ISSN 2619-0605

Вестник

Керченского государственного морского технологического университета

ВЫПУСК 1

2022

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 по научным специальностям (отраслям науки): 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности (экономические науки), 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств (технические науки) с 25.03.2020 г.; 1.5.13 – Ихтиология (биологические науки) с 01.02.2022 г.

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 и гуманитарных дисципилин

Редакционная коллегия журнала

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

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 № 2 от 16.03.2022 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 1.5.13 «Ихтиология»

1. Губанов Евгений Павлович – д-р биол. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», старший научный сотрудник, 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 «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («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, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АзНИИРХ»), старший научный сотрудник

Технические науки

Научная специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств»

1. Алексанян Игорь Юрьевич – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», профессор кафедры «Технологические машины и оборудование»
2. Антипов Сергей Тихонович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств
3. Косачев Вячеслав Степанович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», профессор кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения Института машиностроения и автосервиса (ИМА)
4. Максименко Юрий Александрович – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», проректор по научной

работе и инновациям, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование»

5. Нугманов Альберт Хамед-Харисович – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», профессор кафедры «Технологические машины и оборудование»
6. Панфилов Виктор Александрович –д-р техн. наук, профессор, академик РАН, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет − МСХА им. К.А. Тимирязева», профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств
7. Соколов Сергей Анатольевич – д-р техн. наук, доцент, ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», заведующий кафедрой общеинженерных дисциплин
8. Фалько Александр Леонидович – д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств
9. Гукасян Александр Валерьевич – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», директор института механики, робототехники, инженерии транспортных и техн. систем (ИМРИТТС), заведующий кафедрой технологического оборудования и систем жизнеобеспечения
10. Яшонков Александр Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств

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.

Экономические науки

Научная специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством»:

1. Бутова Татьяна Георгиевна – д-р экон. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», профессор кафедры международной и управленческой экономики
2. Гришкина Светлана Николаевна – д-р экон. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», профессор Департамента 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. Мнацаканян Альберт Гургенович – д-р экон. наук, профессор, Директор института отраслевой экономики и управления, заведующий кафедрой отраслевых и корпоративных финансов ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
6. Пискун Елена Ивановна – д-р экон. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», профессор кафедры туризма, сервиса и гостиничного бизнеса
7. 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)
8. Сметанко Александр Васильевич – д-р экон. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», заведующий кафедрой учета, анализа и аудита Института экономики и управления (структурное подразделение)
9. Труба Анатолий Сергеевич – д-р экон. наук, доцент, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», главный научный сотрудник, консультант по экономическим вопросам Управления перспективного развития
10. Яркина Наталья Николаевна – д-р экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры экономики и гуманитарных дисциплин

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ. Научная специальность 1.5.13 «Ихтиология»

Мельникова Е.Б., Мельников А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЁМА ВЫБОРКИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С УЧЕТОМ ОШИБКИ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ 8

Тюрин В.В., Абрамчук А.В., Ганченко М.В. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОСЕВОГО СКЕЛЕТА БЕЛОГО ТОЛСТОЛОБИКА (*HYPOPHTHALMICHTHYS MOLITRIX* (VALENCIENNES, 1844)) В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДОМЕСТИКАЦИИ 23

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

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

Ивановская А.В. ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЯГОВОЙ СИСТЕМЫ С КОНЕЧНЫМ НАТЯЖЕНИЕМ 37

Конюков В.Л., Горбенко А.Н., Кукушкин М.Ю. ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ СУДОВОГО ДВУХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ ОТ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ НА ВЫПУСКЕ 47

Конюков В.Л. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ВОЗДУХА ПРИ РАЗЛИЧНОМ ПРОТИВОДАВЛЕНИИ НА ВЫПУСКЕ ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПО НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ 61

Латышев В.Ю., Ениватов В.В., Гаршин А.Ю., Бабышев С.Е. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАК ШАГ К СНИЖЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ И ВЫБРОСОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ 75

Научная специальность 05.18.12 «Процессы и аппараты пищевых производств»

Гукасян А.В., Косачев В.С., Шилько Д.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА 3D-МОДЕЛЕЙ ШНЕКОВ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА И УРАВНЕНИЯ НЕРАЗРЫВНОСТИ 89

Соколов А.С., Яшонков А.А., Соколов С.А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИКИ ДЕГРАДАЦИИ ВИТАМИНА *С* В СОКАХ ЦИТРУСОВЫХ ПЛОДОВ, ОБРАБОТАННЫХ ВЫСОКИМ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ 103

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

Glechikova T.O., Osipova M.A., Diviza N.A. THE CRITERIA AND INDICATORS OF THE STRATEGIES EFFECTIVENESS OF EDUCATIONAL ORGANIZATION MANAGEMENT 126

Семенова Н.Н., Гребенцова Р.А. БЮДЖЕТНОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНЕ 137

Труба А.С., Абряндина В.В. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРУДА В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ 160

Яркина Н.Н. СИСТЕМНО-ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИМИ РИСКАМИ 176

УДК 597.553.1:577.73(262.5) **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_8**

Мельникова Е.Б., Мельников А.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЁМА ВЫБОРКИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С УЧЕТОМ ОШИБКИ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ

Аннотация. Проведен анализ зависимости ошибки репрезентативности, связанной с ограниченным объёмом выборки, взятой для исследования характеристик популяций рыб. Показано, что ошибка репрезентации зависит как от объёма выборки, так и от уровня значимости и частоты появления в выборке рыб с исследуемым параметром. Предложена последовательность проведения расчета объёма выборки, проводимая при планировании ихтиологических исследований, которая позволяет получить заданную ошибку репрезентативности с учетом уровня значимости. По предложенной методике определены минимально необходимые объёмы выборки при исследовании популяций черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso)и хамсы *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus). Приведены графики зависимости ошибки репрезентативности от объёма выборки для весенне-летних уловов черноморского шпрота и осенне-зимних уловов хамсы. При изучении возрастного распределения с учетом всех возрастных групп, количество рыб в исследуемой пробе должно равняться наибольшему из найденных значений для различных возрастных групп.
Ключевые слова: ихтиологические исследования, объём выборки, ошибка репрезентативности, уровень значимости, статистический анализ.

Mel’nikova E.B. Melnikov A.V.

DETERMINING THE SAMPLE VOLUME WHEN PLANNING ICHTHYOLOGICAL RESEARCH TAKING INTO ACCOUNT THE ERRORS OF REPRESENTATIVENESS

Abstract. An analysis of the dependence of the error of representativeness associated with a limited sample size taken to study the characteristics of fish populations was carried out. It is shown that the representation error depends both on the sample volume and on the level of significance and frequency of occurrence in the sample of fish with the studied parameter. The sequence of the calculation of the sample volume, carried out when planning ichthyological studies, which allows you to get a given representativeness error, taking into account the level of significance, is proposed. According to the proposed method, the minimum required sample volumes were determined in the study of sprat *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) and anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus) populations. Graphs of the dependence of the representativeness error on the sample size for spring-summer catches of Black Sea sprat and autumn-winter catches of hamsa are presented. When studying the age distribution taking into account all age groups, the number of fish in the test sample should be equal to the largest of the values found for different age groups.
Keywords: ichthyological research, sample size, error of representativeness, significance level, statistical analysis.

Введение. С целью получения достоверных результатов о возрастной структуре промысловых стад одним из главных вопросов, является определение минимального объема выборки. Правильно выбрать объем очень важно потому,

что оптимальное количество исследованных экземпляров рыб, обеспечивает допустимую погрешность и позволяет снизить стоимость и продолжительность исследований. При проведении ихтиологических исследований, биологическому анализ подвергают выборочную совокупность, случайным образом отобранную из уловов промысловых судов. Полученные результаты биологического анализа исследуемой выборки переносят на улов в целом. Различие характеристик выборки и улова в целом является ошибкой репрезентативности, которая зависит как от объёма выборочной совокупности, так и от исследуемых характеристик улова.

Ошибки репрезентативности неустранимы, так как выборочная совокупность никогда полностью не отражает характеристики улова в целом. Однако уменьшить до приемлемых величин возникающие ошибки репрезентативности можно на этапе планирования ихтиологических исследований.

Н.А. Плохинский в работе «Алгоритмы биометрии» [1] все исследования делил на 4 уровня порога вероятности безошибочных прогнозов: уровень 0 – исследования трудно измеряемых признаков, грубо ориентировочные характеристики; уровень 1 – большинство биологических исследований, начальные стадии изучения, исследование новых явлений; уровень 2 – углубление результатов первых исследований, методические рекомендации; уровень 3 – рассмотрение спорных вопросов, изучение вредных и ядовитых веществ. Для наиболее распространенного уровня 1 при надежности результата B_1 = 0,95 [1] достаточный объем группы составляет 30 экз. При этом Н.А. Плохинский отмечал, что величина допустимой погрешности устанавливается на основе биологических знаний.

По методу К.А. Отдельновой [2] для определения минимального объёма выборки установлено три уровня точности: ориентировочное знакомство (пилотное исследование); исследование средней точности (публикация статьи с последующим более глубоким изучением) и исследование повышенной

точности (диссертационное исследование с формированием окончательных заключений). Так, например, для пилотного исследования с уровнем значимости α = 0,05 необходимо исследовать 44 особи.

М.В. Мина в работе [3] отмечал, что при определении объёма выборочной совокупности в ихтиологических исследованиях надо учитывать, что в состав исследуемой выборки войдёт хотя бы одна особь из группировки, составляющей 10% анализируемого улова. При рекогносцировочных исследованиях объём выборки должен составлять 60-70, лучше 100 экземпляров.

Все эти расчеты объёма выборочной совокупности являются ориентировочными и не позволяют определить погрешность результата исследования и найти ошибку репрезентативности. Поэтому вопрос определения объёма выборки и оценки ошибки репрезентативности, являются актуальными.

Целью исследования является определение объёма выборочной совокупности при планировании ихтиологических исследований с учетом ошибки репрезентативности, а также определение объёма выборки при проведении ихтиологических исследований шпрота и хамсы, являющихся основными объектами черноморского промысла.

Материалы и методы исследования. Чтобы выборочная совокупность отражала характеристики и структуру исследуемой популяции рыб, статистической обработке обычно подвергают выборочные совокупности, взятые случайным образом из уловов промысловых судов. В этом случае считается, что выборка является уменьшенной копией улова в целом.

Если рыбы в улове распределены равномерно и в исследуемой выборке представлены все подгруппы, важные для исследования, то при увеличении объёма выборки n (если $n \to \infty$) частота появления рыб с исследуемым параметром в выборочной совокупности (p^*) (например, рыб одного возраста или с каким-либо другим исследуемым параметром), определяемая по формуле

$$p^* = \frac{n_i}{n}, \quad (1)$$

где p^* – частота появления в выборке рыб с исследуемым параметром;

n_i – количество рыб с исследуемым параметром в пробе;

n – общее количество рыб в выборке, будет стремиться к вероятности появления рыб с исследуемым параметром в улове в целом:

$$\lim_{n\to\infty} p^* = p \ , \tag{2}$$

где p – вероятность появления рыб с исследуемым параметром в улове в целом.

То есть для определения истинного значения доли рыб с исследуемым параметром в популяции необходимо обработать количество рыб близкое к бесконечности. На практике такое количество рыб, естественно, никто не обрабатывает. Ихтиологические исследования производится по ограниченной контрольной выборке, количество рыб в которой не очень велико.

Заменяя вероятность p, определяемую соотношением (2), экспериментально найденной ее оценкой p^*, найденной по формуле (1), мы допускаем некоторую ошибку

$$\varepsilon = p^* - p \ , \tag{3}$$

обусловленную ограниченным объемом выборки. Эту ошибку называют ошибкой репрезентативности.

Величиной допустимой ошибки репрезентативности задаются при планировании экспериментальных исследований. При этом учитывают, что при увеличении объёма анализируемой выборки ошибка репрезентативности уменьшается и в предельном случае при $n \to \infty$ ошибка репрезентативности $\varepsilon \to 0$, однако при этом увеличивается трудоёмкость экспериментальных исследований.

Частота появления рыб с исследуемым параметром и ошибка репрезентативности, определенные на основе ограниченного количества

случайных величин, представляют собой случайные величины.

Вероятность W того, что оценка $p*$ исследуемого параметра, найденная по ограниченной выборочной совокупности, отклонится от своего истинного значения p исследуемой популяции меньше, чем на величину допустимой ошибки репрезентативности ε, может быт найдена из соотношения [4]:

$$W\{|p^* - p| < \varepsilon\} \approx 2\Phi(\frac{\varepsilon}{\sigma[p^*]}), \quad (4)$$

где W – вероятность появления ошибки репрезентативности не превышающей заданной величины;

$p*$ – частота появления в пробе рыб с исследуемым параметром;

p – истинная вероятность;

ε – ошибка репрезентативности;

$\sigma[p*]$ – среднее квадратическое отклонение величины $p*$, определяемое для величин имеющих альтернативную изменчивость, по формуле:

$$\sigma[p*] = \sqrt{\frac{p^* q}{n}}, \quad (5)$$

где $q = (1 - p*)$ – доля случаев, в которых не встречается исследуемый признак;

n – количество особей в выборочной совокупности;

$\Phi(\frac{\varepsilon}{\sigma[p*]})$ – функция Лапласа, значения которой определяются из соотношения [4]:

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{t^2}{2}}\, dt. \quad (6)$$

На практике значения функции Лапласа обычно определяют по таблицам, которые приводятся в литературе по математической статистике [4, 5] для

различных интервалов u.

Интервал u в выражении (6) с учетом соотношений (4)-(5) может быть найден по формуле:

$$u = \frac{\varepsilon\sqrt{n}}{\sqrt{p^* q}}. \quad (7)$$

В ихтиологических исследованиях часто пользуются не величиной вероятности ошибки репрезентативности W, а величиной

$$\alpha = 1 - W\ , \quad (8)$$

которую называют уровнем значимости [5].

С учетом выражений (4) и (8) можно найти выражение, связывающее значения функции Лапласа с величиной уровня значимости

$$\Phi(u) = 1 - \alpha\ . \quad (9)$$

Из выражения (7) легко определить количество особей, которое необходимо исследовать для получения результата с заданной ошибкой репрезентативности

$$n \geq \frac{u^2 p_i^*(1-p_i^*)}{\varepsilon^2}\ , \quad (10)$$

где n – необходимое количество рыб, подлежащих исследованию;

u – значение, определяемое из таблиц функции Лапласа;

p_i* – ожидаемая частота появления рыб с i-тым признаком в исследуемой выборочной совокупности;

ε – значение ошибки репрезентативности.

Из выражений (1)-(10) следует, что количество исследуемых особей при проведении ихтиологических исследований зависит от требуемого уровня значимости, допустимой ошибки репрезентативности и частоты появления в выборке рыб с исследуемым признаком.

На этапе планирования ихтиологических исследований при определении объёма выборки для получения заданной ошибки репрезентативности можно действовать в следующей последовательности.

1. Задаёмся величиной ошибки репрезентативности ε, уровнем значимости α, далее на основе литературных данных или результатах предварительных исследований задаёмся ожидаемой частотой появления рыб p_i* с исследуемым параметром.

2. По формуле (9) находим значение функции Лапласа.

3. По таблицам значений функции Лапласа [5] или численным методом по формуле (6) находим значение интервала u.

4. По формуле (10) рассчитываем необходимое количество рыб, подлежащих исследованию (минимальный объём выборочной совокупности).

Особенность статистических исследований заключается в том, что чем точнее требуется определить характеристики случайного распределения, тем большим количеством сведений об исследуемой случайной величине должен обладать исследователь. Поэтому при планировании эксперимента с целью минимизации затрат и сокращения времени исследования необходимо предварительно теоретически (на основе анализа литературных или экспериментальных данных предыдущих лет) оценить пределы возможных изменений исследуемых параметров.

Например, при проведении ихтиологических исследований обычно задаются уровнем значимости равным $\alpha = 0{,}05$. В этом случае из таблиц интеграла вероятности [5] с учетом значения $\Phi(u) = 0{,}95$, определенного по формуле (9), находим, что интервал $u = 1{,}96$. Если ошибка репрезентативности не должна превышать $\varepsilon = 0{,}1$, и при этом ожидаемая частота появления рыб с

исследуемым параметром p_i* = 0,5, то для получения такой ошибки репрезентативности в соответствии с соотношением (10), необходимо исследовать не менее 96 особей. Если же при тех же условиях ожидается, что p_i* = 0,1 то объём выборочной совокупности значительно меньше – 35 особей.

В основу для расчета ошибки репрезентативности параметров исследуемых промысловых стад были положены результаты собственных многолетних исследований и литературные данные (2003–2017 гг.) возрастных распределений черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1826) и европейского анчоуса *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) (хамсы). Пробы отбирались из траловых уловов промысловых судов случайным образом. Район сбора проб охватывал юго-западный и южный шельф Крыма [6, 7, 8, 9]. Индивидуальный возраст рыб определяли по отолитам [10], с использованием бинокулярного микроскопа МБС – 9, при увеличении 2×8.

Результаты исследования и их обсуждение. Мелкие пелагические рыбы шпрот и хамса являются основными объектами черноморского промысла [11, 12, 13, 14]. Эти виды рыб хотя и имеют определённое сходство в характере питания (потребляют мезозоопланктон, преимущественно — копепод), имеют существенные различия в годовых жизненных циклах, что сказывается на возрастном составе популяций [15, 16, 17]. Поэтому расчет ошибки репрезентативности при проведении исследований возрастного распределения в уловах промысловых судов на основе методики, предложенной в разделе «Метод определения ошибки репрезентативности» проведём отдельно для шпрота и хамсы.

У холодолюбивого черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) нерестовый период приходится на зимнее время года, а посленерестовый нагул – на весенние месяцы; завершается нагул в июне–июле. Уловы шпрота достигают максимальных значений в весенне-летний период (апрель-сентябрь) с преобладанием в летние месяца (июль-август). В летних уловах шпрот представлен тремя возрастными классами: сеголетки, двухлетки и

трехлетки. В процентном соотношении – 10,6 % сеголетки (0+), 86 % двухлетки (1+) и 3,4 % трехлетки (2+). Согласно многолетним данным такое возрастное распределение является характерным для нагульного периода черноморского шпрота [6, 9, 18, 19].

Для расчета ошибки репрезентативности исследований возрастного распределения зададимся уровнем значимости α = 0,05, который является общепринятым в ихтиологических исследованиях. В этом случае интервал *u* =1,96.

На рисунке 1 изображен график зависимости ошибки репрезентативности ε, рассчитанной по предложенной методике, в зависимости от количества рыб (*n*), в исследуемой выборочной совокупности. Относительные численности возрастных классов, для которых проведены расчеты, указаны в процентах.

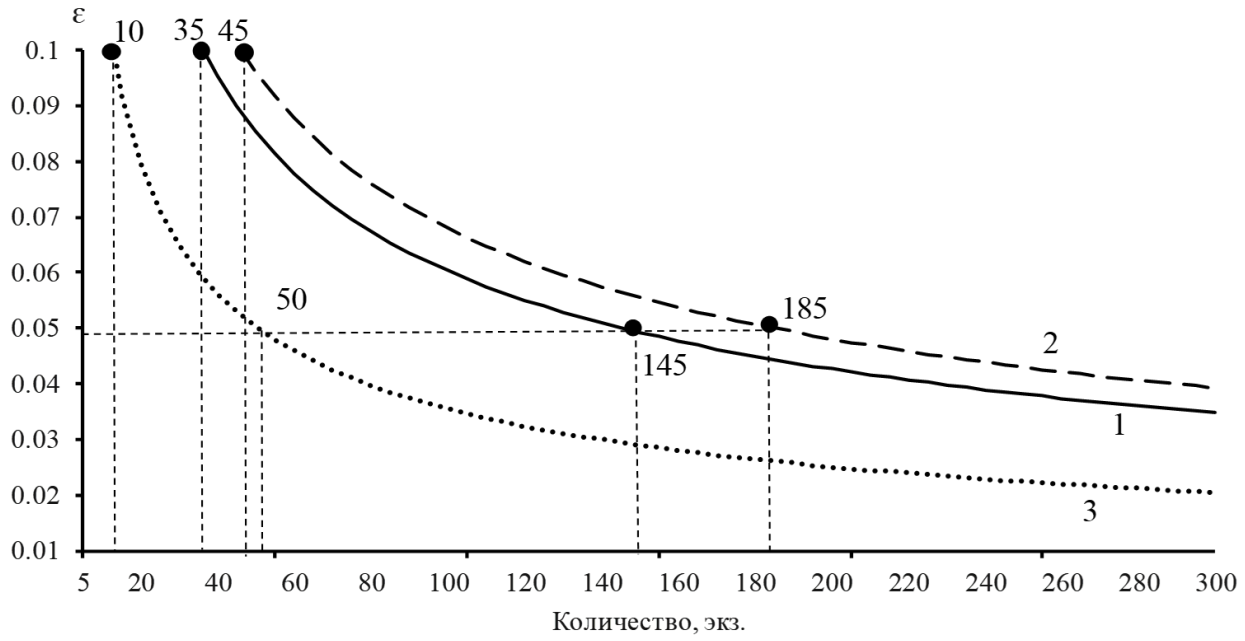

Рисунок 1 – Зависимость ошибки репрезентативности от объема выборки для весенне-летних уловов черноморского шпрота:
1– сеголетки (10,6 %); 2 – двухлетки (86 %); 3 – трехлетки (3,4 %)

На графиках указано количество экземпляров, которое надо исследовать, для получения ошибок репрезентативности равное ε = 0,05 и ε = 0,1. На рисунке

1 видно, что количество исследованных экземпляров, принадлежащих к разным возрастным группам (при одинаковом значении заданной ошибки репрезентативности) будет различаться.

Для наиболее малочисленного возрастного класса (трехлетки) значения ошибки ε будут наименьшими, для более многочисленного (двухлетки) соответственно – наибольшими.

При допустимой ошибке (ε = 0,1) необходимое для изучения количество сеголеток составит 35 экз., для двухлеток – 45 экз., для трехлеток – 10 экз. При этом объём выборки определяется по наибольшему количеству рыб, необходимых для получения заданной ошибки.

Для получения более точных результатов (ошибка репрезентативности ε = 0,05) количество исследуемых рыб увеличивается и составляет для сеголеток 145 экз., для двухлеток – 185 экз. и для трехлеток – 50 экз. (см. рис. 1).

Теплолюбивая хамса *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), (европейскй анчоус), в отличии холодолюбивого шпрота нерестится в июне-июле, а нагуливается в последний месяц лета и осенью (август-октябрь). Хамса, нагуливаясь преимущественно в северо-западной части Чёрного моря, совершает протяжённые зимовальные миграции, уходя к берегам Кавказа и Турции. Наряду с основным зимовальным ареалом черноморской хамсы у анатолийского и кавказского побережья существует дополнительный, который находится у юго-западного и южного побережья Крыма. В период зимовки хамса малоподвижна и образует плотные устойчивые скопления, наиболее удобные для эффективного облова кошельковыми неводами и разноглубинными тралами [7, 11, 14, 15, 20, 21].

В своих работах Г.В. Зуев [16, 17] показал, что возрастное распределение хамсы меняется с годами. Так с 1999 по 2007 (первый тип) размерно-возрастной состав улова был представлен пятью возрастными классами: сеголетки, двухлетки, трехлетки (доминирующее количество более 60 %), четырехлетки и пятилетки (единичные экземпляры). Средний возраст хамсы 2,21 года, средняя

длина 9,58 см.

Для второго типа (с 2007 года и далее) размерно-возрастной структуры характерно наличие всего четырёх возрастных классов – сеголеток, 2-, 3- и 4-леток, доминирование двухлеток (среднее 53,1 %) и заметное увеличение доли сеголеток (в среднем 9,0 %). Средний возраст хамсы не превышал 1,58 года (почти в 1,5 раз ниже по сравнению с предыдущим), а средняя длина – 8,44 см

Рассмотрим ошибки репрезентативности в исследовании возрастного состава на примере первого типа возрастной структуры в зависимости от изменения объема выборки, взятой для ихтиологических исследований (рис. 2).

На рисунке 2 изображена зависимость величины ошибки репрезентативности от количества рыб в пробе для четырех возрастных классов хамсы в период зимовки (ноябрь-март). Относительная численность соответствующих возрастных классов указана в процентах.

