйстве [5], актуализирована значимость рыбохозяйственного сектора в области обеспечения продовольственной безопасности государства [6]; обосновано использование ментальных моделей для количественной оценки линейных и нелинейных взаимосвязей в сложных рыбохозяйственных системах [7].

Вместе с тем, несмотря на активные научные дискуссии относительно проблематики и перспектив развития рыбной отрасли [8-11], аспекты её информационного обеспечения в контексте внедрения современных технологий распределенного реестра в научной литературе представлены фрагментарно.

Результаты исследования и их обсуждение. Рыбохозяйственный комплекс России как один из стратегически значимых, социально ориентированных секторов экономики ежегодно демонстрирует положительную динамику, его рентабельность на протяжении последних шести лет сохраняется

на уровне 50 %. Несмотря на незначительное снижение показателей эффективности в 2020 г. в связи с пандемией коронавируса и, как следствие, введением ограничительных мер, перебоев с поставками в Китай (основным рынком сбыта российской рыбопродукции), разрывом логистических цепочек и др. факторами, отрасль динамично развивается, обеспечивая рабочими местами прибрежные субъекты Федерации. По данным Росрыболовства «в 2020 году объем производства рыбной продукции увеличился в сравнении с 2019 годом на 0,4 % и составил 4 миллиона 257 тысяч тонн, 70 % которого – продукция с относительно низкой добавленной стоимостью» [12].

Такой существенный объем рынка рыбной отрасли порождает также ряд насущных проблем, одной из которых является отсутствие достаточно полной информации относительно вылова и переработки, а также транспортировки и хранения рыбы и рыбной продукции по всей цепочке добавленной стоимости. К такой информации, которая представляет ценность для участников рынка рыбной продукции, следует в первую очередь отнести следующую:

- информация, относящаяся к вылову рыбы:
  - вид вылавливаемой рыбы;
  - место вылова (с указанием основного рыбопромыслового района ФАО, государства, компетентного контролирующего органа (например, Росрыболовство в РФ) и пр.);
  - дата вылова;
  - данные о судне (флаг государства, название судна, данные о капитане судна, порт приписки и пр.);
  - способ вылова;
  - общий вес вылова;
  - наличие соответствующий разрешений, лицензий и пр.;
- информация, относящаяся к переработке:
  - вид рыбы;
  - дата и время приемки рыбы;

- информация, фиксируемая в момент приемки (вес, код партии, дата и время отправки, наименование отправителя, наименование производителя);
- условия, при которых осуществляется переработка; способ переработки и пр.;
- наименование готовой продукции;
- предприятие, которому была отгружена готовая продукция;
- информация, относящаяся к отгрузке;

• информация, относящаяся к розничной реализации:
  - наименование продукции;
  - вес;
  - время отправки/получения;
  - наименование транспортной компании и пр.

Основными участниками рынка рыбной продукции, заинтересованными в получении такой информации, являются, прежде всего, предприятия, осуществляющие сбыт рыбной продукции конечным потребителям (в том числе организации розничной торговли, рестораны и пр.) и контролирующие государственные органы. С другой стороны, предприятиям, у которых накапливается, но не передается в данный момент другим участникам рынка информация, являются предприятия, осуществляющие вылов рыбы, перерабатывающие предприятия, торговые и транспортные компании.

Данная проблема недостаточной информационной обеспеченности рынка рыбной отрасли вызвана прежде всего следующими обстоятельствами:

– значительный объем информации, относящийся к различным операциям и действиям, совершаемым с рыбой и рыбной продукцией в процессе ее производства, переработки, транспортировки и конечного потребления;

– участие в цепочках добавленной стоимости рыбной продукции многочисленных посредников, которые, благодаря имеющейся только у них информации и ресурсов, осуществляют закупку рыбы у производителей и

сбывают их рыбоперерабатывающим предприятиям или конечным потребителям;

– значительная фрагментарность на стороне рыбопроизводящих предприятий: сегодня значительный вылов рыбы осуществляется малыми предприятиями, которые, не имея прямых связей с рыбоперерабатывающими организациями либо предприятиями, осуществляющими непосредственный сбыт конечным потребителям, реализовывают рыбу соответствующим посредникам; данный факт приводит к тому, что рыбоперерабатывающие предприятия, а также предприятия, осуществляющие сбыт рыбной продукции конечным потребителям, не обладают соответствующей информацией относительно перерабатываемой/реализуемой продукции;

– чрезвычайно высокая степень асимметрии информации: большая часть существенной информации о рыбной продукции скапливается на начальных звеньях цепочки добавленной стоимости рыбной отрасли, а именно, на предприятиях, осуществляющих вылов рыбы, однако, данная информация не передается последующим звеньям.

Одним из способов решения обозначенных проблем может стать внедрение в рыбной отрасли системы агрегирования информации, формирующейся на стадии производства, переработки и транспортировки рыбной продукции, на основе технологии распределенного реестра (блокчейн). Технология распределенного реестра представляет собой информационную систему, состоящую из непрерывной цепи последовательных блоков, содержащих информацию в цифровой форме. Одной из основных особенностей технологии блокчейна является неизменность, т.е. в уже созданную цепь блоков невозможно внести изменения, либо удалить из нее какую-либо информацию. Такая характеристика данной технологии позволяет обеспечить не только накопление соответствующей информации и ее прозрачность, но также и предотвратить какие-либо действия, направленные на последующее сокрытие, либо изменение информации, что обеспечивает ее надежность и прозрачность.

Кроме того, в рамках системы блокчейн возможно генерирование токенов, которые могут использоваться также для доступа к соответствующей информации или услугам. При этом они могут быть получены на соответствующей платформе/системе, основанной на технологии распределенного реестра. В рамках такой системы токен может выполнять квазиплатежную функцию.

Таким образом, проблему недостатка информации о рыбной продукции, можно решить путем внедрения системы сбора и накопления информации на основе технологии распределенного реестра с использованием токенов в качества средства получения доступа к соответствующей информации, хранящейся в такой системе. Отличительным преимуществом данной системы по сравнению с существующими государственными информационными системами контроля качества, в том числе Российской Федеральной государственной информационной системой «Меркурий», предназначенной для электронной сертификации грузов, за которыми установлен государственный ветеринарный контроль, является, в первую очередь, рыночный механизм регулирования. Так, в отличие от указанных государственных систем контроля качества, которые основываются на административном методе регулирования, предполагающем обязанность участников рынка осуществлять соответствующее раскрытие информации об определенной продукции, предлагаемая система будет иметь коммерческую основу и базироваться на рыночных механизмах, а раскрытие информации будет исключительно добровольным.

Представляется, что соответствующая система сбора и накопления информации о рыбе и рыбной продукции, основанная на технологии блокчейн, будет иметь следующий механизм функционирования:

1) Доступ к системе. В связи с тем, что данная система будет использоваться также небольшими рыболовецкими предприятиями, доступ к такой системе не должен быть связан с существенными технологическими или иными трудностями. Так, для простоты использования системы предлагается

разработать обычные мобильные приложения, которые можно будет загружать на смартфоны либо иные бытовые электронные устройства (ПК, ноутбуки и пр.). Используя данное приложение, соответствующие участники рынка, могут размещать на электронной системе информацию о рыбе/рыбной продукции либо получать доступ к размещенной информации. При этом, для обеспечения удобства и легкости использования приложения предлагается сделать формы для размещения информации стандартизированными.

2) Токены как средство доступа к информации. Как было отмечено ранее, предлагается основывать данную систему исключительно на рыночных способах регулирования, что, в первую очередь, связано с добровольным участием в работе данной системы, в том числе с добровольным раскрытием соответствующей информации. Таким основным средством регулирования отношений в рамках данной системы должны стать токены. Токены предполагается использовать в качестве средства для получения доступа к информации, с одной стороны, и вознаграждения за размещение информации, с другой.

3) Размещение информации. Информация о рыбе и рыбной продукции размещается соответствующими участниками рынка путем заполнения стандартных форм, предусмотренных приложением. После размещения соответствующей информации, она фиксируется в системе и остается закрытой для других участников рынка до момента запроса на предоставление к ней доступа от определенного участника рынка.

4) Раскрытие информации. Раскрытие информации осуществляется на индивидуальной основе. Например, участник системы, осуществивший приобретение рыбы или рыбной продукции у соответствующего производителя, может запросить доступ к информации о приобретенной им рыбе/рыбной продукции при условии оплаты определенной комиссии в форме токенов. При этом оплата комиссии осуществляется не сразу, а после подтверждения лицом, осуществившим приобретение соответствующей рыбы/рыбной продукции,

актуальности и истинности раскрытой информации, причем, многоуровневость такой верификации зависит от элементов цепочки добавленной стоимости. С предоставлением доступа и подтверждением информации определенное количество токенов перечисляются на счет лицу, которое осуществило раскрытие соответствующей информации. Также возможны случаи, когда в отношении отдельной партии рыбной продукции информация была раскрыта несколькими участниками рынка (например, рыболовецкое и рыбоперерабатывающее предприятие в отношении рыбной продукции, сбываемой конечным потребителям розничными магазинами). В данном случае возможно формирование блоков информации, а при предоставлении доступа к такой информации третьему лицу, уплачиваемая этим лицом комиссия распределяется между участниками рынка, осуществившими раскрытие определенного блока информации, в пропорциях, соответствующих её объему и ценности.

5) Верификация раскрываемой информации. Одним из важнейших условий функционирования представленной системы является проверка истинности и актуальности размещаемой и накапливаемой информации. В связи с этим, предполагается внедрение в такую систему нескольких механизмов контроля, которые будут направлены на проверку и верификацию раскрываемой участниками системы информации.

Как было указано выше, в качестве средства обмена в рамках системы информации о рыбе и рыбной продукции предполагается использовать токены, которые будут выпускаться операторами системы по своему усмотрению в зависимости от объема спроса, количества участников системы и прочих условий.

При этом ценность токена будет заключаться в следующем:

- токены можно будет обменять на фиатную (обычную) валюту, например, на российские рубли; причем предполагается, что участники системы, использующие информацию, размещенную в рамках системы, будут и

приобретать токены за фиатную (обычную) валюту, что позволит формировать рыночную стоимость таких токенов в зависимости от объема спроса на информацию и услуги такой системы в целом;

- токены можно будет использовать для получения определенных услуг или товаров, которые связаны с рыбной отраслью. Так, например, для того, чтобы сделать использование токенов привлекательным (и снизить объем их обратной конвертации в фиатную валюту) предполагается, что токены можно будет обменять на получение скидок на покупку оборудования или иных товаров для осуществления какой-либо деятельности в рыболовной отрасли. Такое использование токенов предполагает заключение с соответствующими компаниями специальных соглашений для объединения усилий и взаимовыгодного сотрудничества. Также при условии сотрудничества с компетентными государственными органами предполагается использовать токены для получения разрешений на вылов рыбы или для получения каких-либо льгот. По нашему мнению, такое использование токенов значительно повысит их стоимость и позволит в какой-то степени избежать их обратной конвертации в фиатную валюту. Исходя из чего, токены будут являться основным механизмом рыночного регулирования отношений в связи с раскрытием информации в рамках рассматриваемой системы, что позволит обеспечить размещение соответствующей информации без использования административных методов регулирования.

Ключевым условием функционирования рассматриваемой системы является обеспечение верификации раскрываемой в рамках системы информации, что предполагает внедрение в систему следующих способов контроля истинности и актуальности накапливаемой информации:

- проверка информации осуществляется самими участниками системы. Так, при размещении определенной информации участником системы данная информация подтверждается лицом, осуществившим приобретение соответствующей рыбы или рыбной продукции; причем такая проверка

осуществляется по цепочке приобретения продукции. Данный элемент самостоятельного контроля самими участниками рынка является основополагающим принципом верификации в рамках системы, так как базируется на непосредственной заинтересованности самих участников системы;

- для предотвращения раскрытия заведомо ложной или вводящей в заблуждение информации, а также обеспечения дополнительной заинтересованности самих участников рынка в раскрытии актуальной и подлинной информации предполагается, что для регистрации в данной системе необходимо будет пройти процедуру идентификации соответствующего участника рынка; и только после этого участнику рынка, будет предоставлен доступ к системе;

- кроме того, для обеспечения большей заинтересованности участников системы в раскрытии актуальной и достоверной информации предлагается установить определенную рейтинговую систему, которая будет присваивать соответствующим участникам рейтинг в зависимости от степени актуальности и достоверности раскрываемой таким участником информации; соответственно в зависимости от рейтинга участника также будет оцениваться раскрываемая таким участником информация. Следовательно, чем выше рейтинг участника, тем больше он будет получать токенов за размещаемую им информацию.

Предполагается, что указанные рыночные способы регулирования также позволят обеспечивать высокую степень достоверности аккумулируемой в рамках системы информации.

Организация деятельности участников рынка относительно размещаемой ими информации представлена в таблице 1.

Таким образом, конечным выгодоприобретателем данной системы является потребитель, который получает весь комплекс информации о потребляемом им продукте. При этом представляется целесообразным разделение информации на два уровня: минимальный объем раскрываемой

информации, а также более расширенный объем информации.

- минимально необходимый объем информации раскрывать конечным потребителям бесплатно – на этикетке либо в меню (в случае ресторана);

Таблица 1 – Организация деятельности участников рынка относительно размещаемой ими информации

Участник рынка	Деятельность	Размещаемая информация	Использование токенов
1	2	3	4
Рыболовецкие предприятия	Осуществление вылова рыбы	Вид вылавливаемой рыбы, место вылова, дата вылова, данные о судне, способ вылова, общий вес вылова и пр.	Рыболовецкие предприятия получают токены от участников рынка, осуществляющих закупки рыбы (к ним преимущественно относятся торговые компании, предприятия, осуществляющие первичную переработку рыбы, а также перерабатывающие предприятия)
Торговые компании, осуществляющие оптовую торговлю рыбой	Реализация (включая экспорт) рыбы перерабатывающим предприятиям, а также предприятиям, осуществляющим розничный или иной сбыт конечным потребителям	Информация, связанная преимущественно с условиями хранения и транспортировкой	Торговые компании получают токены от предприятий, осуществляющих первичную переработку рыбы, перерабатывающих предприятий, а также предприятий, осуществляющих сбыт конечным потребителям
Предприятия, осуществляющие первичную переработку рыбы	Осуществляют первичную переработку рыбы	Информация, связанная с условиями первичной переработки, а также (при наличии соответствующего оборудования) более глубокие данные относительно качества рыбы	Предприятия, осуществляющие первичную переработку рыбы, получают токены преимущественно от перерабатывающих предприятий

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Перерабатывающее предприятие	Осуществление основной переработки рыбы для производства рыбной продукции	Информация, относящаяся к переработке: вид рыбы, дата и время приемки рыбы, информация, фиксируемая в момент приемки, условия, при которых осуществляется переработка; способ переработки и пр., наименование готовой продукции и пр.	Перерабатывающие предприятия получают токены от торговых компаний, осуществляющих оптовую торговлю рыбной продукцией, предприятий, реализующих рыбную продукцию конечным потребителям
Торговые компании, осуществляющие оптовую торговлю рыбной продукцией	Оптовая торговля рыбной продукцией	Информация, относящаяся преимущественно к транспортировке и хранению продукции	Торговые компании получают токены от предприятий, осуществляющих сбыт рыбной продукции конечным потребителям
Предприятия, осуществляющие сбыт рыбы и рыбной продукции конечным потребителям	Розничная торговля рыбой и рыбной продукцией	Информация о транспортировке и хранении рыбной продукции*	Предприятия, осуществляющие сбыт продукции конечным потребителям, могут получать токены непосредственно от потребителей

* на данном этапе завершается формирование всего блока информации относительно рыбы/рыбной продукции, реализуемой конечным потребителям, и потребитель может ознакомиться со всем массивом информации, относящейся к рыбной продукции, которую он намеревается приобрести

К первому уровню следует отнести следующую наиболее существенную информацию о рыбной продукции: вид рыбы, дата и место вылова, место и дата переработки. Ко второму более углубленному уровню стоит отнести всю остальную информацию, накопленную в ходе производства и переработки рыбной продукции. Следовательно, целесообразным представляется использование следующей модели передачи токенов между конечным потребителем и предприятием, осуществляющим сбыт рыбы и рыбной продукции конечным потребителям:

- весь комплекс информации о соответствующем рыбном продукте второго уровня предоставлять конечному потребителю только при условии уплаты им

токенов; при этом для получения такой информации конечный потребитель должен быть зарегистрирован в рассматриваемой системе.