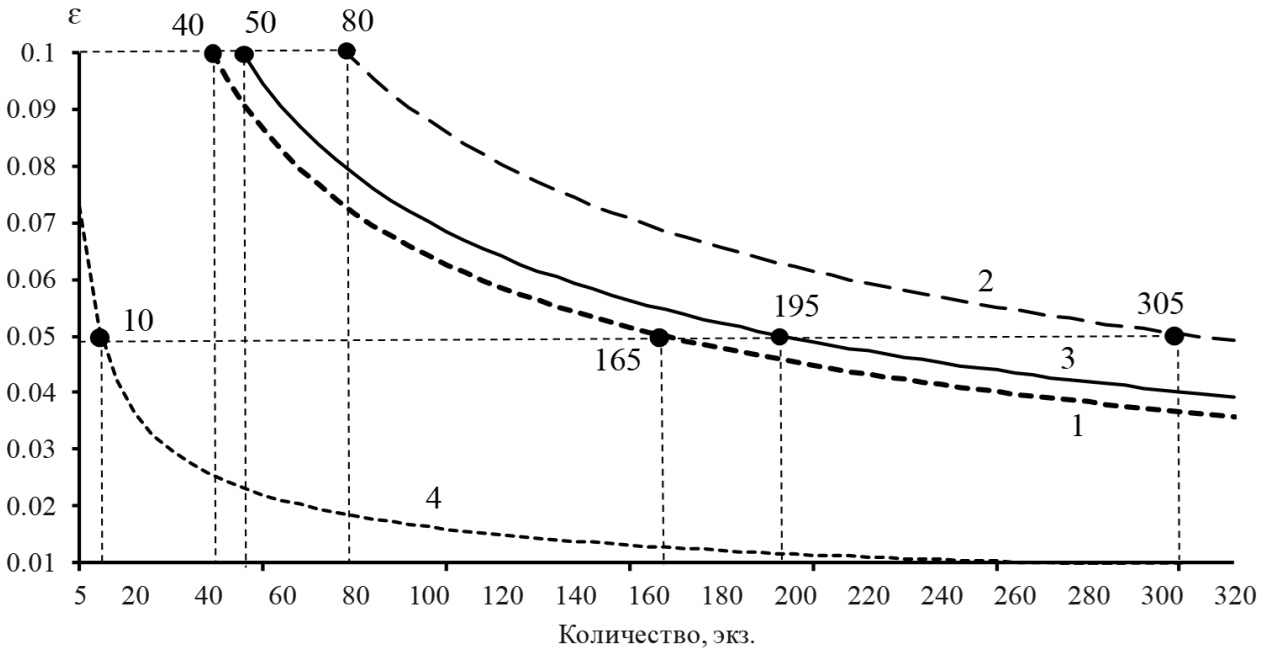

Рисунок 2– Зависимость ошибки от объема выборки для осенне-зимних уловов хамсы: 1 – двухлетки (12,2 %); 2 – трехлетки (71,9 %); 3 – четырехлетки (15,1%); 4 – пятилетки (0,7 %).

Видно, что при допустимой ошибке (ε = 0,1) необходимое для изучения

количество рыб составит для двухлеток хамсы 40 экз., для трехлеток – 80 экз., для четырехлеток – 50 экз. Пятилетки и сеголетки встречались в уловах единичными экземплярами и на графике не изображены.

Для получения более точных результатов исследования (с допустимой ошибкой репрезентативности ε = 0,05) количество исследуемых рыб увеличивается и составляет для пятилеток – 10 экз., двухлеток – 195 экз., для трехлеток – 305 экз. и для четырехлеток – 165 экз. (см. рис. 2).

Таким образом, при изучении возрастного распределения с учетом всех возрастных групп, количество рыб в исследуемой пробе должно равняться наибольшему из найденных значений для различных возрастных групп. То есть при допустимой ошибке равной 0,1 общее количество рыб в пробе для весенне-летних уловов черноморского шпрота должно составлять не менее 45 экз., а объем выборки для осенне-зимних уловов хамсы — не менее 80 экз. Для уменьшения ошибки репрезентативности объём пробы должен быть увеличен.

Выводы. В результате проведенного анализа получено, что ошибка репрезентативности, связанная с ограниченным объёмом выборки, зависит как от объёма выборочной совокупности, так и от уровня значимости и частоты появления в выборке рыб с исследуемым параметром.

Предложена методика определения объёма выборки, проводимая при планировании ихтиологических исследований, которая позволяет получить заданную ошибку репрезентативности с учетом уровня значимости.

По предложенной методике определены минимально необходимые объёмы выборочной совокупности при исследовании уловов шпрота и хамсы. Получено, что для осенне-зимних уловов хамсы для получения ошибки репрезентативности ε = 0,1 объём выборки должен составлять 80 экз., а для весенне-летних уловов шпрота – 45 экз. Для уменьшения ошибки репрезентативности объём выборки должен быть увеличен.

Список использованной литературы:

1. *Плохинской Н.А*. Алгоритмы биометрии. М.: Московский университет. 1967. 82 с.
2. *Баврина А.П.* Основные понятия статистики // Медицинский Альманах. 2020. Т. 64. № 3.

С. 101-111.
3. *Мина М.В.* Возможные подходы к определению численности выборок при проведении комплексных исследований популяций // Типовые методики исследования продуктивности видов рыб в пределах их ареалов. Вильнюс: Мокслас, 1976. Часть 4.2. С. 25-30.
4. *Пугачев В.С.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Наука. 1979. 496 с.
5. *Рокицкий П.Ф.* Основы вариационной статистики для биологов. Минск: Белгосуниверситет. 1961. 221 с.
6. *Зуев Г.В., Репетин Л.Н., Мельникова Е.Б., Гуцал Д.К., Пустоварова Н.И.* Влияние температуры воды на выживание молоди и формирование промыслового запаса черноморского шпрота *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) // Морской экологический журнал. 2004. Т. 3. № 2. С. 45-53.
7. *Зуев Г.В., Гуцал Д.К., Репетин Л.Н., Салехова Л.П., Мельникова Е.Б., Бондарев В.А., Мурзин Ю.Л.* Популяционная структура и условия формирования промыслового запаса хамсы *Engraulis encrasicolus* у побережья Крыма в осенне-зимний сезон 2007/2008 гг. // Морской экологический журнал. 2009. Т. 8. № 1. С. 42-53.
8. *Шляхов В.А., Михайлюк А.Н., Бондаренко И.В., Евченко О.В., Ершова О.В., Коркош В.В., Мерзликин В.Л., Чащин А.К., Шляхова О.В.* Промыслово-биологические показатели украинского рыболовства в Черном море в 2002-2011 годах // Труды ЮГНИРО. 2012. Т. 50. С. 12-29.
9. *Зуев Г.В., Бондарев В.А., Самотой Ю.В.* Локальный перелов черноморского шпрота (*Sprattus sprattus*: Clupeidae: Pisces) и внутривидовая дифференциация // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3. № 1. С. 35-45.
10. *Анисимова И.М., Лавровский В.В.* Ихтиология. М.: Высшая школа, 1983. 255 с.
11. *Данилевский Н.Н.* Важнейшие факторы, определяющие сроки и районы образования промысловых скоплений черноморской хамсы // Труды АзчерНИРО. 1964. Вып. 22. С. 115-124.
12. *Минюк Г. С., Шульман Г. Е., Щепкин В.Я., Юнева Т.В.* Черноморский шпрот. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 1997. 138 с.
13. *Танкевич П.Б., Негода С.А.* Современное состояние популяции черноморского шпрота и ее использование промыслом // Ученые записки Таврического национального университета. 2001. Т. 14. № 53. С. 95-98.
14. *Guraslan C., Fach B.A., Oguz T.* Understanding the Impact of Environmental Variability on Anchovy Overwintering Migration in the Black Sea and its Implications for the Fishing Industry // Frontiers in Marine Science. 2017. Vol. 4. No AUG. P. 275-277.
15. *Шульман Г. Е.* Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищевая промышленность, 1972. 365 с.
16. *Зуев Г. В., Бондарев В. А., Мурзин Ю. Л., Самотой Ю. В.* Многолетняя динамика промысла и размерно-возрастной структуры уловов черноморской хамсы (*Engraulis encrasicolus ponticus* Aleks) в Украине // Морской экологический журнал. 2014. Т. 13. № 1. С. 27-34.
17. *Зуев Г.В.* Современное состояние популяции хамсы *Engraulis encrasicolus* (L.) (Pisces: Engraulidae), зимующей у побережья восточного Крыма и северного Кавказа // Морской биологический журнал. 2019. Т. 4. № 3. С. 56-68.
18. *Юрьев Г. С.* Черноморский шпрот – *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) // Сырьевые ресурсы Чёрного моря. М.: Пищевая промышленность, 1979. С. 73-92.
19. *Старушенко Л.И.* О возрастном составе промыслового стада черноморского шпрота и причинах колебаний его численности // Рыбное хозяйство. 1965. № 5. С. 18-21.
20. *Шульман Г.Е., Никольский В.Н., Юнева Т.В.* Воздействие глобальных климатических и региональных факторов на мелких пелагических рыб Черного моря // Морской экологический журнал. 2007. Т. 6. № 4. С. 18-30.
21. *Chesalin M.V, Victor V.N., Yuneva1 T.* Biological Characteristics of Azov Anchovy (*Engraulis encrasicolus maeoticus* A.) in 2016-2017 and 2017-2018 Fishing Seasons // Turk. J. Fish. & Aquat. Sci. 2020. Vol. 20. No 7. P. 559-570.

References:

1. Plohinskoj N.A. *Algoritmy` biometrii* [Biometrics algorithms]. Moscow, Moskovskij universitet Publ., 1967, 82 p. (In Russian).
2. Bavrina A.P. Osnovny`e ponyatiya statistiki [Basic concepts of statistics]. *Medicinskij Al`manah* [Medical Almanac], 2020, vol. 64, no. 3, pp. 101-111. (In Russian).
3. Mina M.V. Vozmozhny`e podxody` k opredeleniyu chislennosti vyborok pri provedenii kompleksnyh issledovanij populyacij [Possible Approaches to Determining the Number of Samples in Comprehensive Population Studies]. *Tipovye metodiki issledovaniya produktivnosti vidov ryb v predelah ih arealov* [Standard methods for studying the productivity of fish species within their ranges]. Vilnius, Mokslas Publ., 1976, part 4.2, pp. 25-30. (In Russian).
4. Pugachev V.S. *Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 496 p. (In Russian).
5. Rokiczkij P.F. *Osnovy variacionnoj statistiki dlya biologov* [Basics of variation statistics for biologists]. Minsk, Belgosuniversitet Publ., 1961, 221 p. (In Russian).
6. Zuev G.V., Repetin L.N., Mel`nikova E.B., Guczal D.K., Pustovarova N.I. Vliyanie temperatury vody na vyzhivanie molodi i formirovanie promyslovogo zapasa chernomorskogo shprota *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae) [Influence of water temperature on the survival of juveniles and the formation of the commercial stock of the Black Sea sprat *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) (Pisces: Clupeidae)]. *Morskoj ekologicheskij zhurnal* [Marine Biological Journal], 2004, vol. 3, no. 2, pp. 45-53. (In Russian).
7. Zuyev G.V., Gutsal D.K., Repetin L.N., Salehova L.P., Melnikova E.B., Bondarev V.A., Murzin Y.L. Populyacionnaya struktura i usloviya formirovaniya promyslovogo zapasa hamsy *Engraulis encrasicolus* u poberezhya Kryma v osenne-zimnij sezon 2007/2008 gg. [Population structure and the factors of stock formation of the anchovy *Engraulis encrasicolus* near the Crimean coast in autumn-winter season 2007/2008]. *Morskoj ekologicheskij zhurnal* [Marine Biological Journal], 2009, vol. 8, no. 1, pp. 42-53. (In Russian).
8. Shlyaxov V.A., Mihajlyuk A.N., Bondarenko I.V., Evchenko O.V., Ershova O.V., Korkosh V.V., Merzlikin V.L., Chashhin A.K., Shlyahova O.V. Promyslovo-biologicheskie pokazateli ukrainskogo rybolovstva v Chernom more v 2002-2011 godah [Commercial and biological indicators of Ukrainian fisheries in the Black Sea in 2002-2011]. *Trudy YuGNIRO* [Proceedings of YUGNIRO], 2012, vol. 50, pp. 12-29. (In Russian).
9. Zuev G.V., Bondarev V.A., Samotoj Yu.V. Lokal`nyj perelov chernomorskogo shprota (*Sprattus sprattus*: Clupeidae: Pisces) i vnutrividovaya differenciaciya [Local overfishing of the Black Sea sprat (*Sprattus sprattus*: Clupeidae, Pisces) and intraspecies differentiation]. *Morskoj biologicheskij zhurnal* [Marine Biological Journal], 2018, vol. 3, no. 1, pp. 35-45. (In Russian).
10. Anisimova I.M., Lavrovskij V.V. *Ihtiologiya* [Ichthyology]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1983, 255 p. (In Russian).
11. Danilevskij N.N. Vazhnejshie faktory, opredelyayushhie sroki i rajony obrazovaniya promyslovyh skoplenij chernomorskoj hamsy [The most important factors determining the timing and areas of formation of commercial aggregations of the Black Sea anchovy]. *Trudy AzcherNIRO* [Proceedings of AzcherNIRO], 1964, vol. 22, pp. 115-124. (In Russian).
12. Minyuk G.S., Shul`man G.E., Shhepkin V.Ya., Yuneva T.V. *Chernomorskij shprot* [Black Sea sprat]. Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 1997, 138 p. (In Russian).
13. Tankevich P.B., Negoda S.A. Sovremennoe sostoyanie populyacii chernomorskogo shprota i ee ispol`zovanie promyslom [The current state of the population of the Black Sea sprat and its use by fishery]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional`nogo universiteta* [Scientific notes of the Taurida National University], 2001, vol. 14, no. 53, pp. 95-98. (In Russian).
14. Guraslan C., Fach B.A., Oguz T. Understanding the Impact of Environmental Variability on Anchovy Overwintering Migration in the Black Sea and its Implications for the Fishing Industry. *Frontiers in Marine Science*, 2017. vol. 4, no AUG, pp. 275-277. (In English).
15. Shul`man G.E. *Fiziologo-biohimicheskie osobennosti godovyh ciklov ryb* [Physiological and biochemical features of the annual cycles of fish] Moscow, Pishhevaya promyshlennost` Publ., 1972, 365 p. (In Russian).

16. Zuyev G.V., Bondarev V.A., Murzin U.L., Samotoy U.V. Mnogoletnyaya dinamika promysla i razmerno-vozrastnoj struktury ulovov chernomorskoj hamsy (*Engraulis encrasicolus ponticus* Aleks) v Ukraine [Long-term dynamics of fishery and length-age structure of the Black Sea anchovy (*Engraulis encrasicolus ponticus* Aleks) catches in Ukraine]. *Morskoj ekologicheskij zhurnal* [Marine Biological Journal], 2014, vol. 13, no. 1, pp. 27-34. (In Russian).
17. Zuyev G.V. Sovremennoe sostoyanie populyacii hamsy *Engraulis encrasicolus* (L.) (Pisces: Engraulidae), zimuyushhej u poberezhya vostochnogo Kryma i severnogo Kavkaza [The current state of the population of the anchovy *Engraulis encrasicolus* (L.) (Pisces: Engraulidae), wintering off the coast of the eastern Crimea and the northern Caucasus]. *Morskoj ekologicheskij zhurnal* [Marine Biological Journal], 2019, vol. 4, no. 3, pp. 56-68. (In Russian).
18. Yur`ev G.S. Chernomorskij shprot – *Sprattus sprattus phalericus* (Risso) [Black Sea sprat – *Sprattus sprattus phalericus* (Risso)]. *Syr'evye resursy Chernogo moray* [Raw resources of the Black Sea]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1979, pp. 73-92. (In Russian).
19. Starushenko L.I. O vozrastnom sostave promy`slovogo stada chernomorskogo shprota i prichinah kolebanij ego chislennosti [On the age composition of the commercial herd of the Black Sea sprat and the reasons for fluctuations in its numbers]. *Rybnoe hozyajstvo* [Fisheries], 1965, no. 5, pp. 18-21. (In Russian).
20. Shul`man G.E., Nikol`skij V.N., Yuneva T.V. Vozdejstvie global`nyh klimaticheskih i regional`nyh faktorov na melkih pelagicheskih ryb Chernogo morya [Influence of global climatic and regional anthropogenic factors on small pelagic fishes of the Black Sea]. *Morskoj ekologicheskij zhurnal* [Marine Environmental Journal], 2007, vol. 6, no 4, pp. 18-30. (In Russian).
21. Chesalin M.V, Victor V.N., Yuneva1 T. Biological Characteristics of Azov Anchovy (*Engraulis encrasicolus maeoticus* A.) in 2016-2017 and 2017-2018 Fishing Seasons. *Turk. J. Fish. & Aquat. Sci*., 2020, vol. 20, no 7, pp. 559-570. (In English).

Сведения об авторах / Information about authors

Мельникова Елена Борисовна	канд. биол. наук, старший научный сотрудник Институт природно-технических систем ФГБНУ 299011, Россия, г. Севастополь, ул. Ленина, 28 helena_melnikova@mail.ru
Mel’nikova Elena Borisovna	Ph.D. (Biol.), Senior researcher Institute of Natural and Technical Systems 28, Lenin str., Sevastopol, Russia, 299011 helena_melnikova@mail.ru
Мельников Анатолий Викторович	канд. техн. наук, доцент Севастопольский государственный университет 299053, Россия, г. Севастополь, ул. Университетская, 33 mel.anat@mail.ru
Melnikov Anatolii Viktorovich	Ph.D. (Tech.) Associate Professor Sevastopol State University 33, Universitetskaya str., Sevastopol, Russia, 299053 mel.anat@mail.ru

УДК 597.5:639.3 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_23**

Тюрин В.В., Абрамчук А.В., Ганченко М.В.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОСЕВОГО СКЕЛЕТА БЕЛОГО ТОЛСТОЛОБИКА (*HYPOPHTHALMICHTHYS MOLITRIX* (VALENCIENNES, 1844)) В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДОМЕСТИКАЦИИ

Аннотация. В статье анализируется структура осевого скелета искусственных популяций белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844)) разных поколений воспроизводства. Показано, что анализ параметров осевого скелета белого толстолобика позволяет сделать заключение о преобразовании генотипической структуры популяций разных поколений воспроизводства, происходящее под действием естественного отбора. Об этом свидетельствует изменения частот как отдельных фенов осевого скелета, так и их сочетаний, выраженных в виде формул. Расчет среднего эффекта фенов в разные годы исследования выявил статистически достоверные различия между поколениями. Доля этих различий для разных фенов составляла от 8,4 % для переходного отдела до 51,3 % для хвостового. Вариация общего числа позвонков составила 59,3 %. Наиболее стабильным оказалось число позвонков в переходном отделе, а изменчивым – в хвостовом. За несколько поколений искусственного воспроизводства произошло изменение адаптивных генотипических форм.
Ключевые слова: белый толстолобик, осевой скелет, фены, доместикация, поколения воспроизводства, естественный отбор.

Tyurin V.V., Abramchuk A.V., Ganchenko M.V.

TRANSFORMATION OF THE STRUCTURE OF THE AXIAL SKELETON OF THE WHITE CARP (HYPOPHTHALMICHTHYS MOLITRIX (VALENCIENNES, 1844)) DURING ITS DOMESTICATION

Abstract. The article analyzes the structure of the axial skeleton of artificial populations of the white carp (*Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844)) of different generations of reproduction. It is shown that the analysis of the parameters of the axial skeleton of the white silver carp allows us to conclude about the transformation of the genotypic structure of populations of different generations of reproduction that occurs under the influence of natural selection. This is evidenced by changes in the frequencies of both individual phenols of the axial skeleton and their combinations expressed in the form of formulas. The calculation of the average effect of hair dryers in different years of the study revealed statistically significant differences between generations. The proportion of these differences for different hair dryers ranged from 8.4 % for the transitional section to 51.3 % for the tail section. The variation in the total number of vertebrae was 59.3 %. The most stable was the number of vertebrae in the transitional section, and variable – in the tail. Over several generations of artificial reproduction, adaptive genotypic forms have changed.
Keywords: white carp, axial skeleton, hair dryers, domestication, reproduction generations, natural selection.

Введение

Опыт работы с различными объектами аквакультуры свидетельствует о необходимости, и даже безотлагательности селекционных мероприятий во

избежание резкого обеднения генофонда культивируемых популяций.

Система разведения рыб сопровождается интенсивным отбором по целому ряду признаков, что неизбежно сказывается на генетической структуре искусственных популяций. Это подтверждается, например, анализом ферментных систем у лососей из естественных и искусственных популяций. Выявлены достоверные из года в год устанавливаемые различия по гену изоцитратдегидрогеназы [1]. В другой работе показано, что в культивируемых линиях кумжи снижается воспроизводительная способность. У одного из видов выявлена потеря определенной части генофонда в течении всего двух поколений [2]. Изучение генетической структуры популяций как исходного материала для селекции становится, таким образом, крайне существенной частью общей задачи.

Из признаков различных категорий особое место занимают остеологические показатели. В их структуре изменчивости в постэмбриональный период отсутствует средовая компонента. В этом заключается их несомненное достоинство для оценки различий природных или культивируемых популяций рыб [3].

Изменчивость различных параметров онтогенеза в конкретном диапазоне предоставляет богатый материал для естественного отбора, которая образует существующее разнообразие. Все это является следствием явления фенотипической пластичности, т. е. способности к формированию различных фенотипов на базе одного генотипа в зависимости от внешних и внутренних условий, в которых развивается организм [4]. В рамках этого подхода в работе Д.В. Капитоновой и Ф.Н. Шкиль [5] обсуждается роль остеологических показателей в решении вопросов эволюционных преобразований.

Остеологические показатели успешно применялись для изучения генотипической структуры популяций. Так, при изучении популяций карповых рыб озера Чаны были установлены межпопуляционные различия по частоте встречаемости разных фенов осевого скелета [6].

В исследованиях, выполненных на черноморском лососе, выращиваемом на двух рыборазводных заводах были показаны различия маточных стад по числу позвонков осевого скелета. Также было установлено, что с возрастом происходит снижение числа формул осевого скелета, что может быть связано с естественным отбором [7].

Есть успешные примеры использования параметров осевого скелета карповых и лососевых рыб для оценки генетической гетерогенности популяций. Анализ генетического контроля остеологических признаков у черноморской кумжи позволил выделить два гена, детерминирующих соотношение числа позвонков [8].

Сравнение пород карпа по комплексу меристических показателей – параметров скелета рыб выявило статистически достоверные межпородные различия. Искусственный отбор, проводимый по фенотипу затрагивает разные генетические системы, в том числе и гены, контролирующие структуру осевого скелета [8].

Таким образом, использование остеологических показателей в ихтиологии позволяет решать широкий спектр задач.

Цель исследования – по результатам анализа осевого скелета оценить преобразование структуры искусственных популяций белого толстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844)), происходящее в процессе его доместикации.

Материалы и методы исследования

В работе были использованы данные по остеологическому описанию двух выборок белого толстолобика разных поколений воспроизводства. Первая из них была изучена в 1983 г. непосредственно после завоза с Дальнего Востока. Вторая выборка белого толстолобика была описана в 2020 г. Объем первой выборки составил 350, второй – 115 особей.

За 37 лет сменилось несколько поколений и нами была предпринята попытка оценить действие естественного отбора и изменение генотипической

структуры популяций на основании анализа структуры осевого скелета рыб.

Остеологический анализ предусматривает измерение показателей, характеризующих структуру осевого скелета рыб. В их число входит:

– общее число позвонков (О);

– число позвонков в грудном отделе (Г);

– число позвонков в переходном отделе (П);

– число позвонков в хвостовом отделе (Х).

Результаты исследования и их обсуждение

Как было отмечено в главе Материал и методы исследования, для написания работы были использованы как данные, полученные в 1983 году, так и материал 2020 года. Именно это обстоятельство в совокупности с удачным выбором анализируемых признаков позволило оценить преобразование генотипической структуры популяций белого толстолобика, происходящее под действием естественного отбора. К основным его факторам следует отнести выращивание рыб в искусственных условиях – прудах и заводской способ воспроизводства.

Остеологические признаки относятся к так называемым фенам. Последние определяют, как дискретные, альтернативные, далее неделимые без потери качества вариации признаков, отражающие определенные черты генетической конституции особи, а своей частотой – генотипическую структуру группы [9]. В роли фенов могут выступать и меристические признаки [10].

Несомненным достоинством остеологических признаков как характеристик генетической структуры популяций является отсутствие средовой компоненты изменчивости в постэмбриональный период.

Исследование остеологических показателей было начато с анализа часто встречаемости числа позвонков в отделах осевого скелета рыб. В анализ было включено также общее число позвонков как интегральной характеристики, дающей предварительное представление о вариации показателей в целом (табл. 1).

Таблица 1 – Частота встречаемости фена общее число позвонков в выборках разных поколений белого толстолобика

Значение	Поколение 1983 г.		Поколение 2020 г.	
	частота, шт.	%	частота, шт.	%
39	46	13,1	–	–
40	206	58,9	1	0,9
41	95	27,1	66	57,4
42	1	0,3	46	40,0
43	2	0,6	2	1,7

Видно, что за 37 лет в структуре показателя произошли существенные преобразования. Так, общее число позвонков, равное 39, встречающееся в 1983 году относительно часто (13,1 %) полностью отсутствует в выборке 2020 г. То же отгостится к фену 40 позвонков. В 1983 г. он был преобладающим с частотой 58,9 %, а в 2020 г. его частота была минимальна – 0,9 %.