Выводы. Таким образом, внедрение рассмотренной системы информационного обеспечения рыбохозяйственного комплекса на основе внедрения современных технологии распределенного реестра позволит решить проблемы недостатка информации относительно вылова, переработки, транспортировки и хранения рыбы и рыбной продукции по всей цепочке добавленной стоимости, а также создаст возможность реализовать механизм рыночного регулирования отношений в части пользования и раскрытия информации в рыбной отрасли.

Список использованной литературы:

1. *Волкогон В.А., Сергеев Л.И.* Цифровые платформы в рыбной отрасли // Рыбное хозяйство. 2019. № 3. С. 26-33.
2. *Дусаева Е.М., Труба А.С., Курманова А.Х.* Обеспечение устойчивого развития рыбохозяйственного комплекса России в условиях цифровизации // Вопросы рыболовства. 2021. Т. 22. № 3. С. 125-140.
3. *Кострикова Н.А., Майтаков Ф.Г., Яфасов А.Я.* Современные тренды цифровизации экономики и перспективы их использования в морской индустрии на примере рыбохозяйственного комплекса России // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4-4 (46). С. 126-139.
4. *Логунова Н.А., Скоробогатова В.В.* Особенности цифровой трансформации рыбохозяйственного комплекса // Цифровой контент социального и экосистемного развития экономики: сборник трудов Международной научно-практической конференции. Симферополь, 2021. С. 213-215.
5. *Чертина Е.В., Квятковская И.Ю., Хоменко Т.В.* Информационно-аналитическая система управления региональным кластером аквакультуры и рыбного хозяйства // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionno-analiticheskaya-sistema-upravleniya-regionalnym-klasterom-akvakultury-i-rybnogo-hozyaystva (дата обращения: 17.12.2021).
6. *Bogachev A.I., Dorofeeva L.N.* Fisheries as a factor of strengthening food security in Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 839 (2). P. 022032.
7. *Murphy R., Estabrooks A., Gauvin J., Wolf N., Harris B.P.* Using mental models to quantify linear and non-linear relationships in complex fishery systems // Marine Policy. 2021. Vol. 132. P. 104695.
8. *Соколов А.В.* Современное состояние и тенденции развития рыбохозяйственного комплекса России // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2019. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-tendentsii-razvitiya-rybohozyaystvennogo-kompleksa-rossii (дата обращения: 16.12.2021).
9. Рыбный промысел: улов рыбы и добыча других водных биоресурсов. Информационный бюллетень. Махачкала: ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ, 2020. 64 с.
10. *Yarkina N. Logunova N.* Applied potential of econometric instrumentation of substantiation of

economic decisions within fisheries sector // Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018): E3S Web Conf. 2019. Vol. 91. P. 08054.
11. *Мнацаканян А.Г., Кузин В.И., Харин А.Г.* Перспективы и проблемы цифровизации российского рыбного хозяйства // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4-4 (46). С. 103-110.
12. Федеральное агентство по рыболовству: официальный сайт. URL: https://fish.gov.ru/ (дата обращения: 17.12.2021).

References:

1. Volkogon V.A., Sergeyev L.I. Tsifrovyye platformy v rybnoy otrasli [Digital platforms in the fishing industry]. *Rybnoye khozyaystvo* [Fish Industry], 2019, no. 3, pp. 26-33. (In Russian).
2. Dusayeva Ye.M., Truba A.S., Kurmanova A.Kh. Obespecheniye ustoychivogo razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossii v usloviyakh tsifrovizatsii [Ensuring sustainable development of the fishery complex of Russia in the context of digitalization]. *Voprosy rybolovstva* [Issues of fisheries], 2021, vol. 22, no. 3, pp. 125-140. (In Russian).
3. Kostrikova N.A., Maytakov F.G., Yafasov A.YA. Sovremennyye trendy tsifrovizatsii ekonomiki i perspektivy ikh ispol'zovaniya v morskoy industrii na primere rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossii [Modern trends in the digitalization of the economy and the prospects for their use in the marine industry on the example of the fishery complex of Russia]. *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii* [Marine Intelligent Technologies], 2019, no. 4-4 (46), pp. 126-139. (In Russian).
4. Logunova N.A., Skorobogatova V.V. Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Osobennosti tsifrovoy transformatsii rybokhozyaystvennogo kompleksa» [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Features of the digital transformation of the fishery complex”]. *Tsifrovoy kontent sotsial'nogo i ekosistemnogo razvitiya ekonomiki* [Digital content of social and ecosystem development of the economy]. Simferopol, 2021, pp. 213-215. (In Russian).
5. Chertina Ye.V., Kvyatkovskaya I.Yu., Khomenko T.V. Informatsionno-analiticheskaya sistema upravleniya regional'nym klasterom akvakul'tury i rybnogo khozyaystva [Information and analytical management system for the regional cluster of aquaculture and fisheries]. *Vestnik AGTU. Seriya: Upravleniye, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Vestnik AGTU. Series: Management, computer technology and informatics], 2017, no. 2. (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionno-analiticheskaya-sistema-upravleniya-regionalnym-klasterom-akvakultury-i-rybnogo-hozyaystva (accessed 17.12.2021).
6. Bogachev A.I., Dorofeeva L.N. Fisheries as a factor of strengthening food security in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 839 (2), pp. 022032. (In English).
7. Murphy R., Estabrooks A., Gauvin J., Wolf N., Harris B.P. Using mental models to quantify linear and non-linear relationships in complex fishery systems. *Marine Policy*, 2021, vol. 132, pp. 104695. (In English).
8. Sokolov A.V. Sovremennoye sostoyaniye i tendentsii razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossii [Current state and development trends of the fishery complex of Russia]. *Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya* [Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products], 2019, no. 4. (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-tendentsii-razvitiya-rybohozyaystvennogo-kompleksa-rossii (accessed 16.12.2021).
9. *Rybnyy promysel: ulov ryby i dobycha drugikh vodnykh bioresursov* [Fishing: catch of fish and production of other aquatic biological resources]. Makhachkala, Dagestan GAU Publ., 2020, 64 p. (In Russian).
10. Yarkina N. Logunova N. Applied potential of econometric instrumentation of substantiation of

economic decisions within fisheries sector. *Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018): E3S Web Conf.*, 2019, vol. 91, pp. 08054. (In English).

11. Mnatsakanyan A.G., Kuzin V.I., Kharin A.G. Perspektivy i problemy tsifrovizatsii rossiyskogo rybnogo khozyaystva [Prospects and problems of digitalization of the Russian fish industry]. *Morskiye intellektual'nyye tekhnologii* [Marine Intelligent Technologies], 2019, no. 4-4 (46), pp. 103-110. (In Russian).
12. Federal'noe agentstvo po rybolovstvu: oficial'nyj sajt [The official website of the Federal Agency for Fisheries] (In Russian). Available at: https://fish.gov.ru/ (accessed 17.12.2021).

Сведения об авторах / Information about authors

Скоробогатова Виктория Викторовна	канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедры экономики Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 kgmtu@kgmtu.ru
Skorobogatova Victoria Viktorovna	Ph.D. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department of Economics Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 kgmtu@kgmtu.ru
Логунова Наталья Анатольевна	д-р экон. наук, профессор, проректор по научной работе Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 kgmtu@kgmtu.ru
Logunova Natalya Anatolyevna	Dr. Sci. (Econ.), Professor, Vice-rector for research Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 kgmtu@kgmtu.ru

УДК 639.2/.3:330.131.7 **DOI: 10.47404/2619-0605_2021_4_366**

Яркина Н.Н.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ РИСКАМИ

Аннотация. В статье представлены результаты анализа и систематизации нормативно-правовой базы управления предпринимательскими рисками субъектов рыбохозяйственной деятельности. В качестве эмпирической основы исследования рассмотрены международные и национальные стандарты в области менеджмента риска и экосистемного подхода к управлению, законодательные акты Российской Федерации в сфере рыболовства и аквакультуры, программные документы международных организаций и межправительственные соглашения по вопросам ведения ответственного рыболовства. За методологическую основу исследования взят диалектический подход, опирающийся на методы формальной логики. Установлено, что нормативно-правовое обеспечение управления рыбохозяйственными рисками представляет собой систему национальных межотраслевых и отраслевых нормативно-законодательных актов, а также международных нормативных и регулирующих документов, прямо или косвенно нацеленных на эффективное управление рисками субъектов рыбного хозяйства. Отмечено, что особенностью нормативно-правовой базы управления рыбохозяйственными рисками является ее «выход» за отраслевые и национальные границы на уровень международных организаций, занимающихся как проблемами существования и устойчивого развития мирового сообщества вообще, так и мирового рыбного хозяйства, в частности. Подчеркнута принципиальная значимость с позиций доверия к системе управления предпринимательскими рисками гармонизации национальных стандартов Российской Федерации в области менеджмента риска и экологического менеджмента с соответствующими международными стандартами. Результат исследования позволил утверждать, что нормативно-правовое обеспечение управления рыбохозяйственными рисками в Российской Федерации абсолютно согласуется с нормами международных актов как в сфере управления рисками, так и в области ответственного рыболовства и аквакультуры с учетом требований экологического управления.

Ключевые слова: рыбное хозяйство, предпринимательский риск, нормативно-правовое обеспечение, стандарты, систематизация.

Yarkina N.N.

REGULATORY AND LEGAL SUPPORT FOR FISHERIES RISK MANAGEMENT

Abstract. The article presents the results of the analysis and systematization of the regulatory framework for the management of entrepreneurial risks of fishing entities. International and national standards in the field of risk management and ecosystem approach to management; legislative acts of the Russian Federation in the field of fisheries and aquaculture; program documents of international organizations and intergovernmental agreements on responsible fisheries are considered as an empirical basis of the study. The dialectical approach based on the methods of formal logic is taken as the methodological basis of the study. It is established that the regulatory and legal support of fisheries risk management is a system of national intersectoral and sectoral regulatory and legislative acts, as well as international regulatory and regulatory documents, directly or indirectly aimed at effective risk management of fisheries entities. It is noted that the peculiarity of the regulatory framework for fisheries risk management is its "going beyond" sectoral and national borders to the level of international organizations that deal with both the problems of the existence and sustainable development of the world community and the world fisheries. The fundamental importance of the

harmonization of the national standards of the Russian Federation in the field of risk management and environmental management with the relevant international standards from the standpoint of trust in the business risk management system is emphasized. The result of the study allowed us to assert that the regulatory and legal support of fisheries risk management in the Russian Federation is absolutely consistent with the norms of international acts both in the field of risk management and in the field of responsible fisheries and aquaculture, taking into account the requirements of environmental management.
Keywords: fisheries, entrepreneurial risk, regulatory and legal support, standards, systematization.

Введение. Рыбохозяйственные риски – объективная реальность, обусловленная как спецификой предпринимательской деятельности вообще, так и рыбохозяйственной – в частности. Термин «риск», в основу которого положено итальянское слово «risico» – «риск», образованное от итальянского слова «risicare», имеющего древнегреческую этимологию («ῥιζικόν» – «утес»), и означающее «лавировать между скал», говорит сам за себя. Рыбохозяйственный бизнес не только в переносном, но в прямом смысле должен «лавировать между скал», ибо рыбохозяйственная деятельность связана с водной стихией, несущей в себе комплекс непредсказуемых угроз и связанных с ними потерь. Объективность риска, как неотъемлемой характеристики любого бизнеса, потребовала наличия средств его легитимизации в предпринимательской среде на нормативно-правовом уровне, определяющем суть предпринимательского риска и механизмы управления им с учетом отраслевых особенностей.

Цель исследования состоит в изучении и систематизации нормативно-правовой базы управления рыбохозяйственными рисками, т.е. рисками, присущими деятельности рыбохозяйственных предприятий – важнейших субъектов обеспечения продовольственной безопасности и социальной стабильности, активных участников реализации целей устойчивого развития современного общества.

Материалы и методы исследования. Эмпирическую основу исследования составили международные и национальные стандарты в области менеджмента риска и экосистемного подхода к управлению; законодательные акты Российской Федерации в сфере рыболовства и аквакультуры; программные документы международных организаций (в частности, ФАО) и

межправительственные соглашения, содержащие нормы «мягкого» права по вопросам ведения ответственного рыболовства.

Методологическую основу исследования составил диалектический подход, опирающийся на методы формальной логики, в частности: метод дедукции, позволяющий общие стандартизированные принципы и методы менеджмента риска «перенести на почву» управления рыбохозяйственными рисками; методы анализа и синтеза в сочетании с методом сравнения, дающие возможность изучить и систематизировать нормативно-правовые акты, прямо или косвенно касающиеся вопросов управления рыбохозяйственными рисками.

Результаты исследования и их обсуждение. Нормативно-правовое обеспечение управления рыбохозяйственными рисками является инструментом внешнего регулирования рыбохозяйственных процессов, нацеленным на жизнеспособность и развитие рыбного хозяйства в долгосрочной перспективе посредством действенного правового нормативно-регуляторного механизма снижения уровня предпринимательского риска его субъектов.

Рыбное хозяйство, как элемент национальной экономической системы, в первую очередь, подчинено общенациональным нормам и требованиям хозяйствования, что предопределяет необходимость изначально остановиться на нормативно-правовых актах и нормативно-регуляторных документах Российского федерации относительно вопросов управления предпринимательскими (хозяйственными) рисками как таковыми. Их можно условно разделить на группы официальных документов, в которых:

– признается риск как характеристика предпринимательской деятельности и раскрывается его сущность (Гражданский Кодекс Российской Федерации). Согласно ст. 2 ГК РФ «Отношения, регулируемые гражданским законодательством», «риск» выделяется как неотъемлемая характеристика предпринимательской деятельности [1], и может определяться как «предпринимательский риск». Понятие «предпринимательский риск» зафиксировано в ст. 929 ГК РФ «Договор имущественного страхования» как

«риск убытков от предпринимательской деятельности из-за нарушения своих обязательств контрагентами предпринимателя или изменения условий этой деятельности по не зависящим от предпринимателя обстоятельствам, в том числе риск неполучения ожидаемых доходов» [2];

– определяются общие характеристики управления предпринимательскими рисками как объекта стандартизации, а также правила и общие принципы в его отношении (национальные стандарты в области управления рисками). Базовым документом для разработки национальных стандартов в области управления рисками является Международный стандарт ISO 31000:2018(E) «Менеджмент риска – Руководство» [3], представляющий собой рекомендации по управлению рисками, с которыми сталкиваются предприятия. Порядок применения соответствующих рекомендаций может быть адаптирован для любого предприятия в течение всего его жизненного цикла и для различных его системных элементов (процессов, факторов и результатов предпринимательской деятельности и т.д.);

– рассматриваются отдельные разновидности предпринимательских рисков и определенные аспекты управления ими. В числе нормативно-правовых документов, рассматривающих отдельные вопросы управления частными проявлениями предпринимательского риска, целесообразно выделить Федеральный закон «О техническом регулировании» [4], Федеральный закон «О финансовой аренде (лизинге)» [5], Федеральный закон «Об охране окружающей среды» [6], Закон РФ «Об организации страхового дела в Российской Федерации» [7]. Кроме того, управление предпринимательскими рисками опирается на распоряжения и требования государственных регулирующих органов, законодательных и исполнительных органов государственной власти и другие нормативно-правовые документы, касающиеся поведения субъектов предпринимательства.

Важнейшим направлением государственного участия в управлении предпринимательскими рисками является нормативное регулирование.