Для некоторых значений ситуация была противоположной – невысокая встречаемость в 1983 г. и повышенная в 2020 г. Это относится к фенам 41 и 42 позвонка. В первом случае частота повысилась 27,1 до 57,4 %; во втором – с 0,3 до 40,0 %.

Данные о частоте встречаемости числа позвонков грудного отдела в разных выборках белого толстолобика представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Частота встречаемости фена число позвонков в грудном отделе в выборках разных поколений белого толстолобика

Значение	Поколение 1983 г.		Поколение 2020 г.	
	частота, шт.	%	частота, шт.	%
14	6	1,7	–	–
15	300	85,7	38	33,0
16	41	11,7	72	62,6
17	1	0,3	5	4,3
18	2	0,6	–	–

Не рассматривая мелкие незначительные изменения, отметим снижение частоты фена 15 позвонков с 85,7 % в 1983 г. до 33,0 % в 2020 г., или наоборот

возрастание значения 16 позвонков с 11,7 % в 1983 г. до 62,6 % в 2020 г.

В таблице 3 рассматривается частота встречаемости фена число позвонков в переходном отделе осевого скелета.

Таблица 3 – Частота встречаемости фена число позвонков в переходном отделе в выборках разных поколений белого толстолобика

Значение	Поколение 1983 г.		Поколение 2020 г.	
	частота, шт.	%	частота, шт.	%
6	21	6,0	15	13,0
7	248	70,9	94	81,7
8	79	22,6	6	5,2
9	2	0,6	–	–

Частота данного фена несмотря на несколько поколений отбора является относительно стабильной, хотя различия частот, выраженные в процентах, являются статистически достоверными.

Так, частота фена 6 позвонков в выборке 1983 г. статистически достоверно превышает частоту в 2020 г. (t = 2,27; p < 0,05). Частота фена 7 позвонков в выборке 2020 г. достоверно превышает частоту в выборке 1983 г. (t = 2,27; p < 0,05). Для 8 позвонков в переходном отделе достоверное превышение установлено для выборки 1983 г. (t = 4,92; p < 0,05). И в 1983 г., и в 2020 г. модальным является один и тот же класс – 7 позвонков.

О характере различий выборок по частоте числа позвонков в хвостовом отделе позволяют результаты, представленные в таблице 4.

Для данного отдела осевого скелета были установлены существенные преобразования. Значение фена 17 позвонков, с довольно высокой частотой в 1983 г. (22,9 %) полностью отсутствовало в 2020 г. Для 18 позвонков наибольшая частота (68,0 %) в 1983 г. упала до 27,4 %, а для 19 позвонков наименьшая частота в 9,1 % для 1983 г. возрастает до модального значения в 64,1 % к 2020 г.

Таким образом, следует отметить, что в ряду поколений белого толстолобика происходят изменения в частоте встречаемости значений числа

позвонков в разных отделах осевого скелета. Зачастую, эти изменения носят кардинальный характер, что свидетельствует о преобразовании генотипической структуры популяций, происходящих под действием естественного отбора.

Таблица 4 – Частота встречаемости фена число позвонков в хвостовом отделе в выборках разных поколений белого толстолобика

Значение	Поколение 1983 г.		Поколение 2020 г.	
	частота, шт.	%	частота, шт.	%
17	80	22,9	–	–
18	238	68,0	32	27,4
19	32	9,1	75	64,1
20	–	–	8	6,8

Был выполнен расчет среднего эффекта фенов в разные годы исследования. Это позволило не только оценить достоверность различий между разными поколениями, но и узнать какова доля этих различий для разных фенов. Для этого была использована модель однофакторного дисперсионного анализа числа позвонков с фактором год (таблица 5).

Как и ожидалось, различия между поколениями оказались статистически достоверными. Доля этих различий для разных фенов составляла от 8,4 % для переходного отдела до 51,3 % для хвостового. Вариация общего числа позвонков составила 59,3 %. Наиболее стабильным оказалось число позвонков в переходном отделе, а изменчивым – в хвостовом.

Результат анализа отдельных остеологических показателей является важным, но не единственным с точки зрения оценки действия естественного отбора. В популяции существует некоторое ограниченное число соотношений числа позвонков в разных отделах осевого скелета. Эти соотношения далее будем называть формулами осевого скелета.

Для изучения искомых формул следует предпринять объединение значений остеологических показателей в их линейные комбинации, выполненное в рамках метода главных компонент. В этом случае каждой

формуле будет соответствовать свое уникальное значение. Так, например, для формулы: О:Г:П:Х = 41:15:9:17 значение главной компоненты будет равно -2,744.

Таблица 5 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа числа позвонков в разных отделах с фактором поколение воспроизводства

Изменчивость	SS	df	mS	F	p^{in}, %
Общее число позвонков					
Общая	325,97	464	–	–	100,0
Факторная	138,13	1	138,13	340,47	59,3
Остаточная	187,84	463	0,41	–	40,7
Число позвонков в грудном отделе					
Общая	127,40	464	–	–	100,0
Факторная	30,15	1	30,15	143,55	38,0
Остаточная	97,25	463	0,21	–	62,0
Число позвонков в переходном отделе					
Общая	122,96	464	–	–	100,0
Факторная	5,65	1	5,65	22,28	8,4
Остаточная	117,31	463	0,25	–	91,6
Число позвонков в хвостовом отделе					
Общая	215,02	464	–	–	100,0
Факторная	74,62	1	74,62	246,05	51,3
Остаточная	140,41	463	0,30	–	48,7
Примечание. SS – сумма квадратов; df – число степеней свободы; mS – средние квадраты; F – критерий Фишера; p^{in}, % – доля влияния фактора.					

Переход от отдельных признаков к их комплексам представляет собой фундаментальное положение об изучении генотипической структуры популяций и понимания деятельности отбора [11]. Этот тезис, в дальнейшем, был обоснован и развит в работах многих авторов. В частности, Л.А. Животовский [12] отмечал, что изменчивость признаков в популяциях является отражением изменения полигенных систем, детерминирующих комплексы признаков.

Число и частота формул осевого скелета в разные годы исследования представлены на рисунках 1, 2.

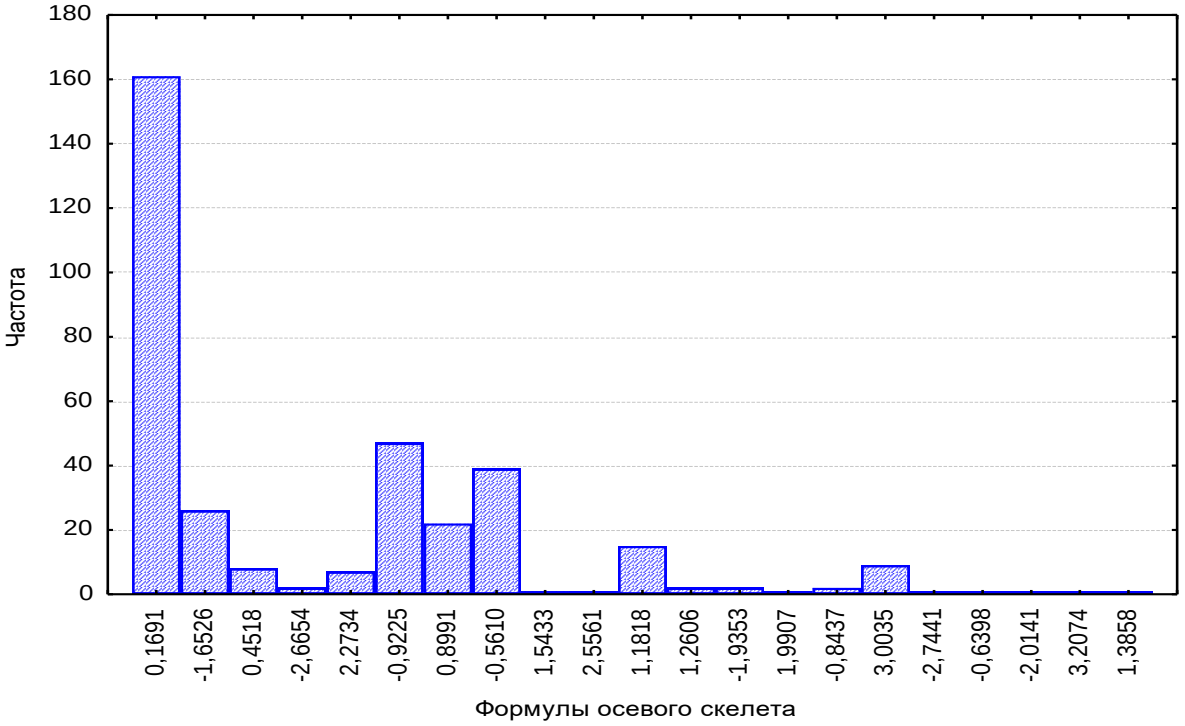

Рисунок 1 – Формулы осевого скелета белого толстолобика выборки 1983 г.

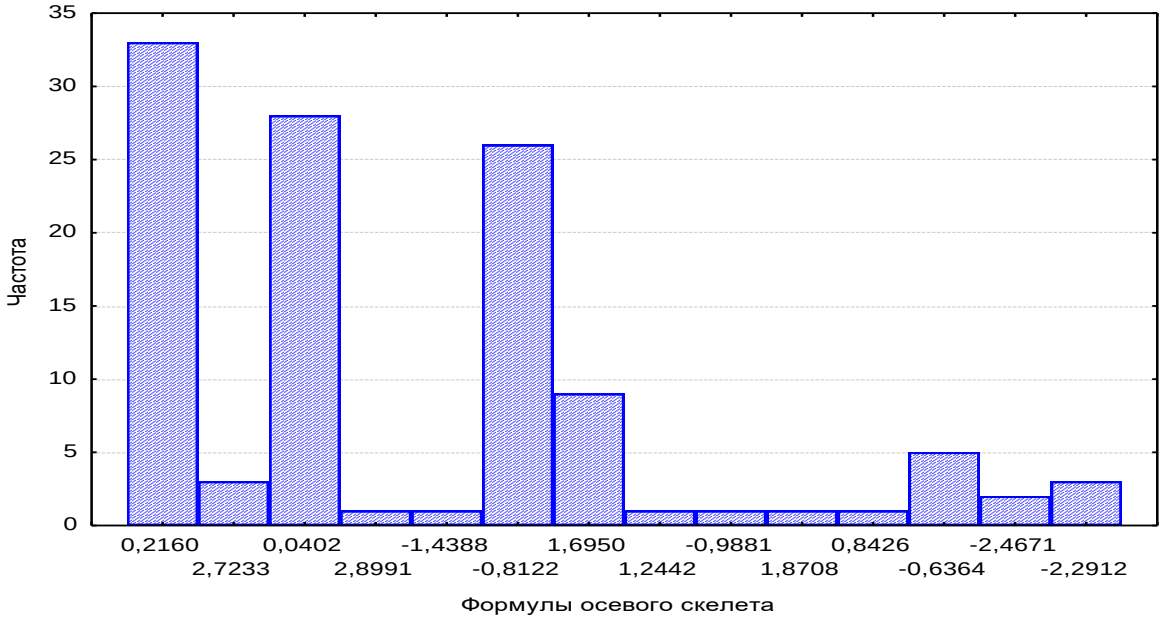

Рисунок 2 – Формулы осевого скелета белого толстолобика выборки 2020 г.

В результате исследования выборки рыб 1983 года обнаружена 21 формула с разной частотой встречаемости от 1 до 161. Кроме модальной встречаются формулы осевого скелета с частотой 15-40 объектов.

Более подробную картину об абсолютной и относительной частоте встречаемости вариантов осевого скелета дает таблица 6.

Таблица 6 – Формулы осевого скелета в выборке 1983 года

№	FACTOR1	Частота	Процент	О	Г	П	Х
1	-2,744	1	0,3	41	15	9	17
2	-2,665	2	0,6	39	14	8	17
3	-2,014	1	0,3	42	15	9	18
4	-1,935	2	0,6	40	14	8	18
5	-1,653	26	7,4	40	15	8	17
6	-0,923	47	13,4	41	15	8	18
7	-0,844	2	0,6	39	14	7	18
8	-0,640	1	0,3	41	16	8	17
9	-0,561	39	11,1	39	15	7	17
10	0,169	161	46,0	40	15	7	18
11	0,452	8	2,3	40	16	7	17
12	0,899	22	6,3	41	15	7	19
13	1,182	15	4,3	41	16	7	18
14	1,261	2	0,6	39	15	6	18
15	1,386	1	0,3	43	18	8	17
16	1,543	1	0,3	39	16	6	17
17	1,991	1	0,3	40	15	6	19
18	2,273	7	2,0	40	16	6	18
19	2,556	1	0,3	40	17	6	17
20	3,003	9	2,6	41	16	6	19
21	3,207	1	0,3	43	18	7	18
Примечание. Здесь и в таблице 6 термином FACTOR1 обозначено значение первой главной компоненты.							

Безусловно, частота встречаемости большинства формул была незначительной (от 0,3 % до 0,6 %), таких формул было 13. Но были и формулы с существенно высокой частотой, среди которых следует отметить модальную: О:Г:П:Х = 40:15:7:18 (46,0 %).

В выборке 2020 г. было обнаружено 14 формул осевого скелета, встречающихся как с единичной, так и со значительной частотой (табл. 7).

Таблица 7 – Формулы осевого скелета в выборке 2020 года

№	FACTOR1	Частота	Процент	О	Г	П	Х
1	-2,467	2	1,7	41	15	8	18
2	-2,291	3	2,6	42	15	8	19
3	-1,439	1	0,9	42	16	8	18
4	-0,988	1	0,9	40	15	7	18
5	-0,812	26	22,6	41	15	7	19
6	-0,636	5	4,3	42	15	7	20
7	0,040	28	24,3	41	16	7	18
8	0,216	33	28,7	42	16	7	19
9	0,843	1	0,9	41	15	6	20
10	1,244	1	0,9	43	17	7	19
11	1,695	9	7,8	41	16	6	19
12	1,871	1	0,9	42	16	6	20
13	2,723	3	2,6	42	17	6	19
14	2,899	1	0,9	43	17	6	20

В число модальных вошли сразу три формулы:

– О:Г:П:Х = 41:15:7:19 (22,6 %);

– О:Г:П:Х = 41:16:7:18 (24,3 %);

– О:Г:П:Х = 42:16:7:19 (28,7 %).

Как показало сравнение их относительных частот с использованием критерия Стьюдента для долей статистически достоверных различий между данными формулами не выявлено.

Подвести итог сравнения формул осевого скелета в разных поколениях белого толстолобика помогут данные таблицы 8.

Таблица 8 – Частота модальных формул осевого скелета в разных поколениях белого толстолобика

Поколение 1983 г.					Поколение 2020 г.				
О	Г	П	Х	%	О	Г	П	Х	%
40	15	7	18	46,0	40	15	7	18	0,9
41	15	7	19	6,3	41	15	7	19	22,6
41	16	7	18	4,3	41	16	7	18	24,3
42	16	7	19	0	42	16	7	19	28,7

Важно, что модальная формула выборки 1983 г. О:Г:П:Х=40:15:7:18 (46,0 %) в 2020 г. встретилась лишь один раз (0,9 %), а частота модальных формул выборки 2020 г. в 1983 г. была невелика или отсутствовала. Так, О:Г:П:Х=41:15:7:19 в 1983 г. встречалась – 6,3 %; О:Г:П:Х=41:16:7:18 – 4,3 %; О:Г:П:Х=42:16:7:19 – 0 %.

Общий итог сравнительного анализа параметров осевого скелета разных поколений воспроизводства позволяет сделать заключение о преобразовании генотипической структуры популяций белого толстолобика, происходящее под действием естественного отбора. Об этом свидетельствует кардинальные изменения частот как отдельных фенов осевого скелета, так и их сочетаний, выраженных в виде формул.

Выводы

Анализ параметров осевого скелета белого толстолобика позволяет сделать заключение о преобразовании генотипической структуры популяций разных поколений воспроизводства, происходящее под действием естественного отбора. Об этом свидетельствует изменения частот как отдельных фенов осевого скелета, так и их сочетаний, выраженных в виде формул.

Расчет среднего эффекта фенов в разные годы исследования выявил статистически достоверные различия между поколениями. Доля этих различий для разных фенов составляла от 8,4 % для переходного отдела до 51,3 % для хвостового. Вариация общего числа позвонков составила 59,3 %. Наиболее стабильным оказалось число позвонков в переходном отделе, а изменчивым – в хвостовом.

За несколько поколений искусственного воспроизводства произошло изменение адаптивных генотипических форм.

Список использованной литературы:

1. *Никоноров С.И., Офицеров М.В., Витвицкая Л.В., Лоенко А.А.* Неконтролируемый генетический отбор лососей // Рыбное хозяйство. 1989. Вып. 1. С. 54-55.
2. *Skaala O., Dahle G., Jorstad K.E., Naevdal G.* Interactions between natural and farmed fish populations: information from genetic marcers // *Journal of Fish Biology*. 1990. No. 36. Vol. 3. P. 449-460.
3. *Ганченко М.В., Волчков Ю.А., Илясов Ю.И.* Описание и статистический анализ структуры

осевого скелета как сигнального признака в селекции растительноядных рыб (рекомендации). М.: ВНИИПРХ, 1988. 15 с.
4. *Кирпичников В.С.* Генетика и селекция рыб. Л.: Наука, 1987. 520 с.
5. *Капитанова Д.В., Шкиль Ф.Н.* Фенотипическая пластичность осевого скелета костистых рыб в условиях гипо- и гипертиреоидизма // Материалы Всероссийской конференции и школы для молодой ученой памяти Феликса Яновича Дзержинского «Эволюционная и функциональная морфология позвоночных». М., 2017. С. 158-161.
6. *Ядрёнкина Е.Н., Интересова Е.А., Хакимов Р.М.* К вопросу о пространственной дифференциации популяций карповых рыб озера Чаны (Западная Сибирь) // Сибирский экологический журнал. 2005. Т. 12. Вып. 2. С. 293-304.
7. *Стрельников В.В., Тюрин В.В., Плотников Г.К., Волчков Ю.А.* Изменчивость параметров осевого скелета в искусственных популяциях черноморского лосося разного возраста // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. Вып. 35. С. 243-247.
8. *Тюрин В.В.* Система генетического контроля структуры осевого скелета рыб и перспективы использования этого признака в популяционно-генетических исследованиях // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. Вып. 1. С. 79-82.
9. *Яблоков А.В.* Состояние исследований и некоторые проблемы фенетики популяций // Фенетика популяций. 1982. С. 3-14.
10. *Яблоков А.В., Ларина Н.И.* Введение в фенетику популяций: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1985. 160 с.
11. *Левонтин Р.* Генетические основы эволюции. М.: Мир, 1978. 349 с.
12. *Животовский Л.А.* Интеграция полигенных систем в популяции. М.: Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, 1984. 183 с.

References:

1. Nikonorov S.I., Officers M.V., Vitvitskaya L.V., Laenko A.A. Nekontroliruemyj geneticheskij otbor lososej [Uncontrolled genetic selection of salmon]. *Rybnoe hozyajstvo* [Fisheries], Moscow, 1989, issue 1, pp. 54-55. (In Russian).
2. Skaala O., Dahle G., Jorstad K.E., Naevdal G. Interactions between natural and farmed fish populations: information from genetic marcers. *Journal of Fish Biology*, 1990, no. 36, vol. 3, pp. 449-460. (In English).
3. Ganchenko M.V., Volchkov Yu.A., Ilyasov Yu.I. *Opisanie i statisticheskij analiz struktury osevogo skeleta kak signal'nogo priznaka v selekcii rastitel'noyadnyh ryb (rekomendacii)* [Description and statistical analysis of the structure of the axial skeleton as a signal sign in the selection of herbivorous fish (recommendations)]. Moscow, VNIIPRH Publ., 1988, 15 p. (In Russian).
4. Kirpichnikov V.S. *Genetika i selekciya ryb* [Genetics and fish breeding]. Leningrad, Nauka Publ., 1987, 520 p. (In Russian).
5. Kapitanova D.V., Shkil F.N. Fenotipicheskaya plastichnost' osevogo skeleta kostistyh ryb v usloviyah gipo- i gipertireoidizma [Phenotypic plasticity of the axial skeleton of bony fish in conditions of hypo- and hyperthyroidism]. *Materialy Vserossijskoj konferencii i shkoly dlya molodoj uchenoj pamyati Feliksa Yanovicha Dzerzhinskogo «Evolyucionnaya i funkcional'naya morfologiya pozvonochnyh»* [Materials of the All-Russian conference and school for young scientists in memory of Felix Yanovich Dzerzhinsky “Evolutionary and functional morphology of vertebrates”], Moscow, 2017, pp. 158-161. (In Russian).
6. Yadrenkina E.N., Interesova E.A., Khakimov R. M. K voprosu o prostranstvennoj differenciacii populyacij karpovyh ryb ozera CHany (Zapadnaya Sibir') [On the spatial differentiation of populations of cyprinid fish of Lake Chany (Western Siberia)]. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2005, vol. 12, issue 2, pp. 293-304. (In Russian).
7. Strelnikov V.V., Tyurin V.V., Plotnikov G.K., Volchkov Yu.A. Izmenchivost' parametrov osevogo skeleta v iskusstvennyh populyaciyah chernomorskogo lososya raznogo vozrasta [Variability of axial skeleton parameters in artificial populations of Black Sea salmon of different

ages]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University], 2012, issue 35, pp. 243-247. (In Russian).
8. Tyurin V.V. Sistema geneticheskogo kontrolya struktury osevogo skeleta ryb i perspektivy ispol'zovaniya etogo priznaka v populyacionno-geneticheskih issledovaniyah [System of genetic control of the structure of the axial skeleton of fish and prospects for the use of this trait in population-genetic research]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennye nauki* [News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Series: Natural Sciences], 2009, issue 1, pp. 79-82. (In Russian).
9. Yablokov A.V. Sostoyanie issledovanij i nekotorye problemy fenetiki populyacij [The state of research and some problems of population phonetics]. *Fenetika populyacij* [Population phonetics], 1982, pp. 3-14. (In Russian).
10. Yablokov A.V., Larina N.I. *Vvedenie v fenetiku populyacij* [Introduction to population phonetics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985, 160 p. (In Russian).
11. Levontin R. *Geneticheskie osnovy evolyucii* [Genetic foundations of evolution]. Moscow, Mir Publ., 1978, 349 p. (In Russian).
12. Zhivotovsky L.A. Integraciya poligennyh sistem v populyacii [Integration of polygenic systems in populations]. Moscow, Institut obshchej genetiki im. N.I. Vavilova RAN Publ., 1984, 183 p. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Тюрин Владислав Викторович	д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры генетики, микробиологии и биохимии Кубанский государственный университет 350040, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149 tvv61@inbox.ru
Tyurin Vladislav Viktorovich	Dr. Sci. (Biol.), Associate professor, Professor of the department of genetics, microbiology and biochemistry Kuban State University, 350040, Krasnodar territory, Krasnodar, Stavropolskaya str., 149 tvv61@inbox.ru
Абрамчук Алексей Васильевич	канд. с.-х. наук, доцент, заведующий кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры Кубанский государственный университет 350040, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149 apilab@yandex.ru
Abramchuk Alexey Vasilyevich	Ph.D. (Agricult.), Associate professor, head of the department of aquatic bioresources and aquaculture Kuban State University 350040, Krasnodar territory, Krasnodar, Stavropolskaya str., 149 apilab@yandex.ru
Ганченко Михаил Васильевич	канд. биол. наук, заместитель начальника развития рыбохозяйственного комплекса Министерства сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности Краснодарского края 350000, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Рашпилевская, 36 57gmv@mail.ru
Ganchenko Mikhail Vasilyevich	Ph.D. (Biol.), deputy head of the development of the fisheries complex of the Ministry of agriculture and processing industry of the Krasnodar Territory 350000, Krasnodar territory, Krasnodar, Rashpilevskaya str., 36 57gmv@mail.ru

УДК 629.1 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_37**

Ивановская А.В.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЯГОВОЙ СИСТЕМЫ С КОНЕЧНЫМ НАТЯЖЕНИЕМ

Аннотация. В работе рассмотрены особенности динамического анализа тяговой системы с конечным натяжением, описана методика определения динамических характеристик подъемного каната привода судового грузоподъемного оборудования. Необходимость исследования тяговой системы вызвана возможным проявлением резонанса, вызывающего ударные нагрузки во время подъема грузовой системы. 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. Поэтому тематика данной работы является актуальной и вызванной запросом практики. Предложенный метод исследования поведения тяговой системы с конечным натяжением, выполненный на основе принципа Гамильтона, учитывающем поперечные и продольные смещения троса, позволит моделировать и проектировать приводы грузоподъёмных устройств судна с более высокой точностью, что является необходимым при автоматизации оборудования.
Ключевые слова: канатные тяговые системы, продольные и поперечные колебания, принцип Гамильтона.