Нормативное регулирование в сфере управления предпринимательскими рисками представляет собой установление общих правил (принципов), характеристик и требований, нацеленных на оптимизацию управленческих решений относительно рисков, сопровождающих предпринимательскую деятельность. В его основе лежит стандартизация – деятельность по разработке, опубликованию и применению соответствующих стандартов.

Управление предпринимательскими рисками опирается на систему международных и национальных стандартов риск-менеджмента, определяющих общие и частные (узкоспециализированные и (или) отраслевые) рекомендации, нормы и требования по управлению рисками предприятий.

К наиболее важным, основополагающим международным стандартам в области управления предпринимательскими рисками, нацеленным на повышение эффективности управления предприятием и минимизацию рисков его деятельности, фокусирующимся на системе управления предприятием и его целях, относят:

– Международный стандарт ISO 31000:2018(E) «Risk management – Guidelines» («Менеджмент риска – Руководство»), описывающий принципы, структуру (систему структурных элементов) и процесс управления рисками [3];

– Международный стандарт ISO/IEC 31010:2009 «Risk management – Risk assessment techniques» («Менеджмент риска. Методы оценки риска»), определяющий подходы к выбору и применению методов общей оценки рисков, как элемента механизма управления ими [8].

К основным национальным стандартам Российской Федерации в сфере управления предпринимательскими рисками относятся ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» [9] и ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска» [10], идентичные по содержанию ISO 31000:2018(E) и ISO/IEC 31010:2009.

Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство», ориентированный на лиц, чья деятельность направлена на капитализацию бизнеса путем управления рисками,

определяет, что управление риском:

– предопределено влиянием на предпринимательские структуры всех типов и размеров внешних и внутренних факторов, создающих неопределенность в отношении достижения ими поставленных целей;

– нацелено на создание и защиту корпоративных ценностей. Оно повышает производительность, поощряет инновации и поддерживает достижение целей;

– рассматривается как итеративный процесс. Оно способствует принятию обоснованных стратегических и тактических решений, достижению поставленных целей;

– является частью корпоративного управления, «встроенной» в систему управления предприятием и имеющей принципиально важное значение для эффективного управления на всех уровнях организационной структуры;

– затрагивает любые виды деятельности, осуществляемые в рамках предприятия, и включает взаимодействие с причастными сторонами;

– учитывает внешнюю и внутреннюю среду предприятия, включая поведение людей и культурные факторы;

– основано на принципах, структуре (системе структурных элементов) и процессе, описанных в нем (рис. 1). Структура и процесс управления рисками имеют взаимообусловленный характер и строятся с учетом соответствующих принципов.

Сформулированные в стандарте принципы (рис. 2) определяют ключевые характеристики эффективного управления предпринимательскими рисками и должны учитываться при формировании системы управления рисками предприятий.

ГОСТ Р ИСО 31000-2019 определяет, что:

– система управления рисками предназначена для обеспечения возможности интеграции процесса управления ими в основные направления деятельности и функции предприятия, что, в свою очередь, требует участия всех причастных сторон, особенно высшего руководства предприятия, демонстрирующего лидерство и приверженность;

ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство»

Область применения

Стандарт обеспечивает общий подход к менеджменту любых видов риска и не ограничивается конкретной отраслью или видом деятельности. Он может использоваться на протяжении всего периода существования предприятия и может применяться к любой деятельности, включая процесс принятия решений на всех уровнях управления.

Термины и определения

Риск – следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей.
Примечания:
– под следствием влияния неопределенности необходимо понимать отклонение от ожидаемого результата или события (позитивное и (или) негативное);
– цели могут быть различными по содержанию (в области экономики, здоровья, экологии и т.п.) и назначению (стратегические, общеорганизационные, относящиеся к разработке проекта, конкретной продукции и процессу);
– риск часто характеризуют путем описания возможного события и его последствий или их сочетания;
– риск часто представляют в виде последствий возможного события (включая изменения обстоятельств) и соответствующей вероятности;
– неопределенность – это состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания события, его последствий и их вероятностей.
Менеджмент риска – скоординированные действия по руководству и управлению предприятием в области риска.
Другие термины: источник риска, событие, последствие, сравнительная оценка риска и т.д.

Принципы

– интегрированность
– адаптированность
– динамичность
– непрерывное улучшение
– структурированность и комплексность
– вовлеченность
– базирование на наилучшей доступной информации
– учет поведенческих и культурных факторов

Структура

– адаптация
– проектирование и разработка
– внедрение
– оценка эффективности
– улучшение

Процесс

– обмен информацией и консультирование
– область применения, среда и критерии
– оценка риска (идентификация риска → анализ риска → сравнительная оценка риска)
– обработка риска
– мониторинг и пересмотр
– документирование и отчетность

Рисунок 1 – Краткое содержание ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство»

Принципы менеджмента риска

- **Интегрированность**. Интегрированный менеджмент риска является неотъемлемой частью всей деятельности предприятия
- **Структурированность и комплексность**. Структурированный и комплексный подход к менеджменту риска способствует согласованным и сопоставимым результатам
- **Адаптированность**. Структура и процесс менеджмента риска настраиваются и соразмерны внешней и внутренней среде предприятия, его целям
- **Вовлеченность**. Вовлеченность заключается в надлежащем и своевременном участии причастных сторон, что позволяет учитывать их знания, взгляды и мнения. Это приводит к повышению осведомленности и информативности в рамках менеджмента риска
- **Динамичность**. Риски могут возникать, меняться или исчезать по мере изменения внешней и внутренней среды предприятия. Менеджмент риска предвосхищает, обнаруживает, признает и реагирует на эти изменения и события соответствующим и своевременным образом
- **Базирование на наилучшей доступной информации**. В качестве исходных данных используются исторические и текущие данные, а также прогнозные ожидания. Менеджмент риска явно учитывает любые ограничения и неопределенности, связанные с исходными данными и ожиданиями. Информация должна быть актуальной, ясной и доступной для всех причастных сторон
- **Учет поведенческих и культурных факторов**. Поведение и культура человека существенно влияют на все аспекты менеджмента риска на каждом уровне и этапе
- **Непрерывное улучшение**. Менеджмент риска постоянно улучшается благодаря обучению и накоплению опыта

Рисунок 2 – Смысловая нагрузка принципов управления риском согласно ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство»

– процесс управления рисками предполагает систематическое применение политик, процедур и действий по обмену информацией и консультированию, анализу среды, а также по оценке, обработке риска, мониторингу, пересмотру, документированию рисков и подготовки отчетности.

Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска» разработан в дополнение к ИСО 31000. Он содержит рекомендации по выбору и применению методов

оценки риска. Следует подчеркнуть, что этот стандарт не содержит конкретных критериев идентификации потребности в анализе риска и указаний по применению методов анализа риска в конкретной ситуации, и допускает использование различных методов оценки риска, в том числе и не включенных в перечень методов, приведенных в нем, с учетом их применимости в конкретной ситуации.

Наряду со стандартами серии ИСО 31000 (включающей, в том числе, ИСО 31000-2019 и ИСО/МЭК 31010-2011), описывающими риск в целом, существует большое количество национальных и международных стандартов, рассматривающих различные аспекты управления рисками в рамках различных видов предпринимательской деятельности и отраслей производства, по отдельным направлениям управленческой деятельности, и т.д. Большинство из них являются узкоспециализированными и не ставят своей целью задать единый рамочный процесс управления. Такие стандарты обычно фокусируются на отдельном типе рисков. Например, ГОСТ Р 51901.3-2007 (МЭК 60300-2:2004) «Менеджмент риска. Руководство по менеджменту надежности» [11], рассматривает риски надежности продукции, ГОСТ 12.0.230.5-2018 «Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ» [12] направлен на установление практико-ориентированных подходов к разработке конкретных методик оценки риска для обеспечения безопасного выполнения работ, в ходе которого возможно воздействие опасных и (или) вредных производственных факторов на организм работающего.

К специализированным отраслевым стандартам относится ГОСТ Р 58969-2020 «Менеджмент риска. Управление технико-производственными рисками промышленного предприятия» [13], в основе которого лежит систематизация применения методологического инструментария управления рисками промышленного предприятия, относящимися непосредственно к производственному процессу. Этот стандарт отражает специфику управления

производственными рисками на промышленных предприятиях различного профиля.

Кроме универсальных стандартов менеджмента риска, к инструментам нормативного регулирования в сфере управления рыбохозяйственными рисками, способствующим снижению их уровня и обеспечению эффективной деятельности предприятий отрасли с учетом реализации принципов интегрированности менеджмента риска в общую систему управления предприятием и комплексного подхода к управленческой деятельности, относятся стандарты других серий и направленности. В частности:

– стандарты серии ISO 9000 – серия международных и национальных стандартов, содержащих термины и определения, основные принципы менеджмента качества, требования к системе менеджмента качества организаций и предприятий, а также руководство по достижению устойчивого результата [14-17];

– стандарты серии ISO 14000 – серия международных и национальных стандартов, содержащих требования и руководство по применению, а также общие указания по внедрению систем экологического менеджмента и другие требования, принципы и методы экологического менеджмента [18-23]. Так же как серия ISO 9000, серия ISO 14000 может служить как внутренним инструментом управления, так и способом продемонстрировать экологическую ответственность своим клиентам и потребителям, и построена на процессно-ориентированном походе к управлению;

– стандарты серии ISO 27000 – серия международных и национальных стандартов под общим названием «Информационные технологии. Методы обеспечения безопасности. Менеджмент информационной безопасности…», отражающим ее назначение и содержание [24-28]. Данная серия содержит практические рекомендации для создания, развития и поддержания системы управления информационной безопасностью, способствуя снижению уровня информационных рисков;

– ГОСТ Р 51705.1-2001 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования» [29], определяющий основные требования к системе управления качеством и безопасностью пищевых продуктов на основе принципов ХАССП (HACCP – Hazard analysis and critical control points (Анализ рисков и критические контрольные точки)), изложенные в директиве Совета Европейского сообщества 93/43 от 14.06.1993 г. «О гигиене пищевых продуктов». Концепция ХАССП предусматривает систематическую идентификацию, оценку и регулирование факторов, оказывающих существенное негативное влияние на безопасность пищевой продукции, к которой продукция рыбохозяйственных предприятий имеет самое непосредственное отношение.

Система управления качеством пищевой продукции, построенная на принципах ХАССП (рис. 3), признается главным инструментом обеспечения ее безопасности и действенным средством снижения предпринимательских рисков (производственных и коммерческих) предприятий, задействованных в цепочке производства продуктов питания. Внедрение системы контроля за качеством продукции на основе ХАССП предполагает обязательное выполнение общих санитарно-гигиенических требований, законодательно закрепленных соответствующими Директивами Совета ЕС, что позволяет повысить доверие к качеству рыбной продукции отечественных производителей и дает доступ на мировые рынки, снижая соответствующие риски.

Осознание экологических проблем, связанных с нарушением экосистем и последующими угрозами устойчивому развитию общества, обусловленных, в первую очередь, негативным антропогенным воздействием на окружающий природный мир, способствовало активизации деятельности международных организаций, вырабатывающих как общие требования к рациональному природопользованию и экологическому управлению (ИСО), так и частные установки и рекомендации относительно решения проблем конкретных экосистем и взаимодействия с ними социально-экономических структур (ФАО).

Принципы ХАССП

1. Идентификация потенциального риска или рисков (опасных факторов), которые сопряжены с производством продуктов питания, начиная с получения сырья (разведения или выращивания) до конечного потребления, включая все стадии жизненного цикла продукции (обработку, переработку, хранение и реализацию) с целью выявления условий возникновения потенциального риска (рисков) и установления необходимых мер для их контроля
2. Выявление критических контрольных точек в производстве для устранения (минимизации) риска или возможности его появления, при этом рассматриваемые операции производства пищевых продуктов могут охватывать поставку сырья, подбор ингредиентов, переработку, хранение, транспортирование, складирование и реализацию
3. В документах системы ХАССП или технологических инструкциях следует установить и соблюдать предельные значения параметров для подтверждения того, что критическая контрольная точка находится под контролем
4. Разработка системы мониторинга, позволяющей обеспечить контроль критических контрольных точек на основе планируемых мер или наблюдений
5. Разработка корректирующих действий и применение их в случае отрицательных результатов мониторинга
6. Разработка процедур проверки, которые должны регулярно проводиться для обеспечения эффективности функционирования системы ХАССП
7. Документирование всех процедур системы, форм и способов регистрации данных, относящихся к системе ХАССП

Рисунок 3 – Принципы разработки системы ХАССП

Именно ФАО инициировала и добилась принятия в 1995 году Кодекса ведения ответственного рыболовства [30] – уникальнейшего по своей мировой значимости и содержанию документа, устанавливающего международные нормы и общие принципы ответственного поведения субъектов рыбного хозяйства, нацеленного на обеспечение эффективного сохранения, рациональное использование и приумножение живых водных ресурсов при должном внимании к экосистеме и биоразнообразию.

Кодекс ведения ответственного рыболовства лег в основу экосистемного подхода к рыболовству и аквакультуре, который является, по сути, комплексным подходом к управлению рыбным хозяйством, направленным на поиск

компромисса между различными целями общества (экономическими, социальными и экологическими). Реализация этого подхода в рыбохозяйственной практике позволяет рационализировать рыбоводческую и промысловую деятельность исходя из потребностей общества и возможностей экосистемы мирового океана, формируя потенциал снижения рыбохозяйственных рисков в перспективе, обеспечивая устойчивое развитие отрасли.

Важнейшую роль в управлении рыбохозяйственными рисками играют международные рыбохозяйственные организации, деятельность которых направлена на создание условий ответственного рыболовства, сохранение и контроль морских живых ресурсов мирового океана, противодействие незаконному промыслу (ННП-промыслу) и т.д. Решая проблемы рационального использования водных биоресурсов и естественного воспроизводства рыбных запасов, они содействуют поддержанию сырьевой базы рыбного хозяйства, возможность деградации которой является ключевым фактором угроз рыбохозяйственному бизнесу.

Участие Российской Федерации в международных организациях (ИККАТ (Международная комиссия по сохранению атлантических тунцов), ИКЕС (Международный совет по исследованию моря), НАФО (Организация по рыболовству в северо-западной части Атлантического океана), НЕАФК (Комиссия по рыболовству в северо-восточной части Атлантического океана), НАСКО (Организация по сохранению лосося в северной части Атлантического океана), НАММКО (Международная комиссия по морским млекопитающим северной части Атлантического океана), АНТКОМ (Комиссия по сохранению морских живых ресурсов Антарктики), НПАФК (Международная комиссия по анадромным видам рыб северной части Тихого океана) и др.) и двусторонних межправительственных соглашениях в области рыбного хозяйства и совместных исследовательских программ (с Норвегией, Венесуэлой, Марокко, Мавританией, Китаем, Японией, Вьетнамом, Канадой, Европейским Союзом и др.), нацелено

на наращивание отечественного вылова за пределами исключительной экономической зоны страны и усиление отечественных геополитических позиций в Мировом океане, и является действенным элементом нормативно-регуляторного механизма управления рыбохозяйственными рисками.

К инструментам государственного нормативно-регуляторного механизма управления рыбохозяйственными рисками следует отнести и весь перечень нормативных правовых актов, содержащих обязательные требования, оценка соблюдения которых осуществляется Федеральным агентством по рыболовству в рамках государственного контроля (надзора), привлечения к административной ответственности, предоставления лицензий, иных разрешений и т.д. [31].

Выводы. Нормативно-правовое обеспечение управления рыбохозяйственными рисками представляет собой систему национальных нормативно-законодательных актов надотраслевого и отраслевого характера, а также международных нормативных документов и соглашений глобального и локального уровня определяющего, регулирующего и регламентирующего назначения, прямо или косвенно нацеленных на эффективное управление рисками субъектов рыбохозяйственного бизнеса, делая его более предсказуемым и защищенным в перспективе.

Особенностью нормативно-правовой базы управления рыбохозяйственными рисками является ее «выход» за отраслевые и национальные границы на уровень международных организаций, занимающихся как проблемами существования и устойчивого развития мирового сообщества вообще, так и мирового рыбного хозяйства, в частности.