Ivanovskaya A.

FEATURES OF DYNAMIC ANALYSIS OF A TRACTION SYSTEM WITH FINITE TENSION

Abstract. The paper considers the features of the dynamic analysis of the traction system with finite tension, describes the method for determining the dynamic characteristics of the lifting rope of the ship's lifting equipment drive. The need to study the traction system is caused by the possible manifestation of resonance, causing shock loads during the lifting of the cargo system. The resonance phenomenon can be observed due to the longitudinal and transverse vibrations of the hoisting and compensating ropes, which are caused by excitations in the process of winding the drum, leading to an unstable position of the system. Therefore, the topic of this work is relevant and caused by the request of practice. The proposed method for studying the behavior of the traction system with finite tension, based on the Hamilton principle, which takes into account the transverse and longitudinal displacements of the cable, will allow modeling and designing the ship's hoisting device drives with higher accuracy, which is necessary for equipment automation.
Keywords: rope traction systems, longitudinal and transverse oscillations, Hamilton principle.

Введение. Тяговая система широко используется в судовых механизмах подъема груза, например, лифтах, конвейерах, кранах и т. п. Основными элементами таких механизмов подъема являются: приводной барабан, подъемный и компенсационный трос. Такая система зачастую подвержена вибрации за счет эластичности тросов, нестационарности нагружений, внешних воздействий. Эти колебания могут привести к явлению резонанса, что

существенно влияет на надежность и работоспособность судового грузоподъемного оборудования [1-7].

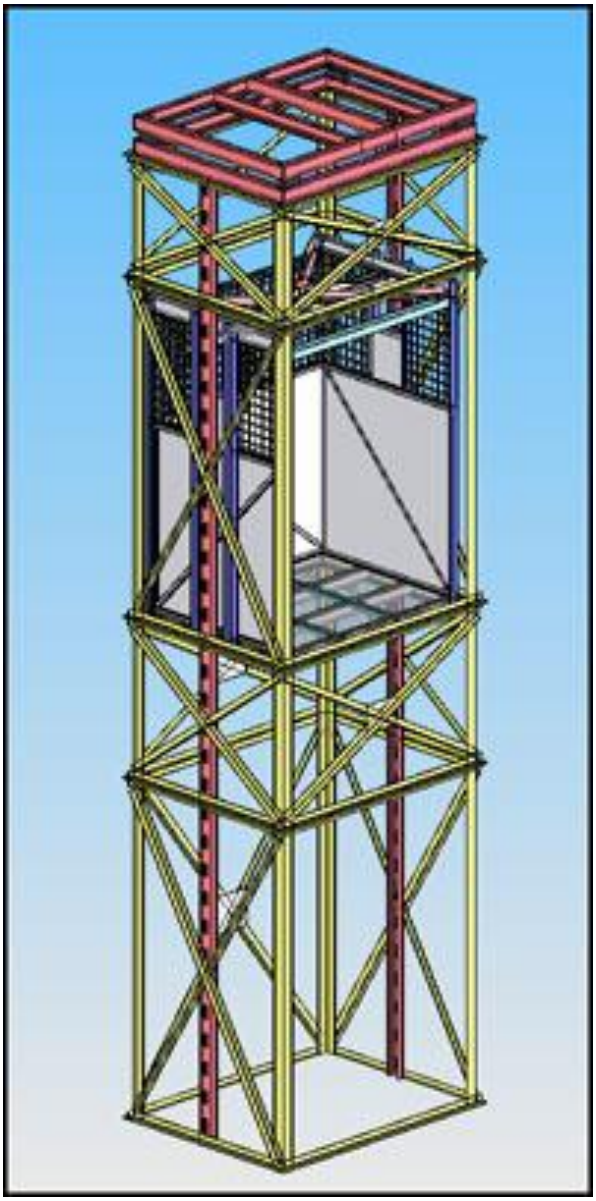

Рисунок 1 – Судовой лифт

Примеры эксплуатации подтверждают, что незнание или игнорирование динамических нагрузок судового грузоподъемного оборудования приводит к поломкам и выходу его строя. С одной стороны, такое оборудование должно быть высокоскоростным с форсированными процессами разгона и торможения. Уровень динамических нагрузок оборудования должен соответствовать напряжениям, при которых не происходит прогрессирующее накопление усталости материала. Для рациональной реализации конструкции любой машины необходимо знание полных напряжений в узлах механизмов. Если напряжения от статических нагрузок определяются достаточно точно и просто, то определение напряжений от динамических нагрузок для большинства машин представляет значительную трудность и трудоемкость, что зависит от выбранной эквивалентной схемы и принятого способа математического описания динамических процессов.

Динамический анализ грузоподъемного оборудования независимо от отрасли применения ведется на основе уравнений Лагранжа, принципа Гамильтона, метода Галеркина. Динамика тяговой системы может быть

получена обобщенным методом, позволяющим выявить вибрацию и смещение системы, положение резонансной зоны, а также собственную частоту [8-12].

Целью исследования является проведение динамического анализа тяговой системы с конечным натяжением.

Материалы и методы исследования. Рассмотрим тяговую систему, включающую в себя барабан, подъемные и компенсационные тросы, а также поднимаемые устройства.

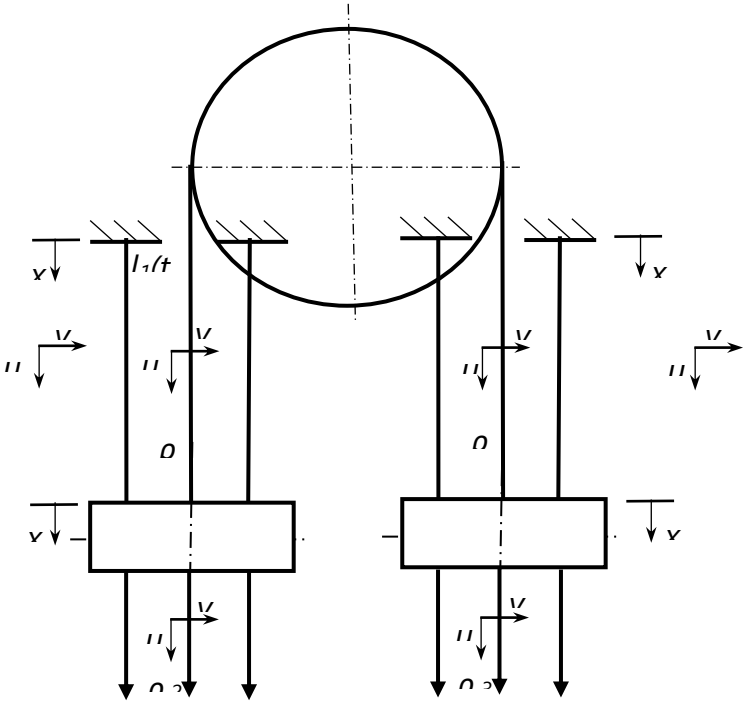

Рисунок 2 – Физическая модель тяговой тросовой системы

Для математического описания системы сделаем следующие допущения:

- жесткость троса постоянна и на изгиб невелика;

- массовая плотность троса постоянна по всей длине;

- так как вращательное движение незначительное, то учитываем только продольную и поперечную вибрацию.

Обозначим продольные и поперечные перемещения троса соответственно, как $y_i(x_i, t)$ и $u_i(x_i, t)$, где $i = \overline{1,4}$ соответствует участкам правого и левого подъемного тросов, правого и левого компенсационного тросов. Пусть $y_p(t)$ и

$\theta(t)$ – продольное смещение и поворот шкива; $y_{ci}(t)$ и $u_{ci}(t)$, где $i = \overline{1,2}$ – продольные и поперечные перемещения подъемного устройства.

При математическом моделировании динамики движения данной механической системы используем принцип Гамильтона:

$$\int_{l_1}^{l_2} \left(\delta T_k(t) - \delta\big(P_v(t) + P_m(t)\big) + \delta W_d(t) - \delta W_c(t)\right) dt = 0 \qquad (1)$$

Так, кинетическая энергия системы определяется как

$$T_k = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{4} \rho_i \int_0^{l_1(t)} \left(v_i(t) + \frac{Dy_i(x_i,t)}{Dt} + \frac{Du_i(x_i,t)}{Dt}\right)^2 dx_i +$$

$$+\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{2} m_i\big(v_i(t) + \dot{y}_{ci}(t)\big)^2 + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{2} m_i \dot{y}_{ci}{}^2(t) \quad + \frac{1}{2} m_p \dot{y}_p^2(t) + \frac{1}{2} J_p \dot{\theta}_p{}^2(t) \qquad (2)$$

где оператор $\frac{D}{Dt}$ представляет собой производную и может быть определен следующим образом:

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

Потенциальная энергия тяговой системы является функцией виброперемещения и определяется следующим образом:

$$P_v = \sum_{i=1}^{4} \int_0^{l_1(t)} \left[F_i(x_i,t)\varepsilon_i + \frac{1}{2} EA\varepsilon_i^2\right] dx_i + \frac{1}{2} k_c \sum_{i=1}^{2} \dot{u}_{ci}{}^2(t) \qquad (3)$$

где EA – осевая жесткость тросов; $F_i(x_i,t)$, $i = \overline{1,4}$ – натяжение тросов в положении x_i; ε_i, $i = 1,2$ – упругие деформации тросов, которые для подъемного, компенсационного и направляющего тросов соответственно равны

$$F_1(x_1,t)=\left(m_1+\rho_1(l_1(t)-x_1)+\frac{m_p}{2}+\rho_2 l_2(t)\right)g;\ \ 0\le x_1\le l_1(t),\quad (4)$$

$$F_2(x_2,t)=\left(m_c+\rho_2(l_2(t)-x_2)+\frac{m_p}{2}\right)g;\ \ 0\le x_2\le l_2(t),\quad (5)$$

$$F_3(x_3,t)=\left(\rho_3(l_3(t)-x_3)+\frac{m_p}{2}\right)g;\ \ 0\le x_3\le l_3(t),\quad (6)$$

$$F_4(x_4,t)=\left(m_2+\rho_4(l_4(t)-x_4)+\frac{m_p}{2}+\rho_3 l_3(t)\right)g;\ \ 0\le x_4\le l_4(t).\quad (7)$$

Потенциальная энергия от действия сил тяжести определяется как

$$P_m=-\sum_{i=1}^{4}\int_0^{l_1(t)}\rho_i g y_i(x_i,t)dx_i-m_1 g y_{c1}(t)-m_2 g y_{c2}(t)-m_p g y_p(t)\quad (8)$$

Определим работу, совершаемую распределенной демпфирующей силой:

$$\delta W_d(t)=\sum_{i=1}^{4}c_{1i}\int_0^{l_i(t)}\frac{Dy_i(x_i,t)}{Dt}\delta y_i(x_i,t)dx_i+$$
$$+\sum_{i=1}^{4}c_{2i}\int_0^{l_i(t)}\frac{Du_i(x_i,t)}{Dt}\delta u_i(x_i,t)dx_i+$$
$$+c_p\dot{y}_p(t)\delta y_p(t)+c_c\dot{u}_{c1}(t)\delta u_{c1}(t)+c_c\dot{u}_{c2}(t)\delta u_{c2}(t).\quad (9)$$

Также на систему действуют сосредоточенные на границах силы, а также силы взаимодействия между подъемным устройством и подъемными тросами и силы взаимодействия между шкивом и компенсационными тросами:

$$\delta W_c(t)=\ f_{y,l,1}(t)\delta y_1(l_1,t)+f_{y,l,2}(t)\delta y_4(l_4,t)+f_{y,c,1}(t)\delta y_2(0,t)+$$
$$+f_{y,c,2}(t)\delta y_3(0,t)+f_{u,l,1}(t)\delta u_1(l_1,t)+f_{u,l,2}(t)\delta u_4(l_4,t)+$$
$$+f_{y,c,1}(t)\delta u_2(0,t)+f_{u,c,2}(t)\delta u_3(0,t)+$$
$$+\left(\overline{f}_{y,l,1}(t)+\overline{f}_{y,c,1}(t)\right)\delta y_{c1}(t)+\left(\overline{f}_{y,l,2}(t)+\overline{f}_{y,c,2}(t)\right)\delta y_{c2}(t)+$$

$$+\left(\overline{f}_{u,l,1}(t)+\overline{f}_{u,c,1}(t)\right)\delta u_{c1}(t)+\left(\overline{f}_{u,l,2}(t)+\overline{f}_{u,c,2}(t)\right)\delta u_{c2}(t)+$$
$$+f_{p,1}(t)\delta y_2(l_2,t)+f_{p,2}(t)\delta y_3(l_3,t)+$$
$$+\left(\overline{f}_{p,1}(t)+\overline{f}_{p,2}(t)\right)\delta y_p(t)+\left(\overline{f}_{p,1}(t)-\overline{f}_{p,2}(t)\right)\delta\theta_p(t) \qquad (10)$$

Подставим составляющие (2-10) в уравнение Гамильтона (1), в результате получим следующую систему уравнений, описывающую динамику тяговой системы с конечным натяжением:

$$\rho_i\left(a_i+y_{i,tt}+a_iy_{i,x}+2v_iy_{i,xt}+v_i^2y_{i,xx}\right)+c_{1i}\left(y_{i,t}+v_iy_{i,x}\right)-$$
$$-\dot{T}_i-EA\dot{\varepsilon}_i-\rho_ig=0,\ i=\overline{1,4}; \qquad (11)$$
$$\rho_i\left(u_{i,tt}+a_iu_{i,x}+2v_iu_{i,xt}+v_i^2u_{i,xx}\right)+c_{2i}\left(u_{i,t}+v_iu_{i,x}\right)-$$
$$-\dot{T}_i\dot{u}_{i,x}-EA\dot{\varepsilon}_i\dot{u}_{i,x}=0,\ i=\overline{1,4}; \qquad (12)$$
$$m_i(a_i+\ddot{y}_{ci})-m_ig=\overline{f}_{y,l,i}(t)+\overline{f}_{y,c,i}(t),\ i=\overline{1,2}; \qquad (13)$$
$$m_i\ddot{u}_{ci}+c_c\dot{u}_{ci}+k_cu_{ci}=\overline{f}_{u,l,i}(t)+\overline{f}_{u,c,i}(t),\ i=\overline{1,2}; \qquad (14)$$
$$m_p\ddot{y}_p+c_p\dot{y}_p=m_pg+\overline{f}_{p,1}(t)+\overline{f}_{p,2}(t); \qquad (15)$$
$$J_p\ddot{\theta}_p=r_p\left(\overline{f}_{p,1}(t)-\overline{f}_{p,2}(t)\right). \qquad (16)$$

Граничные условия определим как

$$y_1(0,t)=0,\ y_4(0,t)=0$$
$$u_1(0,t)=0,\ u_2(l_2,t)=0,\ u_3(l_3,t)=0,\ u_4(0,t)=0$$
$$\delta y(u)_i(0,t)=\delta y_i(x,t_1)=\delta y_i(x,t_2)=0, \qquad i=\overline{1,4}$$
$$[T_i(x_i,t)+EA\varepsilon_i(x_i,t)]|_{x_i=0,x_i=l_i}=f_{y,l}(t),f_{c,i}(t), \qquad i=\overline{1,4}$$
$$[T_i(x_i,t)+EA\varepsilon_i(x_i,t)]u_{i,x}(x_i,t)\big|_{x_i=0,x_i=l_i}=f_{u,l}(t),f_{c,i}(t), \qquad i=\overline{1,4}$$
$$[T_i(x_i,t)+EA\varepsilon_i(x_i,t)]|_{x_i=l_i}=f_{p,j}(t), \qquad i=\overline{2,3},j=\overline{1,2}$$

$$y_1(l_1,t)-y_{c1}=0, y_2(0,t)-y_{c1}=0, y_3(0,t)-y_{c2}=0, y_4(l_4,t)-y_{c2}=0$$
$$u_1(l_1,t)-u_{c1}=0, u_2(0,t)-u_{c1}=0, u_3(0,t)-u_{c2}=0, u_4(l_4,t)-u_{c2}=0$$
$$y_2(l_2,t)-y_p+r_p\theta_p=0, y_3(l_3,t)-y_p-r_p\theta_p=0 \quad (17)$$

Полученные дифференциальные уравнения включают в себя переменные во времени параметры, и зачастую невозможно получить их аналитическое решение, что требует использования численных методов. Поэтому для упрощения модели введем следующее преобразование граничных условий:

$$u_i(x_i,t)=\overline{u}_i(x_i,t)+\overline{h}_i(x_i,t),\ i=1{,}4, \quad (18)$$

где $\overline{u}_i(x_i,t)$ и $\overline{h}_i(x_i,t)$ – однородная и неоднородная часть граничного условия для подъемного троса.

Тогда функция возбуждения будет функцией линейного распределения, в которой

$$\overline{h}_i(x_i,t)=\left(1-\frac{x_i}{l_i(t)}\right)e_{i,u(t)},\ i=1{,}4. \quad (19)$$

В результате преобразований получим упрощенную модель поперечных колебаний подъемного троса:

$$\rho_i\left(\overline{u}_{i,tt}+a_i\overline{u}_{i,x}+2v_i\overline{u}_{i,xt}+v_i^2\overline{u}_{i,xx}\right)-T_{i,x}\overline{u}_{i,x}-T_i\overline{u}_{i,xx}=Q_i(x_i,t), i=\overline{1{,}4}, \quad (20)$$
$$Q_i(x_i,t)=EA\Big[\overline{y}_{i,xx}\,\overline{u}_{i,x}+\overline{y}_{i,x}\overline{u}_{i,xx}+\overline{y}_{i,xx}\overline{h}_{i,x}+\overline{y}_{i,x}\overline{h}_{i,xx}+$$
$$+\frac{3}{2}\left(\overline{u}_{i,x}^2\overline{u}_{i,xx}+\overline{u}_{i,x}^2\overline{h}_{i,xx}+\overline{h}_{i,x}^2\overline{h}_{i,xx}+\overline{h}_{i,x}^2\overline{u}_{i,xx}\right)+$$
$$+3\left(\overline{h}_{i,x}\overline{h}_{i,xx}\overline{u}_{i,x}+\overline{u}_{i,x}\overline{u}_{i,xx}\overline{h}_{i,x}\right)\Big]-\rho_i\left(\overline{h}_{i,tt}+a_i\overline{h}_{i,x}+2v_i\overline{h}_{i,xt}+v_i^2\overline{h}_{i,xx}\right)+$$
$$+T_{i,x}\overline{h}_{i,x}+T_i\overline{h}_{i,xx}, \qquad i=1{,}4$$

Применяя следующее преобразование

$$u_i(x_i,t) = \overline{u}_i(x_i,t),\ i = 2{,}3, \tag{21}$$

получим модель поперечных колебаний компенсационных тросов в виде:

$$\rho_i \frac{D^2\overline{u}_i}{Dt^2} - \left(T_{i,x}\overline{u}_{i,x} + T_i\overline{u}_{i,xx}\right) - EA\left(\overline{y}_{i,xx}\overline{u}_{i,x} + \frac{3}{2}\overline{u}_{i,x}^2\overline{u}_{i,xx} + \overline{y}_{i,x}\overline{u}_{i,xx}\right) = 0, \tag{22}$$

где $\frac{D^2\overline{u}_i}{Dt^2} = \overline{u}_{i,tt} + a_i\overline{u}_{i,x} + 2v_i\overline{u}_{i,xt} + v_i^2\overline{u}_{i,xx}$.

Результаты исследования и их обсуждение. Для построения дискретной модели воспользуемся методом приближенного решения краевой задачи – методом Галеркина $L[\psi(x)] = 0$, в которой оператор L может содержать частные производные искомой функции. Для исследуемой системы они имеют вид:

$$\begin{aligned}
&\Pi_{i,t}(x_i,t) = \widehat{\Pi}_{i,t}(\xi_i,t) - \frac{v_i}{l_i(t)}\widehat{\Pi}_{i,\xi}(\xi_i,t),\\
&\Pi_{i,x}(x_i,t) = \frac{1}{l_i(t)}\widehat{\Pi}_{i,\xi}(\xi_i,t),\ i = \overline{1{,}4},\\
&\Pi_{i,xt}(x_i,t) = \frac{\widehat{\Pi}_{i,\xi t}(\xi_i,t)}{l_i(t)} - \frac{v_i}{l_i^2(t)}\widehat{\Pi}_{i,\xi}(\xi_i,t) - \frac{v_i\xi_i}{l_i^2(t)}\widehat{\Pi}_{i,\xi\xi}(\xi_i,t),
\end{aligned} \tag{23}$$

где $\xi_i = \frac{x_i}{l_i(t)}$ – безразмерный параметр, характеризующий малое приращение длины троса; $\Pi_{i,xt}(x_i,t)$ – символьное обозначение функций $y_i(x_i,t)$, $\overline{u}_i(x_i,t)$, $\overline{h}_i(x_i,t)$.

Учитывая непрерывные характеристики тросов, примем продольное и поперечное смещение

- подъемных тросов:

$$\hat{y}_i(x_i,t) = \sum_{j=1}^{N_1}\psi_{i,j}(\xi_i)\,q_{y_{i,j}}(t),\ i = 1{,}4; \tag{24}$$

$$\hat{u}_i(x_i,t) = \sum_{j=1}^{N_1}\varphi_{i,j}(\xi_i)\,q_{u_{i,j}}(t),\ i = 1{,}4; \tag{25}$$

- компенсационных тросов:

$$\hat{y}_i(x_i,t) = \sum_{j=0}^{N_2} \psi_{i,j}(\xi_i)\, q_{y_{i,j}}(t),\ i = 2{,}3; \quad (27)$$

$$\hat{u}_i(x_i,t) = \sum_{j=0}^{N_2} \varphi_{i,j}(\xi_i)\, q_{u_{i,j}}(t),\ i = 2{,}3, \quad (28)$$

где $q_{y_{i,j}}(t)$ и $q_{u_{i,j}}(t)$ – обобщенные координаты исследуемой системы тяги; $\psi_{i,j}(\xi_i)$ и $\varphi_{i,j}(\xi_i)$ – соответствующие пробные функции, которые удовлетворяют однородным граничным условиям и вышеописанным уравнениям связи.

Выводы. Полученная на основе принципа Гамильтона математическая модель тяговой системы учитывает поперечное и продольное перемещение троса. Полученные уравнения и граничные условия показывают, что при натяжении компенсационного троса амплитуды продольных и поперечных колебаний будут незначительными в случае, когда компенсационный трос находится в свободном подвешенном состоянии и компенсирует подъемный трос, дополняя друг друга.

Предложенный алгоритм исследования динамического анализа тяговой системы с конечным натяжением позволит моделировать и проектировать приводы грузоподъемных устройств судна с более высокой точностью, что является необходимым при автоматизации оборудования.

Список использованной литературы:

1. *Тё А.М.* Эксплуатация судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств. Л. 2014. 86 с.
2. *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.
3. *Бабаков И.М.* Теория колебаний. М.: Наука, 1976. 592 с.
4. *Ананьев И.В.* Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем. М.-Л.: ОГИЗ, Гостехиздат, 1946. 223 с.
5. *Бидерман В.Л.* Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. 408 с.
6. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле. М.: Машиностроение, 1985. 472 с.
7. Вибрации в технике. Справочник в 6 т. / Под ред. В.В. Болотина. М.: Машиностроение, 1979. Т. 1. 352 с.
8. *Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А.* Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974. 503 с.
9. *Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А.* Асимптотические решения уравнений в частных производных. К.: Вища школа, 1976. 592 с.