Принципиально значимой с позиций доверия к системе управления предпринимательскими рисками является гармонизация национальных стандартов Российской Федерации в области менеджмента риска и экологического менеджмента (что особенно важно для поддержания и устойчивого развития рыбохозяйственной деятельности) с международными

стандартами в обозначенной сфере.

Российская Федерация как участник межправительственных соглашений в области мирового рыболовства согласовывает рыбохозяйственную деятельность с Рекомендациями международных рыбохозяйственных организаций, возложивших на себя миссию сохранения и рационального использования живых биоресурсов Мирового океана, взявших на себя решение проблемы рационального управления сырьевой базой рыболовства – исходного фактора рыбохозяйственных рисков.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что нормативно-правовое обеспечение управления рыбохозяйственными рисками в Российской Федерации абсолютно согласуется с нормами международных актов как в сфере управления рисками, так и в области ответственного рыболовства и аквакультуры с учетом требований экологического управления.

Список использованной литературы:

1. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая): № 51-ФЗ от 21.10.1994 г. URL: https://fzrf.su/kodeks/gk-1/ (дата обращения: 27.09.2021).
2. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть вторая): № 14-ФЗ от 26.01.1996 г. URL: https://fzrf.su/kodeks/gk-2/ (дата обращения: 27.09.2021).
3. *ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines. URL: https://www.iso.org/standard/65694.html (дата обращения: 27.09.2021).*
4. Федеральный закон «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27.12.2002 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (дата обращения: 27.09.2021).
5. Федеральный закон «О финансовой аренде (лизинге)» № 164-ФЗ от 29.10.1998 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_20780/ (дата обращения: 27.09.2021).
6. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 17-ФЗ от 10.01.2002 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 27.09.2021).
7. Закон РФ «Об организации страхового дела в Российской Федерации» № 4015-1 от 27.11.1992 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1307/ (дата обращения: 27.09.2021).
8. ISO/IEC 31010:2009. Risk management – Risk assessment techniques. URL: https://www.iso.org/standard/51073.html (дата обращения: 27.09.2021).
9. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200170125 (дата обращения: 27.09.2021).
10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200090083 (дата обращения: 27.09.2021).
11. ГОСТ Р 51901.3-2007. (МЭК 60300-2:2004) Менеджмент риска. Руководство по менеджменту надежности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200068799 (дата обращения: 27.09.2021).
12. ГОСТ 12.0.230.5-2018. Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы оценки риска для обеспечения безопасности выполнения работ.

URL: https://docs.cntd.ru/document/1200160465 (дата обращения: 27.09.2021).
13. ГОСТ Р 58969-2020. Менеджмент риска. Управление технико-производственными рисками промышленного предприятия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200174886 (дата обращения: 27.09.2021).
14. ГОСТ Р 9000:2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200124393 (дата обращения: 27.09.2021).
15. ГОСТ Р 9001:2015. Системы менеджмента качества. Требования. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200124394 (дата обращения: 27.09.2021).
16. ГОСТ Р 9004:2019. Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200167117 (дата обращения: 27.09.2021).
17. ГОСТ Р 19011:2021. Оценка соответствия. Руководящие указания по проведению аудита систем менеджмента. URL: https://allgosts.ru/03/120/gost_r_iso_19011-2021 (дата обращения: 27.09.2021).
18. ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200134681 (дата обращения: 27.09.2021).
19. ГОСТ Р ИСО 14004-2017. Системы экологического менеджмента. Общие руководящие указания по внедрению. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200146250 (дата обращения: 27.09.2021).
20. ГОСТ Р ИСО 14015-2007. Экологический менеджмент. Экологическая оценка участков и организаций. URL: https://hseblog.ru/kb/document/1346/gost-r-iso-14015-2007 (дата обращения: 27.09.2021).
21. ГОСТ Р ИСО 14020-2011. Этикетки и декларации экологические. Основные принципы. URL: https://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_ИСО_14020-2011 (дата обращения: 27.09.2021).
22. ГОСТ Р ИСО 14031-2001. Управление окружающей средой. Оценивание экологической эффективности. Общие требования. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200019857 (дата обращения: 27.09.2021).
23. ГОСТ Р ИСО 14040-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. URL: https://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_ИСО_14040-2010 (дата обращения: 27.09.2021).
24. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200179675 (дата обращения: 27.09.2021).
25. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. URL: https://zakonbase.ru/content/base/266052 (дата обращения: 27.09.2021).
26. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2021. Информационные технологии. Методы и средства обеспечения безопасности. Свод норм и правил применения мер обеспечения информационной безопасности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200179669 (дата обращения: 27.09.2021).
27. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент риска информационной безопасности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200084141 (дата обращения: 27.09.2021).
28. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200112881 (дата обращения: 27.09.2021).
29. ГОСТ Р 51705.1-2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования. URL:

https://docs.cntd.ru/document/1200007424 (дата обращения: 27.09.2021).
30. ФАО. Кодекс ведения ответственного рыболовства. URL: http://www.fao.org/3/v9878e/v9878e00.htm (дата обращения: 30.09.2021).
31. Перечень нормативных правовых актов (НПА), содержащих обязательные требования, оценка соблюдения которых осуществляется Федеральным агентством по рыболовству в рамках государственного контроля (надзора), привлечения к административной ответственности, предоставления лицензий, иных разрешений, направленных в том числе на информирование в соответствии с частью 3 статьи 46 Федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» граждан и организаций, в отношении которых осуществляются мероприятия по государственному контролю (надзору). URL: https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2021/03/16.perechen-normativnyh-pravovyh-aktov-npa.pdf (дата обращения: 30.09.2021).

References:

1. Russian Federation. The Federal Law of the Russian Federation № 51-FZ of October 21, 1994, *Grazhdanskij kodeks Rossijskoj Federacii (chast' pervaya)* [The Civil Code of the Russian Federation (Part One)]. (In Russian). Available at: https://fzrf.su/kodeks/gk-1 (accessed 27.09.2021).
2. Russian Federation. The Federal Law of the Russian Federation № 14-FZ of January 26, 1996, *Grazhdanskij kodeks Rossijskoj Federacii (chast' vtoraya)* [The Civil Code of the Russian Federation (Part Two)]. (In Russian). Available at: https://fzrf.su/kodeks/gk-2 (accessed 27.09.2021).
3. *ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines. (In English). Available at: https://www.iso.org/standard/65694.html (accessed 27.09.2021)*
4. Russian Federation. The Federal Law of the Russian Federation № 184-FZ of December 27, 2002, *O tekhnicheskom regulirovanii* [About technical regulation]. (In Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241 (accessed 27.09.2021).
5. Russian Federation. The Federal Law of the Russian Federation № 164-FZ of October 29, 1998, *O finansovoj arende (lizinge)* [About financial lease (leasing)]. (In Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_20780 (accessed 27.09.2021).
6. Russian Federation. The Federal Law of the Russian Federation № 17-FZ of January 10, 2002, *Ob ohrane okruzhayushchej sredy* [About environmental protection]. (In Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823 (accessed 27.09.2021).
7. Russian Federation. The Law of the Russian Federation № 4015-1 of November 27, 1992, *Ob organizacii strahovogo dela v Rossijskoj Federacii* [About the organization of insurance business in the Russian Federation]. (In Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823 (accessed 27.09.2021).
8. ISO/IEC 31010:2009. Risk management – Risk assessment techniques. (In English). Available at: https://www.iso.org/standard/65694.html (accessed 27.09.2021)
9. *GOST R ISO 31000-2019. Menedzhment riska. Principy i rukovodstvo* [State Standard of the Russian Federation ISO 31000-2019. Risk management. Principles and Guidelines]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200170125 (accessed 27.09.2021).
10. *GOST R ISO/MEK 31010-2011. Menedzhment riska. Metody ocenki riska* [State Standard of the Russian Federation ISO/MEK 31000-2019. Risk management. Risk assessment technology]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200090083 (accessed 27.09.2021).
11. *GOST R 51901.3-2007 (MEK 60300-2:2004). Menedzhment riska. Rukovodstvo po menedzhmentu nadezhnosti* [State Standard of the Russian Federation 51901.3-2007 (MEK 60300-2:2004). Risk management. Reliability Management Guide]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200068799 (accessed 27.09.2021).
12. *GOST 12.0.230.5-2018. Sistema standartov bezopasnosti truda. Sistemy upravleniya ohranoj*

truda. Metody ocenki riska dlya obespecheniya bezopasnosti vypolneniya rabot [State Standard 12.0.230.5-2018. The system of occupational safety standards. Occupational health and safety management systems. Methods of risk assessment to ensure the safety of work]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/200160465 (accessed 27.09.2021).