10. *Фещенко С.Ф., Шкиль Н.И., Николенко Л.Д.* Асимптотические методы в теории линейных дифференциальных уравнений. К.: Наукова думка, 1966. 252 с.
11. *Цыфанский С.Л., Бересневич В.И., Оке А.Б.* Нелинейные и параметрические колебания вибрационных машин технологического назначения. Рига: Зинатне, 1991. 231 с.
12. *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. 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).
2. 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).
3. Babakov I.M. *Teoriya kolebanij* [Oscillation theory]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 592 p. (In Russian).
4. 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).
5. Biderman V.L. *Teoriya mekhanicheskih kolebanij* [Theory of mechanical vibrations]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 408 p. (In Russian).
6. Timoshenko S.P. *Kolebaniya v inzhenernom dele* [Fluctuations in engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ, 1985, 472 p. (In Russian).
7. Bolotin V.V. (ed.) *Vibracii v tekhnike. Spravochnik* [Vibration in engineering. Handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979, vol. 1, 352 p. (In Russian).
8. Bogolybov N.N., Mitropol'skii Y.A. Asimptoticheskie metody v teorii nelinejnyh kolebanij [Asymptotic methods in the theory of nonlinear oscillations]. Moscow, Nauka Publ., 1974, 503 p. (In Russian).
9. Bogolybov N.N., Mitropol'skii Y.A. *Asimptoticheskie resheniya uravnenij v chastnyh proizvodnyh* [Asymptotic solutions of partial differential equations]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1976, 592 p. (In Russian).
10. Feshchenko S.F., Shkil N.I., Nikolenko L.D. *Asimptoticheskie metody v teorii linejnyh differencial'nyh uravnenij* [Asymptotic methods in the theory of linear differential equations]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1966, 252 p. (In Russian).
11. Tsyfansky S.L., Beresnevich V.I., Oke A.B. *Nelinejnye i parametricheskie kolebaniya vibracionnyh mashin tekhnologicheskogo naznacheniya* [Non-linear and parametric oscillations of vibrating technological machines]. Riga, Zinatne Publ., 1991, 231 p. (In Russian).
12. 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 621.43.018.7:536.8 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_47**

Конюков В.Л., Горбенко А.Н., Кукушкин М.Ю.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ СУДОВОГО ДВУХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ ОТ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ НА ВЫПУСКЕ

Аннотация. В работе рассматривается влияние величины противодавления на выпуске газо-воздушного тракта на эксплуатационные параметры судового двухтактного дизеля. Исследование выполнено для типичного судового дизеля морского транспортного судна. Анализ проведен путем серии численных расчетов рабочего процесса двигателя на различных нагрузочных режимах и при различных сопротивлениях на выпуске газов. Расчетный анализ показал, что повышение аэродинамического сопротивления потоку газов на выпуске приводит к заметному росту его тепловой напряженности, что влечет за собой снижение ресурса двигателя. Одновременно с этим, имеет место некоторое снижение механической напряженности работы двигателя. Сопоставление результатов данной работы с предыдущими исследованиями приводит к качественному выводу о том, что чем выше степень наддува дизеля, тем ниже его чувствительность к величине противодавления на выпуске. Результаты работы будут полезны при проектировании и эксплуатации дизелей.
Ключевые слова: судовой двухтактный дизель, напряженность, противодавление на выпуске.

Konyukov V.L., Gorbenko A.N., Kukushkin M.Y.

DEPENDENCE OF TENSION INDICATORS OF A MARINE TWO-STROKE DIESEL ENGINE ON THE OUTLET BACKPRESSURE

Abstract. The paper considers the influence of the outlet backpressure value of the gas-air path on the operational parameters of a marine two-stroke diesel engine. The study was carried out for a typical marine diesel engine of a marine transport vessel. The analysis was carried out by means of a numerical calculations series of the engine working process at various load conditions and at various resistances at the gas outlet. The computational analysis showed that an increase in the aerodynamic resistance to the gases flow at the outlet leads to a noticeable increase in its thermal tension, which entails a decrease in the engine resource. At the same time, there is a slight decrease in the mechanical tension of the engine. Comparison of the results of this work with previous studies leads to a qualitative conclusion that the higher the degree of supercharging of a diesel engine is, the lower is its sensitivity to the value of backpressure at the outlet. The results of the work will be useful in the design and operation of diesel engines.
Keywords: marine two-stroke diesel engine, tension, outlet backpressure.

Введение. Эксплуатационная эффективность работы судовых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в существенной степени зависит от противодавления на выпуске отработавших газов. Возрастание аэродинамического сопротивления выхлопных газов приводит к сокращению ресурса ДВС из-за роста тепловой напряженности его работы, а также к увеличению удельного расхода топлива [1-6].

Традиционно в судовых дизельных установках для повышения их

экономичности применяется утилизация тепловой энергии выпускных газов [6, 7, 8]. Для этого в выпускном тракте ДВС устанавливается утилизационный котел, который частично преобразует тепловые потери двигателя в полезное тепло водяного пара, либо нагретой воды. Кроме того, в современных условиях жестких требований к экологичности морского транспорта, на выпускной системе ДВС часто устанавливают дополнительные устройства для очистки и/или нейтрализации токсичных компонентов выпускных газов двигателей [9, 10, 11].

Указанные факторы неизбежно приводят к росту величины противодавления на выпуске. Это, в свою очередь, отрицательно отражается на технических характеристиках двигателя. А именно, имеет место возрастание тепловой напряженности ДВС, снижение его ресурса, увеличение эксплуатационных расходов на техническое обслуживание, ремонт и потребление топлива и масла [1-8].

Целью исследования является количественный и качественный анализ зависимости тепловой и механической напряженности судового двухтактного дизеля от величины противодавления на выпуске. Анализ выполнен на примере типичного дизеля, широко применяемого на морском флоте.

Материалы и методы исследования. Анализ проводился на основе известной математической модели теплового процесса судового дизеля с наддувом [12, 4, 5, 6] и др. Для расчетного исследования использовалась программа численного расчета рабочего процесса ДВС, разработанная на кафедре судовых энергетических установок КГМТУ, см., например, [7]. Особенностью алгоритма данной расчетной программы является то, что термодинамические процессы в цилиндрах ДВС определяются путем численного решения соответствующей системы дифференциальных уравнений. В тоже время процессы газообмена в дизеле рассчитываются на основе алгебраической модели с использованием эмпирических коэффициентов.

Анализ влияния противодавления на параметры ДВС выполнен на примере

судового двухтактного дизеля с наддувом марки B-W 7S50MC. Основные конструктивные параметры дизеля: число цилиндров – 7, диаметр поршня – 0,5 м, ход поршня – 1,91 м, действительная степень сжатия – 12,6. Основные параметры номинального режима работы (согласно технической эксплуатации дизеля и протоколов испытаний): эффективная мощность – 10010 кВт, частота вращения коленчатого вала – 130 об/мин, давление наддува – 0,37 МПа. Данный дизель является типичным и широко распространен в качестве главных двигателей на морском транспорте.

Тепловая напряженность судового дизеля представляет собой совокупность параметров, характеризующих уровень температур и термомеханических напряжений в деталях и узлах трения его механизма [1-6]. Например, превышение температуры донышка поршня сверх критического значения будет приводить к преждевременной поломке поршня до назначенного срока службы. Поршневые компрессионные кольца также могут выходить из строя при превышении допускаемых температур. Кроме того, критическим является уровень температур масляной пленки на внутренней поверхности цилиндра ДВС из-за опасности лакообразования смазочного масла.

Контроль тепловой и механической напряженности работы в процессе эксплуатации ДВС представляет собой сложную задачу. Для полноценного решения этой задачи требуется чрезмерно большое количество датчиков температуры, давлений и деформации, а также коммутационной аппаратуры на двигателе. Поэтому в реальной эксплуатации для оценки тепловой и механической напряженности ДВС, как правило, применяются косвенные показатели (критерии).

Одним из косвенных показателей теплонапряженности ДВС является средний тепловой поток $q_{ср}$, проходящий из камеры сгорания через стенки цилиндра (поршня, внутренняя поверхность втулки цилиндра и крышки цилиндра). Величина $q_{ср}$ определяется выражением [2-6]:

$$q_{ср} = \alpha_{Гср}\left(T_{Гср} - T_{ст}\right), \quad (1)$$

где $\alpha_{Гср}$ – средний коэффициент теплоотдачи от газов к стенке;

$T_{Гср}$ – средняя температура газов за время цикла;

$T_{ст}$ – средняя температура поверхностей стенок цилиндра со стороны газов.

Параметр $T_{Гср}$ вычисляется по индикаторной диаграмме рабочего цикла. Для вычисления коэффициента теплоотдачи $\alpha_{Гср}$ может быть использована известная эмпирическая формула Эйхельберга [4-6]:

$$\alpha_{Гср} = 0{,}24\sqrt[3]{c_m}\,\sqrt{p_{Гср}\,T_{Гср}}\,, \quad (2)$$

где c_m – средняя по времени скорость поршня;

$p_{Гср}$ – осредненное давление газов в цилиндре за время цикла.

Для оценки теплонапряженности поршня в эксплуатации ДВС Костиным А.К. был предложен и обоснован следующий косвенный показатель, основанный на теории теплопередачи и обобщении экспериментальных данных [2-6]:

$$K_П = b\,c_m^{0,5}\left(\frac{D}{\eta_H p_s}\right)^{0,38}\left(p_e g_e \frac{T_s}{T_0}\right)^{0,88}, \quad (3)$$

где b – коэффициент тактности двигателя (b = 1,0 для четырехтактного двигателя, b = 1,78 для двухтактного двигателя);

D – диаметр цилиндра;

η_H – коэффициент наполнения цилиндра;

p_s, T_s – давление и температура воздуха в воздушном ресивере на входе в цилиндр, соответственно;

p_e – среднее эффективное давление;

g_e – удельный эффективный расход топлива.

Критерий (3) весьма адекватно учитывает как конструктивные параметры двигателя (тактность, размеры цилиндра, ход поршня), так и параметры его

эксплуатации (частота вращения, давление наддува, удельный расход топлива, параметры окружающей среды).

Положительным свойством критерия теплонапряженности поршня (3) является то, что его величина может быть определена непосредственно в процессе эксплуатации ДВС по показаниям штатных измерительных приборов. Результаты экспериментов показывают, что для заданного конкретного дизеля имеет место линейная корреляция между температурой поршня и значением критерия его теплонапряженности. Причем эта линейная пропорциональность в целом сохраняется на всех режимах эксплуатации ДВС.

Одним из ответственных элементов ДВС является втулка цилиндра, которая в современных двигателях подвержена интенсивному воздействию высоких температур и давлений рабочего тела. Тепловая напряженность цилиндровой втулки ДВС может быть количественно определена с помощью косвенного показателя, предложенного Камкиным С.В. [4]:

$$K_{Ц} = p_i \, n \, \delta \, T_s / \eta_H \, p_s \, , \qquad (4)$$

где n – частота вращения вала двигателя, об/мин;

δ – толщина стенки цилиндра.

Традиционно в процессе эксплуатации для оценки общей тепловой напряженности дизелей применяется такой критерий как температура выпускных газов, измеряемая на выходе каждого из цилиндров. Данный косвенный показатель удобен в эксплуатации, поскольку дает возможность определения состояния всех цилиндров ДВС. Кроме того, этот параметр имеет приемлемую чувствительность к техническому состоянию узлов ДВС.

Для каждого конкретного дизеля из технической документации и стендовых испытаний известна величина температуры выпускных газов для номинального режима работы. Эта величина принимается за предельно допустимое значение данного показателя для длительной работы ДВС без

потери его ресурса.

Важное значение имеет механическая напряженность двигателя, которая является обобщенным понятием, характеризующим всю совокупность механических напряжений и давлений в узлах трения ДВС под действием механических нагрузок. Механическая напряженность двигателя непосредственно влияет на долговечность и работоспособность деталей и узлов ДВС. Полноценный текущий контроль уровня механической напряженности двигателя трудно реализуем из-за технических сложностей. Поэтому в реальной эксплуатации механическую напряженность оценивают по косвенным параметрам (критериям).

К общепринятым критериям механической напряженности относятся: максимальное давление рабочего цикла p_z; степень повышения давления в цилиндре $\lambda = p_z/p_c$; максимальная скорость нарастания давления $(dp/d\varphi)_{max}$ [2-6]. Наибольшее внимание обычно уделяться критерию p_z, превышение которого над номинальным значением не допускается для длительной работы ДВС.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе выполнен анализ работы типичного судового главного двигателя 7S50MC, широко применяемый на морских судах. Основные технические параметры данного двигателя и методика исследования приведены выше. Исследование проводилось путем выполнения серии численных расчетов рабочего процесса двигателя со штатным и увеличенным сопротивлением на выпуске газов. При этом для расчетов штатного дизеля, помимо прочего, использовались результаты его стендовых испытаний.

В процессе анализа было принято, что двигатель работает по винтовой характеристике при неизменном положении рейки топливного насоса. Аэродинамическое сопротивление на выпуске газов (противодавление) Δp в ходе анализа варьировалось в диапазоне от 0,002 до 0,050 МПа. Помимо этого, было принято, что компрессор газотурбонагнетателя (ГТН) на всех режимах работает устойчиво.

Для корректности анализа результаты расчетов представлены в виде зависимостей от относительно (безразмерного) противодавления на выпуске:

$$\Delta\bar{p} = \Delta p / p_T , \tag{5}$$

где Δp, p_T – противодавление на выпуске газов ДВС и давление перед турбиной ГТН, соответственно.

Корректность представления и анализа зависимостей параметров ДВС в функции от безразмерного параметра $\Delta\bar{p}$ вытекает из упрощенного уравнения баланса мощностей компрессора и турбины идеального ГТН, в котором расходы газа и воздуха приняты одинаковыми (что близко с реальностью) [12, 4]. Исходя из этого относительное противодавление на выпуске можно представить в виде следующей приближенной зависимости:

$$\Delta\bar{p} = 1 - \frac{T_0}{T_T}\left(\pi_K - 1\right) - \frac{p_0}{p_T} , \tag{6}$$

где $\pi_K = p_s/p_0$ – степень повышения давления в компрессоре ГТН.

Из выражения (6) следует, что величина параметра $\Delta\bar{p}$ связана с параметрами воздуха и газов в турбине, компрессоре и двигателе.

Ниже представлены результаты серии численных расчетов судового двухтактного дизеля. Относительное выпускное сопротивление $\Delta\bar{p}$ в расчетах увеличивалось с 0,051 до 0,1351.

Как показали расчеты, рост выпускного сопротивления $\Delta\bar{p}$ приводит к снижению относительной мощности турбины ГТН на 35 %. Вследствие этого, аналогично снижается также мощность компрессора ГТН. Отметим, что мощность турбонагнетателя согласно традиционной методике определяется относительно индикаторной мощности дизеля.

Из физико-технических соображений понятно, что при падении мощности

компрессора неизбежно снижается и его производительность по подаче воздуха. Это, в свою очередь, влечет за собой снижение коэффициента избытка воздуха $\alpha_г$ (при постоянной цикловой подаче топлива). Зависимость $\alpha_г$ от относительного противодавления $\Delta\bar{p}$ показана в виде графика на рисунке 1. Согласно расчетам величина $\alpha_г$ для данного дизеля снижается на 21% в результате увеличение противодавление $\Delta\bar{p}$ на выпуске в указанном диапазоне.

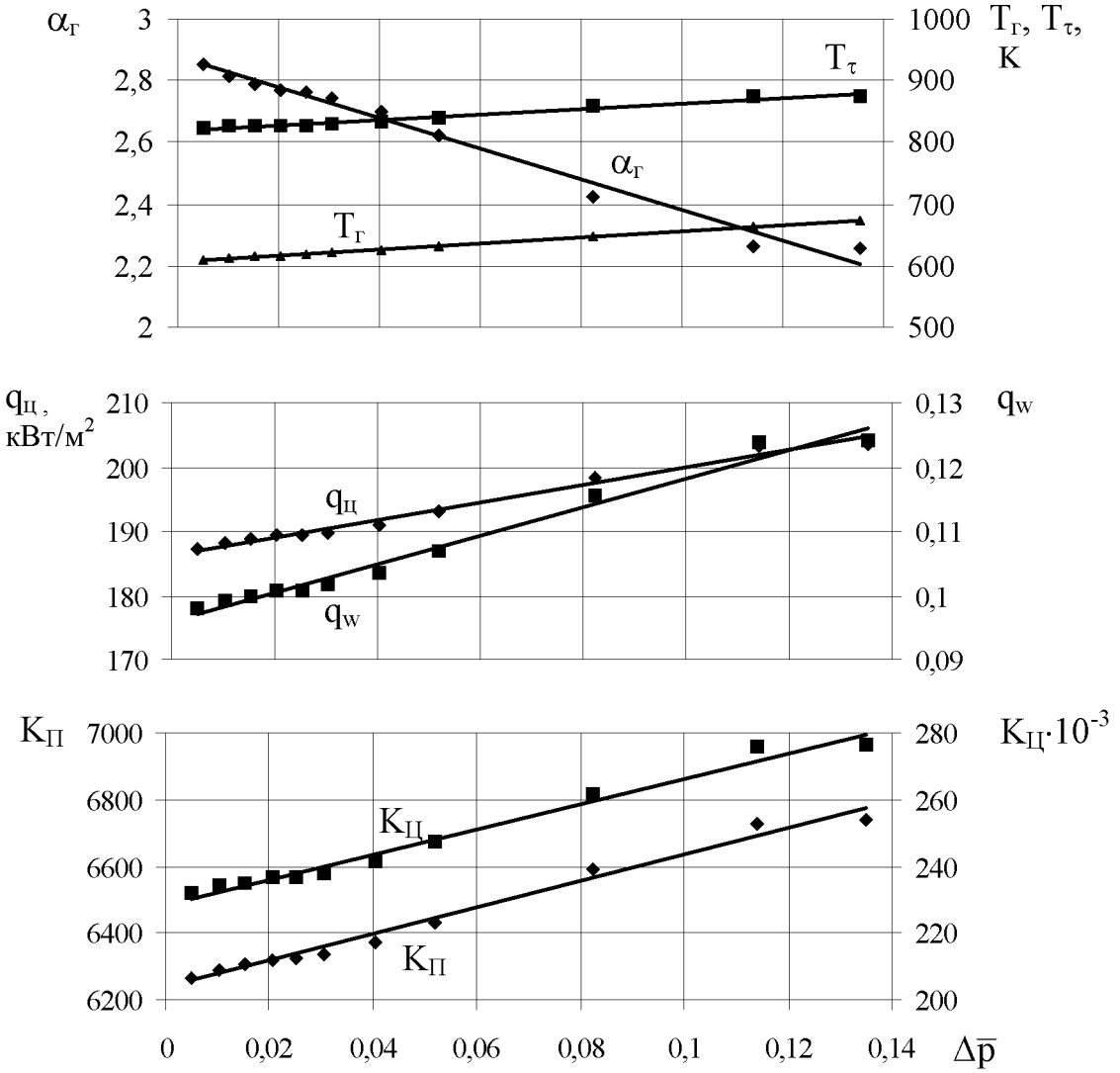

Рисунок 1 – Зависимость показателей тепловой напряженности судового дизеля 7S50MC от относительного сопротивления на выпуске $\Delta\bar{p}$

Снижение $\alpha_г$ приводит к росту температуры газа по рабочему циклу ДВС. Величина средней по времени рабочего цикла температуры Tτ в цилиндре

возросла на 6,4 % (рис. 1). Одновременно с этим, температура рабочего тела T_z повысилась на 159 К, что свидетельствует о существенном увеличении теплонапряженности двигателя. Наряду с этим температура $T_Г$ газо-воздушной смеси за цилиндром в выпускном коллекторе (вследствие смешивания газов с продувочным воздухом) возрастает на 10 % (на 62 К). Из полученных данных, очевидно, что теплонапряженности двигателя увеличивается.

С повышением средней по времени температуры газов в цилиндре происходит увеличение тепловой мощности, передаваемой в охлаждающую воду. Зависимость среднего по циклу теплового потока через стенки цилиндра $q_ц$ от сопротивления на выхлопе газов показана на рисунке 1. Из результатов расчетов видно, что рост параметра $\Delta\bar{p}$ приводит к повышению теплового потока $q_ц$ на 8,7 %. Отметим, что интенсивность повышения $q_ц$ превышает интенсивность прироста T_τ вследствие того, что при повышении температуры газа происходит заметное увеличение коэффициента теплоотдачи от газа к деталям цилиндра. Вследствие этого, при указанном повышении $\Delta\bar{p}$ суммарная относительная потеря теплоты ДВС в охлаждающую воду q_w возрастает на 27% (см. рис. 1). Подобное увеличение q_w, помимо прочего, связано с уменьшением мощности дизеля на 5,8%.

Расчетный анализ позволил установить зависимость критерия тепловой напряженности поршня дизеля $К_п$ (3) от $\Delta\bar{p}$. Данная зависимость для исследуемого дизеля представлена на рис. 1. Увеличение противодавления $\Delta\bar{p}$ вызвало повышение $К_п$ на 7,5 %. С учетом физико-технического смысла данного показателя, допустимо предположить, что значения температур материала поршня в характерных точках увеличится при этом также на 7,5%. С другой стороны, повышение сопротивления на выпуске газов до 0,008 МПа ($\Delta\bar{p}$ =0,02057) практически не вызывает заметного увеличения тепловой напряженности поршня, поскольку его температура в характерных точках повышается менее, чем на 1%.

В ходе расчетного анализа также исследовалась теплонапрженность

втулки цилиндра ДВС. Результаты расчетов показали (см. рис. 1), что критерий тепловой напряженности втулки цилиндра $К_ц$ (4) увеличивается на 19 % в результате роста противодавления на выпуске газов.

Помимо тепловой напряженности важное значение имеет также механическая напряженность работы двигателя. В ходе расчетного анализа механическая напряженность количественно оценивалась по следующим косвенным показателям: максимальное давление рабочего цикла p_z, среднее эффективное давлением p_e, среднее давлением по времени цикла p_τ, степень повышения давления при сгорании $\lambda = p_z/p_c$, максимальная скорость возрастания давления в цилиндре $(dp/d\varphi)_{max}$. Результаты выполненного численного анализа механической напряженности работы ДВС представлены на рисунке 2.

Расчеты показали, что максимальное давление p_z снижается с 14,9 до 12,5 МПа в результате повышения противодавления на выпуске. При этом также уменьшаются значения p_e и p_τ. Снижение давлений p_e и p_τ объясняется снижением массы воздушного заряда в цилиндре.

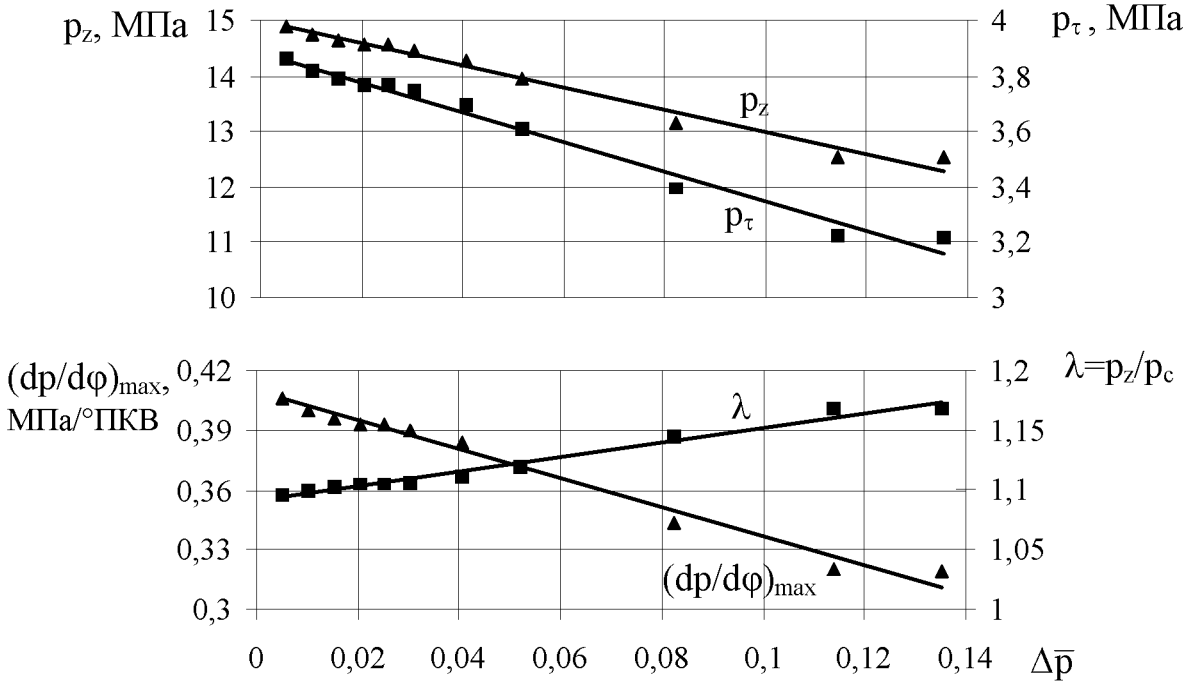

Рисунок 2 – Зависимость показателей механической напряженности судового дизеля 7S50MC от относительного сопротивления на выпуске $\Delta\bar{p}$

Увеличение сопротивления в газоотводящем тракте ДВС приводит к снижению скорости нарастания давления в цилиндре в период сгорания $(dp/d\varphi)_{max}$ (см. рис. 2). Данный характер зависимости можно объяснить снижением скорости сгорания топлива при пониженном коэффициенте избытка воздуха.

Одновременно с этим, степень повышения давления теплового цикла $\lambda=p_z/p_c$ увеличивается (см. рис. 2). Последнее обстоятельство связано с тем, что имеет место понижение давления сжатия p_c в связи с падением степени повышения давления π_K в компрессоре ГТН.

Выводы. По результатам выполненного исследования можно сделать следующие заключения.

1. Анализ показал, что повышение аэродинамического сопротивления на выпуске судового двухтактного дизеля 7S50MC (с высоким наддувом) приводит к заметному росту его тепловой напряженности и к некоторому снижению механической напряженности. При этом напряженность ДВС оценивались по общепринятым косвенным показателям (критериям). Отметим, также, что расчетный анализ проводился в широком диапазоне изменения противодавления $\Delta\overline{p}$.

2. Увеличение противодавления на выпуске дизеля в пределах до Δp=0,008 МПа ($\Delta\overline{p}$ = 0,02057) не вызывает снижения его эксплуатационных показателей и не приводит к существенному повышению тепловой напряженности двигателя.

3. Следует отметить, что аналогичное исследование, выполненное ранее для четырехтактного дизеля с наддувом [7], показало, что для указанного типа ДВС тепловая и механическая напряженности изменяются более значительно. Сопоставления результатов исследований приводит к выводу о том, что дизели с более высокой степенью наддува являются менее чувствительными к росту противодавления на выпуске отработавших газов.

Результаты данного исследования будут полезны при проектировании, техническом обслуживании и эксплуатации судовых главных и вспомогательных двигателей.

Список использованной литературы:

1. *Возницкий И.В. Иванов Л.А.* Предотвращение аварий судовых двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие. М: Транспорт, 1971. 191 с.
2. *Гаврилов В.С., Камкин С.В., Шмелев В.П.* Техническая эксплуатация судовых дизельных установок. М.: Транспорт, 1985. 288 с.
3. *Олейников Б.Н.* Техническая эксплуатация дизелей судов флота рыбной промышленности: учеб. пособие для студентов вузов. М: Агропромиздат, 1986. 269 с.
4. *Фомин Ю.А., Горбань А.И., Добровольский В.В. и др.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л.: Судостроение, 1989. 344 с.
5. *Лебедев О.Н., Сомов В.А., Калашников С.А.* Двигатели внутреннего сгорания речных судов: учебник. М: Транспорт, 1990. 219 с.
6. *Самсонов В.И., Худов Н.И.* Двигатели внутреннего сгорания морских судов: учебник. М.: Транспорт, 1990. 368 с.
7. *Конюков В.Л., Богатырева Е.В., Лубянко В.Н.* Анализ эксплуатационных характеристик двигателя 6 ЧНСП 18/22 при различном сопротивлении выпускного тракта // Рыбное хозяйство Украины. 2013. № 4. С. 40-44.
8. *Конюков В.Л., Горбенко А.Н.* Анализ эксплуатационной напряженности двухтактного дизеля при различном противодавлении на выпуске // Морские технологии: проблемы и решения – 2017: Сборник трудов по материалам научно-практических конференций преподавателей, аспирантов и сотрудников ФГБОУ ВО «КГМТУ». Керчь: КГМТУ, 2017. С. 222-231. URL: http://www.kgmtu.ru/documents/nauka/morskie_tekhnologii2017.pdf (дата обращения: 04.03.2022).
9. *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.
10. *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.
11. Российский морской регистр судоходства. Руководство по применению положений международной конвенции МАРПОЛ 73/78. Санкт-Петербург, 2021. 131 с.
12. Дизели. Справочник / Под ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. Л.: Машиностроение, 1977. 480 с.

References:

1. Vozniczkij I.V., Ivanov L.A. *Predotvrashhenie avarij sudovykh dvigatelej vnutrennego sgoraniya* [Preventing accidents of marine internal combustion engines]. Moscow, Transport Publ., 1971, 191 p. (In Russian).
2. Gavrilov V.S., Kamkin S.V., Shmelev V.T. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya sudovykh dizelnykh ustanovok* [Technical operation of marine diesel installations]. Moscow, Transport Publ., 1985, 288 p. (In Russian).
3. Olejnikov B.N. *Tekhnicheskaya ekspluatacziya dizelej sudov flota rybnoj promyshlennosti* [Technical exploitation of diesels of vessels of fishing industry fleet]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986, 269 p. (In Russian).
4. Fomin Yu.A., Gorban A.I., Dobrovolsky V.V. et al. *Sudovy`e dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Marine internal combustion engines]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1989, 344 p. (In Russian).
5. Lebedev O.N., Somov V.A., Kalashnikov S.A. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya rechnykh sudov* [Internal combustion engines of river vessels]. Moscow, Transport Publ., 1990, 219 p. (In Russian).
6. Samsonov V.I., Hudov N.I. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya morskih sudov* [Marine internal combustion engines]. Moscow, Transport Publ., 1990, 368 p. (In Russian).

7. Konyukov V.L., Bogatyreva E.V., Lubyanko V.N. Analiz ekspluatacionnyh harakteristik dvigatelya 6 CHNSP 18/22 pri razlichnom soprotivlenii vypusknogo trakta [Analysis of the operational characteristics of the engine 6 CNSP 18/22 with different resistance of the exhaust gas tract]. *Rybnoe hozyajstvo Ukrainy* [Fishing industry of Ukraine], 2013, iss. 4, pp. 40-44. (In Russian).
8. Konyukov V.L., Gorbenko A.N. Analiz e`kspluatacionnoj napryazhennosti dvuxtaktnogo dizelya pri razlichnom protivodavlenii na vy`puske [Analysis of the operational tension of a two-stroke diesel engine with different back pressure at the outlet]. Sbornik trudov po materialam nauchno-prakticheskih konferencij prepodavatelej, aspirantov i sotrudnikov FGBOU VO «KGMTU» «Morskie tekhnologii: problemy i resheniya – 2017» [Collection of works based on materials of scientific and practical conferences of teachers, graduate students and employees of FSBEI HE “KSMTU” “Marine Technologies: Problems and Solutions – 2017”]. Kerch, KSMTU Publ., 2017, pp. 222-231. (In Russian). URL: http://www.kgmtu.ru/documents/nauka/morskie_tekhnologii2017.pdf (accessed 04.03.2022).
9. 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).
10. 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).
11. *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).
12. Vanscheidt V.A., Ivanchenko N.N., Kollerov L.K. (eds.) *Dizeli. Spravochnik*. [Diesels. Handbook.]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1977, 480 p. (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
Горбенко Александр Николаевич	канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 gan0941@yandex.ru
Gorbenko Alexander Nikolaevich	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 gan0941@yandex.ru
Кукушкин Михаил Юрьевич	аспирант кафедры судовых энергетических установок Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 mihail_kukushkin.97@mail.ru
Kukushkin Mikhail Yuryevich	postgraduate at the Department of ship power plants Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 mihail_kukushkin.97@mail.ru

УДК 621.43.018.7:536.8 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_61**

Конюков В.Л.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ВОЗДУХА ПРИ РАЗЛИЧНОМ ПРОТИВОДАВЛЕНИИ НА ВЫПУСКЕ ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДИЗЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПО НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

Аннотация. Использование в системах газоотвода судовых дизельных установок дополнительного оборудования, снижающего вредные выбросы в окружающую среду, существенно повышают давление за газовой турбиной турбокомпрессора и, соответственно, за цилиндром дизеля. Это отражается, в первую очередь, на мощности турбины, давлении наддува и эксплуатационных параметрах дизеля. Одним из эффективных способов поддержания и улучшения проектных характеристик дизеля является использование регулируемого соплового аппарата турбокомпрессора обеспечивающего непосредственное воздействие на расход воздуха. Объектом исследования являлся четырехтактный дизель, работающий по нагрузочной характеристике. В работе приведены зависимости эксплуатационных параметров дизеля от его нагрузки для различных противодавлений на выпуске. Диапазон воздействия на расход воздуха или на давление наддува выполнялся с учетом предельно допустимых значений ограничивающих показателей. В качестве основных ограничивающих показателей были приняты максимальное давление горения топлива и степень понижения давления при продувке цилиндров.
Ключевые слова: дизель, турбонаддувочный агрегат, система выхлопа, максимальное давление цикла, перепад давлений на продувку цилиндров, противодавление на выпуске, регулируемый сопловой аппарат.

Konyukov V.L

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF DIRECT CONTROL OF AIR FLOW WITH DIFFERENT BACK PRESSURE ON THE OUTPUT OF A FOUR-STROKE DIESEL ENGINE OPERATING UNDER LOAD CHARACTERISTICS

Abstract. The use of additional equipment in the exhaust systems of marine diesel installations that reduces harmful emissions into the environment significantly increases the pressure behind the turbocharger gas turbine and, accordingly, behind the diesel cylinder. This is reflected, first of all, in the turbine power, boost pressure and operating parameters of the diesel engine. One of the effective ways to maintain and improve the design characteristics of a diesel engine is the use of an adjustable turbocharger nozzle apparatus that provides a direct impact on air consumption. The object of the study was a four-stroke diesel engine operating according to the load characteristic. The paper presents the dependences of the operating parameters of the diesel engine on its load for various back pressures at the outlet. The range of effects on air flow or boost pressure was carried out taking into account the maximum permissible values of limiting indicators. The maximum fuel combustion pressure and the degree of pressure reduction during cylinder purging were taken as the main limiting indicators.
Keywords: diesel, turbocharger, exhaust system, cycle peak pressure, pressure difference for blowing of cylinders, back pressure on discharge, adjustable nozzle apparatus.

Введение

Первоочередной задачей развития транспортного дизелестроения на

современном этапе является снижение вредных выбросов в окружающую среду с отработавшими газами [1]. Это достигается путем дальнейшего совершенствования рабочего процесса двигателя, применения альтернативных топлив, присадок к топливу, использования систем селективного каталитического восстановления [2]. Новые нормы IMO предусматривают существенное снижение вредных выбросов в регулируемых зонах (ECA) [3]. Использование фильтров-нейтрализаторов для снижения вредных компонентов в отработавших газах могут существенно повысить газодинамическое сопротивление системы газоотвода, так как они дополняют традиционные газовыпускные системы. Таким образом, суммарное газодинамическое сопротивление таких систем может превысить 10 кПа [2].

Проведенные исследования дизелей показали зависимость их эксплуатационных параметров от противодавления на выпуске, практически, во всем диапазоне эксплуатационных режимов [4]. Повышение противодавления на выпуске ухудшает эксплуатационные показатели двигателя, в связи с чем, не рекомендуется превышать этот показатель более 10 кПа [5], [6].

Улучшить эксплуатационные показатели судовых дизелей можно путем непосредственного воздействия на расход воздуха с помощью регулируемого соплового аппарата (РСА) турбокомпрессора [7]. Однако, при повышении давления наддува увеличивается максимальное давление цикла p_z, превышение значения которого, установленного для режима полной нагрузки, не допускается [8]. В связи с этим, наиболее эффективное использование РСА возможно на режимах долевых нагрузок, когда имеется резерв для повышения p_z до значения номинального режима. В свою очередь, повышение давления наддува на режимах долевых нагрузок вызывает снижение перепада давления на продувку цилиндров, этот перепад давлений может выйти за пределы положительных значений, что приведет к обратному забросу продуктов сгорания топлива из выпускного коллектора в полость цилиндра [9]. При обратном забросе повышается нагарообразование на внутренних поверхностях втулки цилиндров

и органов газораспределения, это вызывает повышенный износ цилиндропоршневой группы. Таким образом, вторым ограничивающим фактором непосредственного воздействия на расход воздуха с помощью РСА является перепад давлений на продувку цилиндров, который должен оставаться положительным на всех эксплуатационных режимах [10].

Повышение давления наддува при непосредственном воздействии на расход воздуха с помощью РСА будет иметь место, когда лопатки поворачиваются в сторону уменьшения угла их установки. При этом понижается эффективный угол на выходе из соплового аппарата, который должен оставаться большим 8 град. В противном случае резко повышаются потери энергии при выходе потока из соплового аппарата, и снижается КПД турбины. Максимальный угол поворота лопаток РСА является следующим ограничивающим фактором воздействия РСА на расход воздуха.

Целью работы является исследование эксплуатационных параметров четырехтактного дизеля, работающего по нагрузочной характеристике с непосредственным воздействием на расход воздуха с помощью РСА турбокомпрессора для различных вариантов противодавления на выпуске.

Материалы и методы 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. Большой объём исследовательского материала не позволил включить аналогичные показатели дизеля для винтовой характеристики. 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 для различных вариантов противодавления на выпуске. Связь между параметрами рабочего процесса дизеля в исходном варианте и в варианте после поворота лопаток РСА на угол θ определялась по методике, приведенной в [11].

При работе главного двигателя по нагрузочной характеристике закономерности изменения эксплуатационных параметров, прежде всего, обусловлены постоянством частоты вращения, когда механические потери не зависят от нагрузки дизеля. В судовых дизелях изменение индикаторного КПД η_i определяется в основном изменениями двух составляющих относительных тепловых потерь: с выпускными газами и с охлаждающей водой. Снижение η_i в районе номинальных нагрузок связано с уменьшением коэффициента избытка воздуха при горении, так как увеличение подачи топлива не сопровождается соответствующим увеличением заряда воздуха [12].

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

$$\Delta\bar{p} = \Delta p / p_{00} \ , \qquad (1)$$

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.

При анализе эксплуатационных параметров определялись их относительные изменения, которые вычислялись по выражению

$$\bar{\delta}B = (B - B_0)/B_{00}, \qquad (2)$$

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

Использование энергии отработавших в цилиндрах дизеля газов для повышения мощности турбонаддувочного агрегата способствует повышению экономичности двигателя. Увеличение давления наддува при повороте лопаток РСА вызывает повышение максимального давления сгорания топлива p_z и снижение перепада давления на продувку цилиндров $e_т$.

Зависимости предельно допустимых значений угла поворота лопаток РСА θ, удовлетворяющих, перечисленным выше ограничительным факторам, приведены на рисунках 1 и 2. Из рисунка 1 следует, что при снижении относительной мощности дизеля от номинальной $\bar{N}_e$ = 1,0 до $\bar{N}_e$ = 0,25, изменение предельного угла поворота лопаток РСА составляет 6 град. для относительного

противодавления на выпуске $\Delta\bar{p}$ = 0,0035 и 4,8 град для $\Delta\bar{p}$=0,053. Таким образом, увеличение противодавления на выпуске снижает интенсивность изменения предельного угла поворота лопаток РСА. Для указанного диапазона изменения нагрузки дизеля эта разница составляет 1,2 град., что эквивалентно 6 % изменения эффективной площади проходного сечения соплового аппарата.

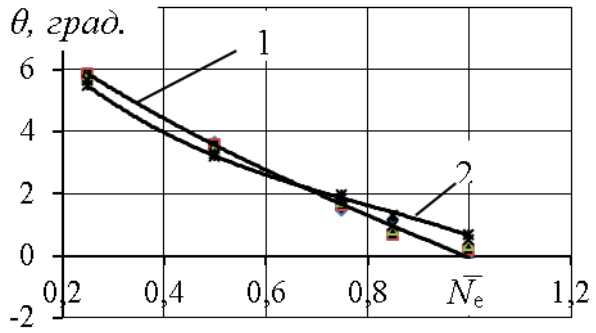

Рисунок 1 – Зависимость угла поворота лопаток РСА от нагрузки дизеля для различных $\Delta\bar{p}$: 1 – $\Delta\bar{p}$=0,0035; 2 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

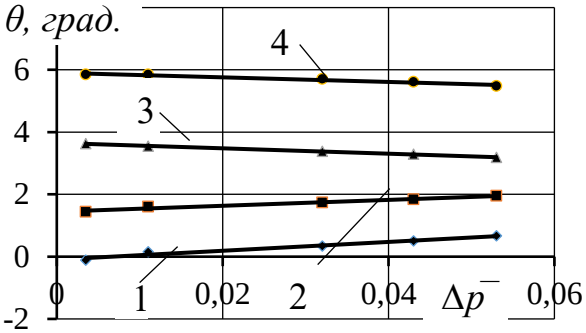

Рисунок 2 – Зависимость угла поворота лопаток РСА от $\Delta\bar{p}$ для различной нагрузки дизеля: 1 – $\bar{N}_e$=1,0; 2 – $\bar{N}_e$ = 0,75; 3 – $\bar{N}_e$ = 0,5; 4 – $\bar{N}_e$ = 0,25

Из рисунка 2 следует, что на режимах близких к номинальному, повышение противодавления на выпуске вызывает небольшое увеличение θ, а при малых нагрузках θ незначительно снижается. Следует отметить, что для всех рассмотренных режимов эффективный угол выхода из соплового аппарата был выше 8 град.

На рисунках 3 и 4 приведены зависимости предельно допустимого относительного изменения давления наддува $\delta\bar{p}_н$, вызванного поворотом лопаток РСА, для широкого диапазона относительных мощностей дизеля и различных противодавлений на выпуске. В дальнейшем, изменения эксплуатационных параметров дизеля рассматривались для максимально допустимых значений θ, соответствующих конкретному режиму работы и предельно допустимому $\delta\bar{p}_н$. Увеличение противодавления на выпуске приводит к снижению относительного

изменения давления наддува, вызванного максимально допустимым поворотом лопаток РСА, что указывает на уменьшение эффективности непосредственного воздействия РСА на эксплуатационные параметры дизеля. Так, уменьшение относительной мощности $\overline{N_e}$ от 1,0 до 0,25 для относительного противодавления на выпуске $\Delta\overline{p}$= 0,011 прирост давления наддува составляет 46 %, в то время как для $\Delta\overline{p}$=0,053 прирост давления наддува составляет 29 %.

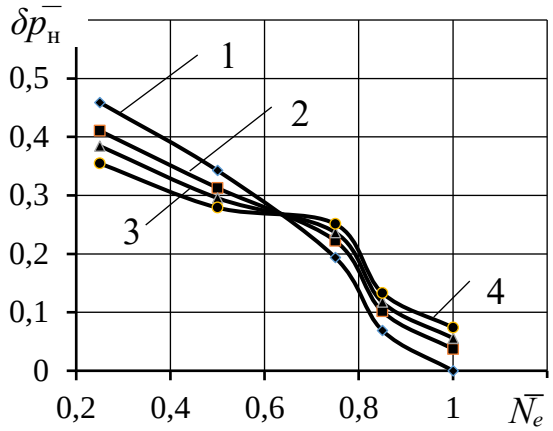

Рисунок 3 – Относительное изменение давления наддува при повороте лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных $\Delta\overline{p}$: 1 – $\Delta\overline{p}$= 0,011; 2 – $\Delta\overline{p}$=0,032; 3 – $\Delta\overline{p}$ = 0,043; 4 – $\Delta\overline{p}$=0,053

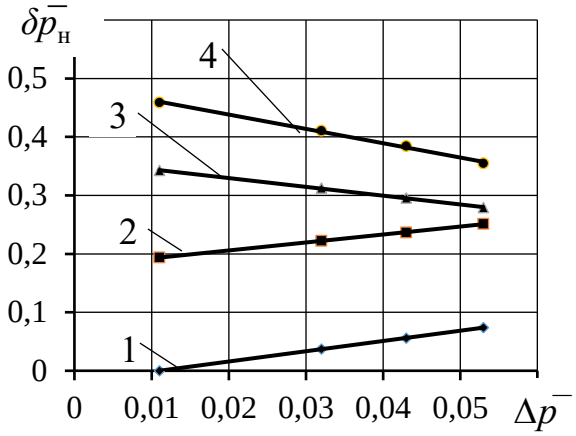

Рисунок 4 – Относительное изменение давления наддува при повороте лопаток РСА в зависимости от $\Delta\overline{p}$ для различной нагрузки дизеля: 1 – $\overline{N_e}$ = 1,0; 2 – $\overline{N_e}$=0,75; 3 – $\overline{N_e}$ = 0,5; 4 – $\overline{N_e}$ = 0,25

Следует отметить, что изменение нагрузки дизеля отражается на характере изменения $\delta\overline{p}_н$. В диапазоне относительных мощностей $\overline{N_e}$ от 1,0 до 0,65 увеличение $\Delta\overline{p}$ приводит к повышению относительного давления наддува, а в диапазоно мощностей $\overline{N_e}$ от 0,65 до 0,25 $\delta\overline{p}_н$ при этом снижается.

Относительное изменение удельного эффективного расхода топлива $\Delta\overline{g}_e$ в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске в исходном варианте и в варианте с максимально допустимым углом поворота лопаток РСА представлено на рисунке 5. Увеличение относительного

противодавления на выпуске дизеля от 0,011 до 0,053 вызывает для исходного варианта повышение g_e в интервале нагрузок $\overline{N}_e$ = 0,6…1,0, которое не превышает 2 %. Для варианта с РСА прирост g_e смещается в диапазон меньших относительных мощностей, при этом, повышение g_e не превышает 1 %. Непосредственное управление расходом воздуха с помощью РСА турбокомпрессора позволяет повысить экономичность дизеля. Следует отметить, что режим наибольшей экономичности дизеля смещается в область меньших нагрузок.

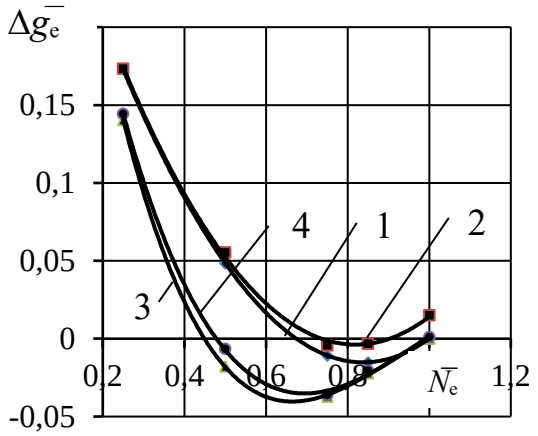

Рисунок 5 – Изменение $\Delta\overline{g}_e$ в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске в исходном варианте и в варианте с РСА: 1 – исходный вариант $\Delta\overline{p}$ = 0,011; 2 – исходный вариант $\Delta\overline{p}$=0,053; 3 – вариант с РСА $\Delta\overline{p}$=0,011; 4 – вариант с РСА $\Delta\overline{p}$ = 0,053

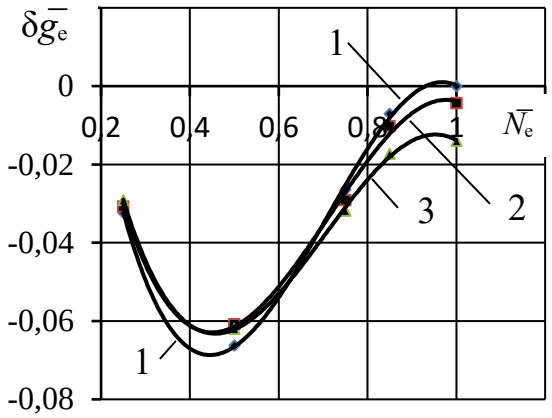

Рисунок 6 – Относительное снижение g_e, вызванное максимально допустимым поворотом лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске: 1 – $\Delta\overline{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\overline{p}$=0,032; 3 – $\Delta\overline{p}$ = 0,053

Относительное снижение удельного эффективного расхода топлива, вызванное максимально допустимым поворотом лопаток РСА для различных противодавлений на выпуске приведено на рисунке 6. Максимальный прирост экономичности дизеля соответствует относительной мощности $\overline{N}_e$ = 0,5, при этом для $\Delta\overline{p}$= 0,011 $\delta\overline{g}_e$ снижается на 6,6 %, а для $\Delta\overline{p}$= 0,053 $\delta\overline{g}_e$ уменьшается на 6,1 %. Таким образом, с повышением противодавления на выпуске эффективность РСА

для повышения экономичности дизеля уменьшается.

Повышение экономичности дизеля при увеличении давления наддува в результате поворота лопаток РСА ограничивалось предельным значением максимального давления сгорания топлива p_z и минимальной степенью понижения давления при продувке цилиндров $e_т$. Зависимости p_z и $e_т$ от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске приведены в работе [13].

Относительное изменение максимальной температуры цикла T_z, при предельно допустимом повороте лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске представлено на рисунке 7. Уменьшение относительной мощности дизеля сопровождается существенным снижением T_z по сравнению с исходным вариантом, которое при $\overline{N}_e$ = 0,5 может достигать 17 %. Такое изменение T_z, прежде всего, связано с резким увеличением коэффициента избытка воздуха при горении вызванным максимально допустимым поворотом лопаток РСА, который при $\overline{N}_e$ = 0,5 для противодавления на выпуске $\Delta\overline{p}$ = 0,011 увеличивается на 70 %. Зависимости относительного изменения коэффициента избытка воздуха при горении $\delta\overline{\alpha}$, вызванного максимально допустимым поворотом лопаток РСА, от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске приведены на рисунке 8.

Увеличение коэффициента избытка воздуха объясняется ростом мощности турбины при уменьшении ее эффективной площади проходногосечения вызванного поворотом лопаток РСА (рис. 9). При $\overline{N}_e$ = 0,5 для противодавления на выпуске $\Delta\overline{p}$ = 0,011 мощность турбины $N_т$ и, соответственно мощность компрессора, увеличивается на 100 % по сравнению с исходным вариантом. С повышением противодавления на выпуске интенсивность изменения $N_т$ снижается.