13. *GOST R 58969-2020. Menedzhment riska. Upravlenie tekhniko-proizvodstvennymi riskami promyshlennogo predpriyatiya* [State Standard of the Russian Federation 58969-2020. Risk management. Management of technical and production risks of an industrial enterprise]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200174886 (accessed 27.09.2021).
14. *GOST R 9000:2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'* [State Standard of the Russian Federation 9000:2015. Quality management systems. Basic provisions and dictionary]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200124393 (accessed: 27.09.2021).
15. *GOST R 9001:2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya* [State Standard of the Russian Federation 9001:2015. Quality management systems. Requirements]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200124394 (accessed 27.09.2021).
16. *GOST R 9004:2019. Menedzhment kachestva. Kachestvo organizacii. Rukovodstvo po dostizheniyu ustojchivogo uspekha organizacii* [State Standard of the Russian Federation 9004:2019. Quality management. The quality of the organization. A guide to achieving the sustainable success of an organization]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200167117 (accessed 27.09.2021).
17. *GOST R 19011:2021. Ocenka sootvetstviya. Rukovodyashchie ukazaniya po provedeniyu audita sistem menedzhmenta* [State Standard of the Russian Federation 19011:2021. Conformity assessment. Guidelines for the audit of management systems]. (In Russian). Available at: https://allgosts.ru/03/120/gost_r_iso_19011-2021 (accessed 27.09.2021).
18. *GOST R ISO 14001-2016. Sistemy ekologicheskogo menedzhmenta. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu* [State Standard of the Russian Federation ISO 14001-2016. Environmental management systems. Requirements and application guidelines]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200134681 (accessed 27.09.2021).
19. *GOST R ISO 14004-2017. Sistemy ekologicheskogo menedzhmenta. Obshchie rukovodyashchie ukazaniya po vnedreniyu* [State Standard of the Russian Federation ISO 14004-2017. Environmental management systems. General guidelines for implementation]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200146250 (accessed 27.09.2021).
20. *GOST R ISO 14015-2007. Ekologicheskij menedzhment. Ekologicheskaya ocenka uchastkov i organizacij* [State Standard of the Russian Federation ISO 14015-2007. Environmental management. Environmental assessment of sites and organizations]. (In Russian). Available at: https://hseblog.ru/kb/document/1346/gost-r-iso-14015-2007 (accessed 27.09.2021).
21. *GOST R ISO 14020-2011. Etiketki i deklaratsii ekologicheskiye. Osnovnyye printsipy* [State Standard of the Russian Federation ISO 14020-2011. Labels and declarations are environmental. Basic principles]. Available at: https://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_ИСО_14020-2011 (accessed: 27.09.2021).
22. *GOST R ISO 14031-2001. Upravlenie okruzhayushchej sredoj. Ocenivanie ekologicheskoj effektivnosti. Obshchie trebovaniya* [State Standard of the Russian Federation ISO 14031-2001. Environmental management. Environmental performance assessment. General requirements]. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200019857 (accessed 27.09.2021).
23. *GOST R ISO 14040-2010. Ekologicheskij menedzhment. Ocenka zhiznennogo cikla. Principy i struktura* [State Standard of the Russian Federation ISO 14040-2010. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and structure]. Available at: https://standartgost.ru/g/ГОСТ_Р_ИСО_14040-2010 (accessed 27.09.2021).
24. *GOST R ISO/MEK 27000-2021. Informacionnye tekhnologii. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Sistemy menedzhmenta informacionnoj bezopasnosti. Obshchij obzor i terminologiya* [State Standard of the Russian Federation ISO/MEK 27000-2021. Information

technology. Methods and means of ensuring security. Information security management systems. General overview and terminology]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200179675 (accessed 27.09.2021).

25. *GOST R ISO/MEK 27001-2006. Informacionnye tekhnologii. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Sistemy menedzhmenta informacionnoj bezopasnosti. Trebovaniya* [State Standard of the Russian Federation ISO/MEK 27001-2006. Information technology. Methods and means of ensuring security. Information security management systems. Requirements]. (In Russian). Available at: https://zakonbase.ru/content/base/266052 (accessed 27.09.2021).
26. *GOST R ISO/MEK 27002-2021. Informacionnye tekhnologii. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Svod norm i pravil primeneniya mer obespecheniya informacionnoj bezopasnosti* [State Standard of the Russian Federation ISO/MEK 27002-2021. Information technology. Methods and means of ensuring security. A set of rules and regulations for the application of information security measures]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200179669 (accessed 27.09.2021).
27. *GOST R ISO/MEK 27005-2010. Informacionnaya tekhnologiya. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Menedzhment riska informacionnoj bezopasnosti* [State Standard of the Russian Federation ISO/MEK 27005-2010. Information technology. Methods and means of ensuring security. Information security risk management]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200084141 (accessed 27.09.2021).
28. *GOST R ISO/MEK 27007-2014. Informacionnaya tekhnologiya. Metody i sredstva obespecheniya bezopasnosti. Rukovodstva po auditu sistem menedzhmenta informacionnoj bezopasnosti* [State Standard of the Russian Federation ISO/MEK 27007-2014. Information technology. Methods and means of ensuring security. Guidelines for the audit of information security management systems]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200112881 (accessed 27.09.2021).
29. *GOST R 51705.1-2001. Sistemy kachestva. Upravlenie kachestvom pishchevyh produktov na osnove principov HASSP. Obshchie trebovaniya* [State Standard of the Russian Federation 51705.1-2001. Quality systems. Food quality management based on HACCP principles. General requirements]. (In Russian). Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200007424 (accessed 27.09.2021).
30. *FAO. Kodeks vedeniya otvetstvennogo rybolovstva* [FAO. Code of Conduct for Responsible Fisheries]. (In English). Available at: http://www.fao.org/3/v9878e/v9878e00.htm (accessed 30.09.2021).
31. *Perechen' normativnyh pravovyh aktov (NPA), soderzhashchih obyazatel'nye trebovaniya, ocenka soblyudeniya kotoryh osushchestvlyaetsya Federal'nym agentstvom po rybolovstvu v ramkah gosudarstvennogo kontrolya (nadzora), privlecheniya k administrativnoj otvetstvennosti, predostavleniya licenzij, inyh razreshenij, napravlennyh v tom chisle na informirovanie v sootvetstvii s chast'yu 3 stat'i 46 Federal'nogo zakona «O gosudarstvennom kontrole (nadzore) i municipal'nom kontrole v Rossijskoj Federacii» grazhdan i organizacij, v otnoshenii kotoryh osushchestvlyayutsya meropriyatiya po gosudarstvennomu kontrolyu (nadzoru)* [A list of regulatory legal acts (NPA) containing mandatory requirements, the assessment of compliance with which is carried out by the Federal Agency for Fisheries within the framework of State Control (supervision), bringing to administrative responsibility, granting licenses, other permits, aimed, inter alia, at informing, in accordance with part 3 of Article 46 of the Federal Law “On State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation”, citizens and organizations in respect of which state control (supervision) measures are carried out]. (In Russian). Available at: https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2021/03/16.perechen-normativnyh-pravovyh-aktov-npa.pdf (accessed 30.09.2021)

Сведения об авторах / Information about authors

Яркина Наталья Николаевна	д-р экон. наук, профессор кафедры экономики Керченский государственный морской технологический университет 298306, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 nata-yarkina@yandex.ru
Yarkina Natalya Nikolaevna	Dr. Sci. (Econ.), Professor at the Department of economics Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 nata-yarkina@yandex.ru