Изменение давления газа перед турбиной $p_т$ вызванное предельно допустимым поворотом лопаток РСА относительно исходного варианта для различных значений противодавления на выпуске приведено на рисунке 10. Исследования показали, что с ростом противодавления на выпуске

интенсивность изменения $p_т$ в зависимости от нагрузки дизеля снижается.

В результате поворота лопаток РСА уменьшается эффективная площадь проходного сечения турбины турбокомпрессора, что вызывает увеличение давления газа перед турбиной, повышение мощности турбины и компрессора, рост коэффициента избытка воздуха и, как следствие, снижение максимальной температуры горения топлива (см. рис. 7). Изменение T_z отражается на температуре рабочего тела по газовыпускному тракту дизеля.

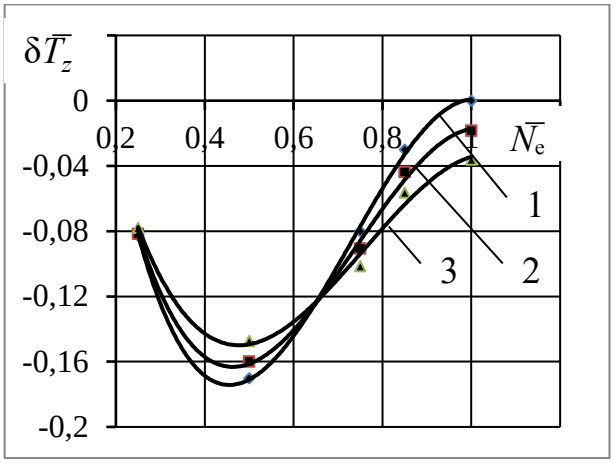

Рисунок 7 – Относительное изменение T_z, вызванное максимально допустимым поворотом лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\bar{p}$=0,032; 3 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

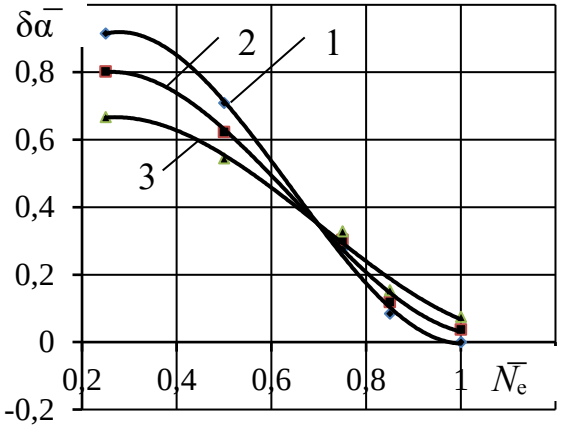

Рисунок 8 – Относительное изменение α, вызванное максимально допустимым поворотом лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\bar{p}$=0,032; 3 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

На рисунках 11 и 12 представлены зависимости относительного изменения температур газа перед турбиной $T_т$ и за турбиной $T_{тт}$ при максимально допустимым поворотом лопаток РСА.

Исследования показали, что при снижении относительной мощности $\bar{N}_e$ от 1,0 до 0,3 имеет место уменьшение температуры газа перед турбиной по сравнению с исходным вариантом. При дальнейшем понижении относительной мощности наблюдается незначительное повышение $T_т$. Это можно объяснить

уменьшением степени понижения давления при выпуске газов из цилиндра. Поворот лопаток РСА вызывает уменьшение температуры газа за турбиной во всем диапазоне исследованных режимов, что подтверждает повышение экономичности вследствие более полного использования теплоты в цикле дизеля.

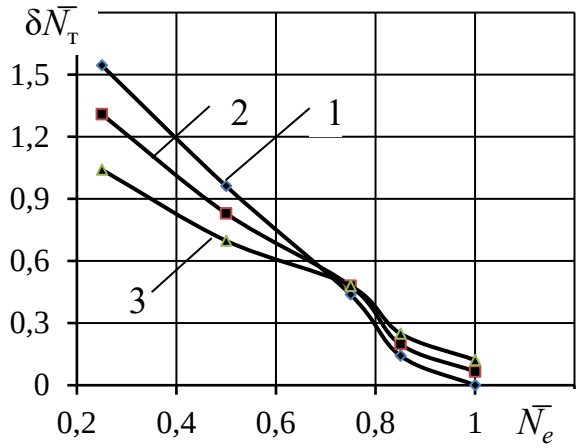

Рисунок 9 – Относительное изменение $N_т$, вызванное максимально допустимым поворотом лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\bar{p}$=0,032; 3 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

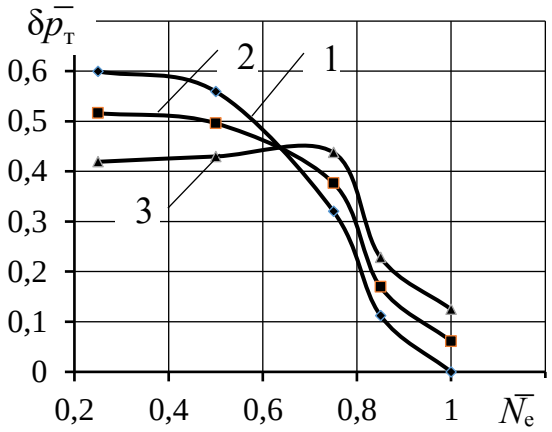

Рисунок 10 – Относительное изменение $p_т$, вызванное максимально допустимым поворотом лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\bar{p}$=0,032; 3 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

Выводы

В результате проведенных исследований получены зависимости предельно допустимых углов поворота лопаток РСА турбокомпрессора, соответствующие ограничительным значениям максимального давления цикла и степени понижения давления при продувке цилиндров дизеля для различных противодавлений на выпуске. Повышение сопротивления газовыпускной системы вызывает снижение максимально допустимого диапазона поворота лопаток РСА при непосредственном воздействии на расход воздуха.

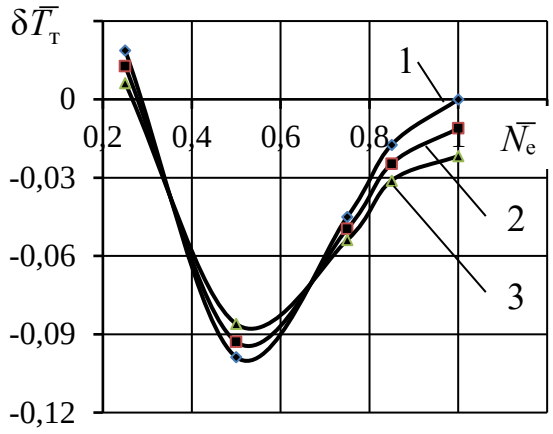

Рисунок 11 – Относительное изменение $T_т$, вызванное максимально допустимым поворотом лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\bar{p}$=0,032; 3 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

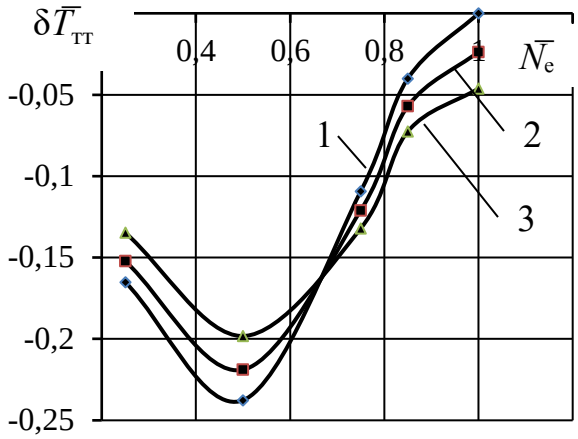

Рисунок 12 – Относительное изменение $T_{тт}$, вызванное максимально допустимым поворотом лопаток РСА в зависимости от нагрузки дизеля для различных противодавлений на выпуске: 1 – $\Delta\bar{p}$ = 0,011; 2 – $\Delta\bar{p}$=0,032; 3 – $\Delta\bar{p}$ = 0,053

Прирост экономичности дизеля, вызванный поворотом лопаток РСА, с повышением противодавлении на выпуске незначительно снижается. Увеличение сопротивления газовыпускной системы $\Delta\bar{p}$ от 0,011 до 0,053 для $\bar{N}_e$ = 0,5 вызвало увеличение относительного удельного эффективного расхода топлива на 0,5 %.

Анализ результатов исследований показал, что с ростом противодавления на выпуске диапазон изменения основных эксплуатационных параметров уменьшается, что свидетельствует о снижении эффективности использования РСА для улучшения эксплуатационных характеристик дизеля.

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. *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.
3. Российский морской регистр судоходства. Руководство по применению положений

международной конвенции МАРПОЛ 73/78. Санкт-Петербург, 2021. 131 с.
4. *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.
5. *Байков Б.П., Бордуков В.Г., Иванов П.В.* Турбокомпрессоры для наддува дизелей: справочное пособие. Л.: Машиностроение, 1975. 200 с.
6. *Ванштейдт В.А.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л.: Судостроение, 1977. 392 с.
7. *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. 88-104.
8. *Гаврилов В.С., Камкин С.В., Шмелев В.П.* Техническая эксплуатация судовых дизельных установок: учебное пособие. Изд. 3-е перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. 288 с.
9. *Лебедев О.Н., Сомов В.А., Калашников С.А.* Двигатели внутреннего сгорания речных судов. М.: Транспорт, 1990. 219 с.
10. *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.
11. *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.
12. *Камкин С.В., Возницкий И.В., Шмелев В.П.* Эксплуатация судовых дизелей: учебник. М.: Транспорт, 1990. 344 с.
13. *Конюков В.Л.* Анализ параметров четырехтактного дизеля, ограничивающих диапазон непосредственного управления расходом воздуха при различном противодавлении на выпуске // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2021. Вып. 4. С. 188-202.

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. 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).
3. *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).
4. 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).
5. 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).
6. Vanshejdt V.A. *Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Marine internal combustion engines]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1977, 392 p. (In Russian).
7. 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. 88-104. (In Russian).
8. 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).
9. Lebedev O.N., Somov V.A., Kalashnikov S.A. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya rechnykh sudov* [Internal combustion engines of river vessels]. Moscow, Transport Publ., 1990, 219 p. (In Russian).
10. 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).
11. 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).
12. Kamkin S.V., Voznitskiy I.V., Shmelev V.P. *Ekspluatatsiya sudovykh dizeley* [Operation of marine diesel engines]. Moscow, Transport Publ., 1990, 344 p. (In Russian).
13. Konyukov V.L. Analiz parametrov chetyrekhtaktnogo dizelya, ogranichivayushchikh diapazon neposredstvennogo upravleniya raskhodom vozdukha pri razlichnom protivodavlenii na vypuske [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]. *Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kerch State Maritime Technological University], 2021, iss. 4, pp. 188-202. (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 Crime, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 seykgmtu@gmail.com

УДК 639.2.065 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_75**

Латышев В.Ю., Ениватов В.В., Гаршин А.Ю., Бабышев С.Е.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВОИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАК ШАГ К СНИЖЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ И ВЫБРОСОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Аннотация. В работе представлена методика анализа энергоэффективности судна методом сравнения фактического расхода топлива с оптимальным расходом. Оптимальный расход топлива – это теоретически необходимый расход при максимально достоверной картине рейса судна. Оптимальный расход топлива определяется по результатам производственной деятельности судна, включая пройденное судном расстояние. Есть группы судов (траулеры, буксиры), у которых на некоторых режимах работы, при номинальной мощности главного двигателя (ГД), скорость составляет 25-35 % от максимальной скорости. Для этих судов пройденное расстояние не отражает реальной картины загрузки ГД, что затрудняет, а иногда и делает невозможным расчет оптимального количества топлива, для движения судна. Предлагаемая методика учитывает расстояние, не пройденное судном, из-за того, что скорость на некоторых режимах работы (траление, буксировка) меньше максимальной скорости судна. Постоянный контроль расхода топлива, и его сравнение с оптимальным расходом, дает возможность оценить эффективность эксплуатации судна, и вовремя принять необходимые меры. Это способствует снижению расхода топлива, и соответственно снижению выбросов для уже эксплуатирующихся судов различного возраста, что очень важно на фоне требований ИМО по снижению выбросов отработавших газов.
Ключевые слова: энергоэффективность, топливоиспользование, отработавшие газы.

Latyshev V.Yu., EnivatovV.V., Garshin A.Yu., Babyshev S.E.

FUEL CONSUMPTION EFFICIENCY ANALYSIS AS A STEP TO REDUCE OPERATING COSTS AND EXHAUST GAS EMISSIONS

Abstract. The paper presents a methodology for analyzing the energy efficiency of a vessel by comparing the actual fuel consumption with the optimal one. The optimal fuel consumption is the theoretically necessary fuel consumption with the most accurate picture of the vessel's voyage. The optimal fuel consumption is determined by the results of the vessel's production activities, including the distance traveled by the vessel. There are groups of vessels (trawlers, tugs), which, in some operating modes, at the rated power of the main engine (ME), the speed is 25-35% of the maximum speed. For these vessels, the distance traveled does not give an accurate picture of the main engine load. Thus, this makes it more difficult, sometimes impossible, to calculate the optimal amount of fuel for the movement of the vessel. The proposed method takes into account the distance the vessel had not travelled due to the fact that the speed in some operation modes (trawling, towing) is less than the maximum speed of the vessel. Constant monitoring of fuel consumption and its comparison with the optimal consumption makes it possible to assess the efficiency of the vessel's operation and take the necessary action in time. This helps to reduce fuel consumption, and, accordingly, reduce emissions for already operating vessels, which is very important against the backdrop of IMO requirements to reduce exhaust emissions.
Keywords: energy efficiency, fuel consumption, exhaust gases.

Введение. Эффективное топливоиспользование, и как следствие, снижение выбросов и уменьшение загрязнения воздушной среды оксидами азота

или оксидами серы и твердыми частицами, не только экономически целесообразно, но и снижает их отрицательное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

В связи с возрастающими требованиями международного сообщества к качественным характеристикам отработавших газов судовых энергетических установок, международной морской организацией (ИМО), Европейской комиссией и др. разработаны и приняты международные законодательные акты по предотвращению загрязнения атмосферы путем снижения выбросов. При этом особое внимание уделено энергоэффективности [1, 2]. Содержание серы в любом жидком топливе, используемом на судах, не должно превышать следующих пределов: 0,50 % по массе с 1 января 2020 года и после этой даты для всех судов за пределами районов контроля выбросов и 0,10 % по массе с 1 января 2015 года и после этой даты в пределах районов контроля выбросов (Emission Control Area (ECA)) [1]. На каждом судне должен иметься конкретный для данного судна План управления энергоэффективностью судна (SEEMP) [3]. Он может являться частью системы управления безопасностью судна (СУБ судна). Резолюцией Комитета по защите морской среды (Marine Environment Protection Committee (MEPC)), 282(70) от 28 октября 2016 года принято руководство по разработке SEEMP, которое служит для оказания помощи в подготовке Плана управления энергоэффективностью судна [1]. В июле 2021 г. Европейская комиссия опубликовала предложение по пересмотру Директивы 2012/27/EU по энергоэффективности [2]. Путем пересмотра Директивы предлагается закрепить принцип «энергоэффективность превыше всего» на уровне ЕС и усилить меры по энергоэффективности [2].

При таких жестких требованиях судовладельцы вынуждены использовать более дорогостоящие сорта низкосернистого топлива. Учитывая тот факт, что затраты на топливо в общих эксплуатационных затратах составляют 20-30 %, оперативный анализ эффективности топливоиспользования может помочь судовладельцам снизить затраты на топливо и соответственно сделать их суда

экологически чище [4].

Приведение расчетного значения расхода топлива к показателям эксплуатационной деятельности судна (вылов, заморозка и транспортировка мороженой рыбопродукции), а также сравнение его с фактическим позволяет определить эффективность эксплуатационной деятельности [5, 6].

Целью исследования является анализ снижения затрат на эксплуатацию судна на основе сопоставления топливоиспользования при различных режимах.

Материалы и методы исследования. Оптимальный расход топлива $B_{\text{опт}}$ имеет составляющие: $B_{\text{ход}}$ – расход топлива главным двигателем для движения судна на различных режимах, $B_{\text{вдг}}$ – расход топлива на судовую электростанцию для общесудовых потребителей, $B_{\text{тех}}$ – расход топлива для технологических нужд. Рассчитать с достаточной точностью значения $B_{\text{вдг}}$ и $B_{\text{тех}}$, зная паспортные характеристики механизмов судна, не сложно. Определение $B_{\text{ход}}$ представляет сложность из-за отсутствия обобщенных данных о времени работы ГД на различных режимах.

Оптимальный расход $B_{\text{опт}}$ топлива определяется по формуле 1:

$$B_{\text{опт}} = B_{\text{ход}} + B_{\text{вдг}} + B_{\text{тех}}, \quad (1)$$

где $B_{\text{ход}}$ – оптимальный расход топлива, необходимый для движения судна на полном ходу без дополнительной нагрузки (трала, буксира, и т.п.) и с нагрузкой, т;

$B_{\text{вдг}}$ – оптимальный расход топлива на судовую электростанцию, для общесудовых потребителей (без учета расхода на технологические нужды), т ($B_{\text{вдг}}$ учитывает и движение судна в случае судна с электродвижением);

$B_{\text{тех}}$ – оптимальный расход топлива на технологические нужды (хранение и заморозку рыбопродукции и т.п.), т.

Предлагаемый подход учитывает следующие факторы: пройденное

судном расстояние – S, миль; скорость траления (фактическая) – $V_{тр}$, уз.; суммарное время траления – $t_{тр}$, час; отчетный период – t_n, сут.; количество замороженной рыбопродукции за отчетный период – R, т. Судовладелец может определить оптимальный расход топлива и сравнить его с фактическим расходом. Отчетный период устанавливается судовладельцем (сутки, месяц, рейс), однако в течение рейса ответственные члены экипажа могут проводить оперативный контроль.

Как правило, погодные условия, влияющие на суммарный расход топлива (ветер, волнение моря, видимость, промысловая обстановка) в районах работы судов, в течение года имеют циклический характер. Исходя из этого, в процессе работы судов в определенном районе на основе карт погоды и промысловой обстановки судовладелец может разработать и внедрить поправочные коэффициенты, для корректировки оптимального расхода.

Оптимальный расход топлива, необходимый для движения судна $B_{ход}$, определяется по формуле 2:

$$B_{ход}=\lfloor S + K_{тр}\,(V_{макс} - V_{тр})t_{tr}\rfloor g_{ход}, \qquad (2)$$

где $K_{тр}$ – коэффициент средней загрузки главного двигателя при траленении;

$V_{макс}$ – максимальная скорость (паспортная), уз.;

$g_{ход}$ – удельный расход топлива на 1 милю пути, т/миль.

Коэффициент средней загрузки главного двигателя при траленении определяется как отношение средней мощности ГД $Ñ_{тр}$ при траленении к номинальной $Ñ_{ном}$ по формуле 3:

$$K_{тр} = \frac{Ñ_{тр}}{Ñ_{ном}}, \qquad (3)$$

где $Ñ_{тр}$– средняя мощность ГД при траленении, кВт;

$Ñ_{ном}$– номинальная мощность ГД, кВт.

Согласно опыту эксплуатации и расчетам [7] $K_{тр}$ = 0,7 для разноглубинных тралов и $K_{тр}$ = 0,5 для донных тралов.

Средняя мощность ГД при тралении $Ñ_{тр}$ (кВт) определяется по формуле 4:

$$Ñ_{тр} = (Ñ_{пост}t_{пост} + Ñ_{хт}t_{хт} + Ñ_{в}t_{в})/t_{тр}, \quad (4)$$

где $Ñ_{пост}$ – мощность ГД при постановке трала, кВт;

$t_{пост}$ – время постановки трала, ч;

$Ñ_{хт}$ – долевая мощность ГД при ходе с тралом, кВт;

$t_{хт}$ – время хода с тралом, ч;

$Ñ_{в}$ – мощность ГД при выборке трала, кВт;

$t_{в}$ – время выборки трала, ч;

$t_{тр}$ – суммарное время траления, ч.

Пройденное судном расстояние S для промыслового судна не отражает реальную картину режима работы ГД и всего судна в целом. При ходе с тралом скорость судна снижается до $V_{тр}$, но при этом нагрузка на ГД и соответственно расход топлива равны номинальным. Следовательно, чем больше время тралений, тем меньшее расстояние будет пройдено судном.

Так как скорость траления $V_{тр}$ ниже максимальной $V_{макс}$, то для учета режимов траления при расчете количества топлива необходимо ввести поправку S_1 на не пройденное судном расстояние. Поправка S_1 определяется по формуле 5:

$$S_1 = K_{тр}\,(V_{макс} - V_{тр})t_{тр}\text{, миль} \quad (5)$$

Удельный расход топлива на 1 милю пути $g_{ход}$ определяется как отношение расхода топлива ГД при номинальной нагрузке $G_{гд}$ к максимальной

скорости судна $V_{\text{макс}}$.

$$g_{\text{ход}} = \frac{G_{\text{гд}}}{V_{\text{макс}}}, \text{ т/миль} \quad (6)$$

Определим расход топлива судовой электростанцией $\text{В}_{\text{вдг}}$ при использовании вспомогательного дизель-генератора (ВДГ).

Согласно таблицы нагрузок и опыта эксплуатации конкретного типа судна, где потребители обеспечиваются питанием от ВДГ, определяется нагрузка $N_{\text{эл.ст}}$ общесудовых потребителей (все работающие потребители за исключением, установки кондиционирования воздуха и потребителей, обеспечивающих заморозку и хранение рыбопродукции).

Зная $N_{\text{эл.ст}}$ и соответственно мощность ВДГ, по нагрузочным характеристикам определяем удельный расход топлива ВДГ $g_{e\text{вдг}}$.

В зависимости от района работы и времени года на судне функционирует установка кондиционирования воздуха, мощность которой $N_{\text{конд}}$ также определяется по таблице нагрузок, а коэффициент загрузки по опыту эксплуатации.

Теперь можно определить суммарный суточный расход топлива судовой электростанцией $G_{\text{вдг}}$ (формула 7):

$$G_{\text{вдг}} = \left(N_{\text{эл.ст}} + N_{\text{конд}}\right) g_{\text{евдг}} \cdot t_{\text{сут}} \cdot 10^{-6}, \text{ кВт}, \quad (7)$$

где $N_{\text{эл.ст}}$ – мощность общесудовых потребителей, кВт;

$N_{\text{конд}}$ – мощность установки кондиционирования воздуха, кВт;

$g_{\text{евдг}}$ – удельный расход топлива ВДГ, г·кВт/час;

$t_{\text{сут}}$ – время работы оборудования в сутки, час.

Расход топлива судовой электростанцией $\text{В}_{\text{вдг}}$ (т) за исследуемый период (неделя, месяц, рейс, год) определяется по формуле 8:

$$В_{вдг} = \left(N_{эл.ст} + N_{конд}\right) g_{евдг} \cdot t_{сут} \cdot t_n \cdot 10^{-6}, \quad (8)$$

где t_n – исследуемый период, сут.

Расход топлива судовой электростанцией при использовании валогенератора $B_{вг}$ (т) определяется аналогично расходу топлива ВДГ, только вместо $g_{евдг}$ в формулы 7 и 8 вводится удельный расход топлива ГД $g_{егд}$:

$$В_{вг} = \left(N_{эл.ст} + N_{конд}\right) g_{егд} \cdot t_{сут} \cdot t_n \cdot 10^{-6}, \quad (9)$$

где $g_{егд}$ – удельный расход топлива ГД, г·кВт/ч.

Расход топлива для заморозки 1 тонны рыбопродукции r_1 определяется по таблицам нагрузок и зависит от суточной морозки. Чем выше суточная морозка, тем меньше расход топлива на заморозку 1 тонны рыбопродукции.

Оптимальный расход для заморозки рыбопродукции $B_{тех}$ определяется по формуле 10:

$$B_{тех} = r \cdot R, \text{ т} \quad (10)$$

где r – расход топлива для заморозки 1 тонны рыбопродукции, $т_{рыб}/т_{топл}$;

R – количество замороженной рыбопродукции за отчетный период, т.

Рассмотрим методику определения расхода топлива для заморозки одной тонны рыбопродукции, а также его зависимость от суточной морозки.

Оптимальный расход топлива по результатам работы судна определяется по формуле 11:

$$B_{опт} = \left\lfloor S + K_{тр}\,(V_{св.х} - V_{тр}) t_{тр} \right\rfloor \cdot g_{ход} + G_{вдг} \cdot t_n + r \cdot R, \text{ т}, \quad (11)$$

Величины, определяемые в рейсе (должны быть указаны в отчетах): S – пройденное судном расстояние, миль; $V_{тр}$ – скорость траления, уз.; $t_{тр}$ – суммарное время траления, сут.; t_n – исследуемый период, сут.; R – количество

замороженной рыбопродукции за отчетный период, т; $R_{сут}$ – среднесуточный объем заморозки, т/сут.; $V_{макс}$ – максимальная скорость (паспортная характеристика) судна, уз.

Величины, являющиеся постоянными для каждого типа судна, определяются расчетным путем: $K_{тр}$ – коэффициент средней загрузки главного двигателя при тралении, $g_{ход}$ – удельный расход топлива на милю пути, т/миль; $G_{вдг}$ – суммарный суточный расход топлива судовой электростанцией, т; r – расход топлива на заморозку и хранение одной тонны рыбопродукции, $т_{топлива}/т_{рыбы}$.

Результаты исследования и их обсуждение. Для иллюстрации результатов представленного подхода определяем расчетные величины к формуле оптимального расхода топлива для БМРТ «Прометей». Согласно паспортным характеристикам судна, при номинальной мощности ГД максимальная скорость $V_{макс.}$ составляет 14,8 узлов [8]. Часовой расход топлива ГД $G_{гд}$ при этом составляет 0,590 т/час. Удельный расход топлива $g_{e\ ход}$ на одну милю пройденного пути определяется после соответствующей подстановки в (4):

$$g_{e\ ход} = 0{,}590/14{,}8 = 0{,}398 \text{ т/миль.}$$

Согласно замерам, проведенным в группе судов данного типа, $g_{e\ ход}$ = 0,38 т/миль. Среднее значение $g_{e\ ход}$ = 0,38 т/миль.

Определим суточный расход топлива $G_{вдг}$ на общесудовые нужды без учета заморозки и хранения рыбопродукции.

Согласно таблице нагрузок и опыта эксплуатации судов типа БМРТ «Прометей» нагрузка судовой электростанции $N_{эл.ст.}$ (без учета установки кондиционирования воздуха) составляет 300 кВт. Средняя загрузка каждого ВДГ в рейсе составляет 70 % от номинальной мощности. По нагрузочным характеристикам определяем удельный расход топлива ВДГ

$g_{\text{вдг}}$ = 235 г/квт·час [7].

Кроме общесудовых потребителей, обеспечивающих ход и жизнедеятельность судна, в зависимости от времени года работает установка кондиционирования воздуха. Коэффициенты загрузки установки кондиционирования и мощность установки кондиционирования воздуха $N_{\text{конд}}$ определяются по таблице нагрузок и имеют значения, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты загрузки установки кондиционирования воздуха

	Коэффициент загрузки кондиционера	Нагрузка $N_{\text{конд}}$, кВт
Зима	0,3	31,8
Лето	0,5	53,0
Тропики	0,8	85,0

Зная $N_{\text{эл.ст}}$ = 300 кВт, $N_{\text{конд}}$ (таблица 1), $g_{\text{вдг}} = 235\ \text{г/кВт} \cdot \text{час}$, $t_{\text{сут}}$ = 24 часа, определяем общий суточный расход топлива на ВДГ для различных внешних условий:

$$G_{\text{вдг}}^{\text{зима}} = (300 + 31{,}8)\ 235 \cdot 24 \cdot\ 10^{-6} = 1{,}87\ \text{т},$$

$$G_{\text{вдг}}^{\text{лето}} = (300 + 53{,}0)\ 235 \cdot 24 \cdot\ 10^{-6} = 1{,}99\ \text{т},$$

$$G_{\text{вдг}}^{\text{троп}} = (300 + 85{,}0)\ 235 \cdot 24 \cdot\ 10^{-6} = 2{,}17\ \text{т}.$$

Результаты заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Общий суточный расход топлива на ВДГ для различных внешних условий

Расход ВДГ	Зима	Лето	Тропики
$G_{\text{вдг}}$, т	1,87	1,99	2,17

Определим расход топлива на заморозку и хранение тонны рыбопродукции. Расчет производится на основании таблицы нагрузок судна.

Определяется нагрузка холодильного и технологического оборудования при суточном объеме заморозки 50 тонн/сутки и при суточной заморозке 5 тонн/сутки [7]. Определяем расход топлива B_{50} при суточной заморозке 50 т/сутки:

$$B_{50} = N_{50} \cdot g_{\text{вдг}} \cdot t_{\text{тех}} \cdot 10^{-6}, \text{ т}_{\text{топлива}}/\text{т}_{\text{рыбы}} \quad (15)$$

где $t_{\text{сут}}$ – время работы оборудования в сутки, ч;

N_{50} – мощность холодильного и технологического оборудования для заморозки и хранения 50 тонн рыбопродукции, кВт;

$g_{\text{вдг}}$ – удельный расход топлива ВДГ, г/кВт·ч;

$t_{\text{тех}} =$ 22 часа – суточное время работы технологического и холодильного оборудования с учетом времени оттайки и профилактики, ч.

Определяем N_{50} по зависимости:

$$N_{50} = N_{\text{сма}} + N_{\text{трюм}} + N_{\text{рыбцех}}, \text{ кВт} \quad (16)$$

где $N_{\text{сма}}$ – мощность оборудования, обеспечивающего заморозку рыбопродукции в морозильных аппаратах, $N_{\text{сма}}$ = 747 кВт;

$N_{\text{трюм}}$ – мощность оборудования, обеспечивающего охлаждение рыбопродукции в трюме, $N_{\text{трюм}}$ = 149 кВт;

$N_{\text{рыбцех}}$ – мощность технологического оборудования, $N_{\text{рыбцех}}$ = 284,5 кВт;

Определяем мощность оборудования N_{50} и расход топлива B_{50}:

$$N_{50} = 747+149+284{,}5 = 1180{,}5 \text{ кВт};$$

$$B_{50} = 1180{,}5 \cdot 235 \cdot 22 \cdot 10^{-6} = 6{,}1 \text{ т}.$$

Определяем расход топлива r_{50} на заморозку и хранение 1 тонны

рыбопродукции при суточном объеме заморозке 50 т/сутки:

$$r_{50} = 6{,}1/50 = 0{,}122\ т_{топлива}/т_{рыбы}.$$

Определяем B_5 – расход топлива при суточной морозке 5 т/сутки:

$$B_5 = N_5 \cdot g_{вдг} \cdot t_{тех} \cdot 10^{-6},\ т_{топлива}/т_{рыбы},$$

где N_5 – мощность холодильного и технологического оборудования для заморозки и хранения 5 тонн рыбопродукции, кВт.

Определяем N_5:

$$N_5 = N_{трюм} + (N_{сма} + N_{рыбцех})/10\ ,\ кВт,$$

$$N_5 = 149 + (747 + 284{,}5)/10 = 252\ кВт;$$

$$N_5 = 252\ кВт.$$

Определяем расход топлива B_5 для заморозки и хранения 5 тонн рыбопродукции:

$$B_5 = 252 \cdot 235 \cdot 22 \cdot 10^{-6} = 1{,}3\ т.$$

Определяем расход топлива r_5 на заморозку и хранение тонны рыбопродукции при суточном объеме заморозки 5 т/сутки:

$$r_5 = 1{,}3/5 = 0{,}261\ т_{топл}/т_{рыб}.$$

По линейной зависимости расхода топлива от количества замороженной рыбопродукции определяем промежуточные значения (таблица 3).

Таблица 3 – Зависимость расхода топлива на заморозку и хранение тонны рыбопродукции от объема суточной заморозки

Расход топлива r_{5-50} $т_{топл}/т_{рыб}$	Суточная заморозка $R_{сут}$, т									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Расход топлива $т_{топл}/т_{рыб}$	0,261	0,246	0,230	0,215	0,199	0,184	0,168	0,153	0,137	0,122

Выводы. Таким образом, применение данной методики дает возможность судовладельцу дистанционно контролировать энергоэффективность каждого судна. Для более точной картины энергоэффективности в процессе внедрения методики судовладелец на основании статистки может сформировать базу данных и принять допустимую норму погрешности.

При значительных отклонениях фактического расхода от оптимального, судовладелец, проведя анализ, может определить причины этого [9]. Причины повышенного фактического расхода могут быть различными: обрастание корпуса, неправильная загрузка судна, и как следствие, большой дифферент на корму и тормозящий эффект от погруженного кормового транца, неправильное использование или настройка орудий лова, нецелевое использование топлива, недостаточная квалификация судового экипажа, в первую очередь капитана, старшего механика и мастера по добыче рыбы. Проведя анализ причин, судовладелец может дать необходимые рекомендации экипажу судна, или, принять соответствующие кадровые решения.

Список использованной литературы:

1. Приложение VI к конвенции МАРПОЛ 73/78 – Правила предотвращения загрязнения атмосферы с судов. URL: https://mirmarine.net/morskoe-pravo/marpol-73-78/1198-marpol-6 (дата обращения: 31.12.2021).
2. Directive 2012/27/EU of the European parliament and of the Council of 25 October 2012 (Legislative acts) // Official Journal of the European Union L 315, 14.11.2012.
3. Российский морской регистр судоходства. Руководство по применению положений международной конвенции МАРПОЛ 73/78. НД № 2-030101-049. СПб., 2022. 132 с.
4. *Винников В.В.* Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок): учебник. 2-е изд. Одесса: Латстар, 2001. 416 с.

5. Контроль эффективности использования и нормирование топлива на судах и предприятиях промыслового флота: методика / Под общ. ред. В.В. Шагина. Калининград, КТИРПиХ, 1979. 101 с.
6. *Гусакова Т.Н., Алексеев В.В.* Анализ топливоиспользования в судовых энергетических установках водного транспорта // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2014. № 39. С. 167-169.
7. *Коршунов Л.П.* Ресурсосберегающие технологии в энергетических установках промысловых судов: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.08.05 / Лев Петрович Коршунов. Калининград: ФГОУ ВПО КГТУ, 1996. 48 с.
8. Флот рыбной промышленности: справочник / Под ред. Б.А. Антипова. М.: Транспорт, 1990. 383 с.
9. *Самсонов А.В., Чурилов В.Л.* Учет эксплуатационных факторов при определении мощности главных двигателей рыболовных траулеров // Судостроение. 2009. № 2. С. 46-48.

References:

1. *Prilozhenie VI k konvencii MARPOL 73/78 – Pravila predotvrashcheniya zagryazneniya atmosfery s sudov* [Annex VI to the MARPOL 73/78 Convention – Rules for the Prevention of Atmospheric pollution from Ships]. (In Russian). Available at: https://mirmarine.net/morskoe-pravo/marpol-73-78/1198-marpol-6 (accessed 31.12.2021).
2. Directive 2012/27/EU of the European parliament and of the Council of 25 October 2012 (Legislative acts). *Official Journal of the European Union L 315*, 14.11.2012. (In English).
3. *Rossijskij morskoj registr sudohodstva. Rukovodstvo po primeneniyu polozhenij mezhdunarodnoj konvencii MARPOL 73/78* [Russian Maritime Register of Shipping. Guidelines for the application of the provisions of the international convention MARPOL 73/78]. ND no. 2-030101-049. St. Petersburg, 2022, 132 p. (In Russian).
4. Vinnikov V.V. *Ekonomika predprijatija morskogo transporta (jekonomika morskih perevozok)* [Economics of the enterprise of maritime transport (economics of shipping)]. 2nd ed. Odessa, Latstar Publ., 2001, 416 p. (In Russian).
5. Shagin V.V. (gen. ed.) *Kontrol' jeffektivnosti ispol'zovanija i normirovanie topliva na sudah i predprijatijah promyslovogo flota: metodika* [Control of efficiency of use and regulation of fuel on ships and enterprises of the fishing fleet: methodology]. Kaliningrad, KTIRPiKh Publ., 1979, 101 p. (In Russian).
6. Gusakova T.N., Alekseev V.V. Analiz toplivoispol'zovanija v sudovyh jenergeticheskih ustanovkah vodnogo transporta [Analysis of fuel use in ship energy installations of water transport]. *Vestnik Volzhskoj gosudarstvennoj akademii vodnogo transporta* [Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport], 2014, no. 39, pp. 167-169. (In Russian).
7. Korshunov L.P. *Resursosberegajushhie tehnologii v jenergeticheskih ustanovkah promyslovyh sudov. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* [Resource-saving technologies in power plants of fishing vessels. Cand. engin. sci. diss. abstr.]. Kaliningrad, 1996, 48 p. (In Russian).
8. Antipov B.A. (ed.) *Flot rybnoj promyshlennosti* [Fleet of the fishing industry]. Moscow, Transport Publ., 1990, 383 p. (In Russian).
9. Samsonov A.V., Churilov V.L. Uchet jekspluatacionnyh faktorov pri opredelenii moshhnosti glavnyh dvigatelej rybolovnyh traulerov [Consideration of operational factors in determining the power of the main engines of fishing trawlers]. *Sudostroenie* [Shipbuilding], 2009, no. 2, pp. 46-48. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Латышев Василий Юрьевич
доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений»
Севастопольский государственный университет
299053, Севастополь, ул. Университетская, 33
vs.latyshev@gmail.com

Latyshev Vasiliy Yurievich	Associate Professor of the Department of «Power Installations of Marine Vessels and Structures» Sevastopol State University 299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33 vs.latyshev@gmail.com
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
Гаршин Александр Юрьевич	канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений» Севастопольский государственный университет 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33 aleksander.garshin@mail.ru
Garshin Alexander Yurievich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor of the Department of «Power Installations of Marine Vessels and Structures» Sevastopol State University 299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33 aleksander.garshin@mail.ru
Бабышев Сергей Евгеньевич	доцент кафедры «Энергоустановки морских судов и сооружений» Севастопольский государственный университет 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33 s.babyshev@mail.ru
Babyshev Sergiy Evgenovich	Associate Professor of the Department of «Power Installations of Marine Vessels and Structures» Sevastopol State University 299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33 s.babyshev@mail.ru

УДК 665.34 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_89**

Гукасян А.В., Косачев В.С., Шилько Д.А.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА 3D-МОДЕЛЕЙ ШНЕКОВ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА И УРАВНЕНИЯ НЕРАЗРЫВНОСТИ

Аннотация. В статье рассмотрена модель распределения течений внутри каналов шнеков маслоотжимных агрегатов с использованием двух зонной модели течения на основе численного моделирования. При моделировании использовали систему уравнений Навье-Стокса в среде PTC MathCAD Prime 4.0. В результате получено изображение распределения течений в витке шнека маслопресса. Построенный рисунок демонстрирует застойные зоны и смещение вихря течения в сторону направления потока. Поменяв крайние условия, удалось смоделировать распределение тока внутри канала шнека с уменьшенной площадью застойных зон. Затем выполнено 3D-моделирование обоих случаев в программе КОМПАС 3D. Сравнение полученных 3D-моделей демонстрирует уменьшение веса и объема шнека на 14,3 %. Проведенное исследование формулирует инженерный подход к реологии процессов и аппаратов шнекового типа и позволит в дальнейшем перейти к трехмерной модели течения масличного материала в канале.
Ключевые слова: уравнение Навье-Стокса, MathCAD, КОМПАС 3D, гидродинамика, шнек, растительное масло, математическая модель.

Gukasyan A.V., Kosachev V.S., Shilko D.A.

COMPARATIVE EVALUATION OF 3D AUGER MODELS BASED ON NAVIE-STOKES EQUATIONS AND CONTINUITY EQUATION

Abstract. The article considers a model of the distribution of flows inside the auger channels of oil-pressing units using a two-zone flow model based on numerical modeling. In the simulation, a system of Navier-Stokes equations was used in the PTC MathCAD Prime 4.0 environment. As a result, an image of the distribution of flows in the screw of the oil press was obtained. The constructed figure demonstrates stagnant zones and the displacement of the flow vortex in the direction of the flow direction. By changing the extreme conditions, it was possible to simulate the current distribution inside the auger channel with a reduced area of stagnant zones. Then 3D modeling of both cases was performed in the COMPASS 3D program. Comparison of the obtained 3D models demonstrates a reduction in the weight and volume of the auger by 14.3%. The conducted research formulates an engineering approach to the rheology of screw-type processes and apparatuses and will allow us to move on to a three-dimensional model of the flow of oilseed material in the channel in the future.
Keywords: Navier-Stokes equation, MathCAD, COMPASS 3D, hydrodynamics, auger, vegetable oil, mathematical model.

Введение. Развитие технологических инноваций в пищевой промышленности основано на моделировании процессов гидродинамики в рабочей зоне установок при изменениях внешних факторов [1]. Математическое моделирование позволяет разработать новые технологические решения, используя невысокие финансовые затраты.

Используя законы взаимодействия жидкой среды и твердых тел в

процессах прессования, появляется возможность вычислить распределение скорости, плотности и давления в объеме шнека. Полученные зависимости, с учетом свойств несжимаемости и конвекции позволяют составить математическую модель процесса отжима растительных масел в одношнековых агрегатах.

Исследования производились в рамках численного решения уравнения Навье-Стокса и уравнения теплопроводности. Полученная математическая зависимость помогает определить застойные зоны в канале шнека и подобрать оптимальную металлоемкость. Это позволяет оптимизировать работу как существующих, так и разрабатываемых шнековых прессов для получения различных видов растительного масла [2].

Цель исследования – разработать математическую модель в программе PTC MathCad Prime 4.0 для определения застойных зон внутри канала шнека на основе уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности, а затем сравнить массогабаритные параметры 3D-моделей шнеков.

Материалы и методы исследования. В процессах разработки и моделирования прессового оборудования важным является правильный выбор реологического уравнения течения прессуемой массы, которое влияет на объемную производительность маслопресса. Математические модели описывают реология маличного материала по Бингамовской модели, используя теорию упругости, функции вязкости Хешеля-Балкли [3-5] и др. Однако, в приведенных работах не было визуального отображения полученных моделей, что не дает возможность проведения оценки предложенных методов при разработке маслоотжимного оборудования, а ограничивается лишь математическими выкладками.

В данной статье описан алгоритм создания математической модели на основе уравнений Навье-Стокса, который объединяет скорость, плотность, давление и энергию [6]. После чего, полученная система уравнений была внесена в программу PTC MathCAD Prime 4.0, где удалось получить визуальное

распределение течения внутри канала шнека, а после, в программе КОМПАС 3D, выполнено моделирование шнеков.

При построении модели допускалось, что масличный материал в канале шнека имеет свойства вязкой несжимаемой жидкости, которая занимает двумерную прямоугольную полость. Сверху полость ограничена твердой пластиной, которая перемещается с постоянность скоростью V. Границы полости неподвижны и непроницаемы. В результате была получена имитационная модель движения шнека относительно корпуса.

Составим двумерную систему уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости в процессе прессования шнековыми агрегатами, состоящую из двух уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности:

Составим двумерную систему уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости в процессе прессования шнековыми агрегатами, состоящую из двух уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности:

$$\rho \cdot \frac{d\overline{V_i}}{d\tau} = -\nabla P + \mu \cdot \Delta\overline{V_i},\ i = 1{,}2 \tag{1}$$

$$\nabla\bar{V} = 0 \tag{2}$$

где $\bar{V}$ – вектор скорости масличного материала в канале, м/сек;

P – гидростатическое давление, Па;

ρ – плотность масличного материала в канале, кг/м^3;

μ – вязкость материала в канале, Па·сек;

τ – время, сек.

Раскроем производные уравнений (1) и (2). Тогда система уравнений примет следующий вид:

$$\rho \cdot \frac{\partial v_x}{\partial \tau} + \rho \cdot v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + \rho \cdot v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2}\right) \tag{3}$$

$$\rho \cdot \frac{\partial v_y}{\partial \tau} + \rho \cdot v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + \rho \cdot v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

где v_x, v_y – горизонтальная и вертикальная компоненты вектора скорости;

$\bar{V} = \{v_x; v_y\}$ масличного материала в канале, м/сек.

Благодаря уравнению неразрывности (5) введем функцию тока (ψ), чтобы перейти от системы уравнений (3) и (4) к одному уравнению. Изолинии функции (ψ) – это линии тока масличного материала в канале с переменными функции тока и вихря скорости (ω):

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial x},\ v_y = -\frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \quad (7)$$

С учетом допущения, что течение модели двумерное и направления завихрений (7) перпендикулярно плоскости канала получаем уравнение «функция течения – скорость», описывающее движение масличного материала в канале шнека.

Для визуального отображения модели используем двумерный массив и запишем уравнения в конечных разностях:

$$\psi_{i,j} = \left(\psi_{i-1,j} + \psi_{i+1,j} + \psi_{i,j-1} + \psi_{i,j+1} + \omega_{i,j} h^2\right)/4$$

$$v_{xi,j} = \left(\psi_{i,j+1} - \psi_{i,j-1}\right)/2\,h$$

$$v_{yi,j} = -\left(\psi_{i+1,j} - \psi_{i-1,j}\right)/2\,h$$

$$\omega_{i,j}^{t+1} =$$

$$+v\frac{\omega_{i-1,j}^{t} + \omega_{i+1,j}^{t} + \omega_{i,j-1}^{t} + \omega_{i,j+1}^{t} - 4\omega_{i,j}^{t}}{h^2}\Delta\tau.$$

На рисунке 1 изображены граничные условия для каждой стороны расчетной области.

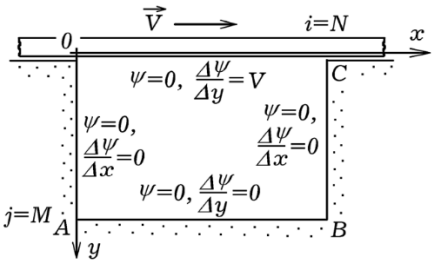

Рисунок 1 – Расчет течения жидкости в канале с подвижной крышкой

Вихри скоростей для каждой стороны имеют значения:

$$\omega_{.1,j} = 2\psi_{2,j}/h^2$$

$$\omega_{.i,M} = 2\psi_{i,M-1}/h^2$$

$$\omega_{.N,j} = 2\psi_{N-1,j}/h^2$$

$$\omega_{.i1} = \frac{2\psi_{i,2}}{h^2} - \frac{2V}{h}$$

Полученные уравнения перенесли в программу PTC MathCAD Prime 4.0 (рис. 2). Это позволило получить изображение распределения функции тока.

Начальные параметры уравнения:

1. Регулярная сетка: по горизонтали количество узлов n=80, по вертикали m = 60;

2. Шаг по времени Δt = 0,15 (≈ 0,15 сек) (выбирался опытным путем);

3. Шаг изменения координат регулярной сетки h = 1 (≈ 1 мм);

4. Скорость крышки в канале v = 1,1 (≈ 1,1 м/сек), что соответствует среднему значению скорости вращения витка относительно корпуса реальных шнековых агрегатов.

Результаты исследования и их обсуждение. Проведенное моделирование позволило исследовать течение внутри канала шнека,

имитирующее перемещение масличного материала в канале с подвижной крышкой (рис. 3).

```
ψ := | n ← 80
     | m ← 60
     | Δt ← 0.15
     | h ← 1.0
     | v ← 1.1
     | ψ ← | for i ∈ 0 .. n + 1
     |     |   | for j ∈ 0 .. m + 1
     |     |   |   | ψ_{i,j} ← 0.0
     |     | ψ
     | ω ← | for i ∈ 0 .. n + 1
     |     |   | for j ∈ 0 .. m + 1
     |     |   |   | w_{i,j} ← 0.0
     |     | w
     | for k ∈ 0 .. 1500
     |   | ψ ← | for j ∈ 1 .. cols(ψ) − 1
     |   |     |   | ψ_{0,j} ← ψ_{1,j} ← ψ_{n,j} ← ψ_{n+1,j} ← 0
     |   |     | for i ∈ 1 .. rows(ψ) − 1
     |   |     |   | ψ_{i,0} ← ψ_{i,1} ← ψ_{i,m} ← ψ_{i,m+1} ← 0
     |   |     |   | ψ_{i,2} ← 2.0
     |   |     | ψ
     |   | ψ ← | for i ∈ 1 .. n
     |   |     |   | for j ∈ 1 .. m
     |   |     |   |   | ψ_{i,j} ← (ψ_{i−1,j} + ψ_{i+1,j} + ψ_{i,j−1} + ψ_{i,j+1} − w_{i,j} · h · h) / 4
     |   |     | ψ
     |   | w ← | for j ∈ 1 .. cols(ψ) − 1
     |   |     |   | w_{1,j} ← 2 · ψ_{2,j}
     |   |     |   | w_{n,j} ← 2 · ψ_{n−1,j}
     |   |     | for i ∈ 1 .. rows(ψ) − 1
     |   |     |   | w_{i,1} ← 2 · ψ_{i,2} − 2
     |   |     |   | w_{i,m} ← 2 · ψ_{i,m−1}
     |   |     | w
     |   | w ← | for i ∈ 1 .. n
     |   |     |   | for j ∈ 1 .. m
     |   |     |   |   | vx_{i,j} ← −(ψ_{i,j+1} − ψ_{i,j})
     |   |     |   |   | vy_{i,j} ← −(−ψ_{i+1,j} + ψ_{i,j})
     |   |     |   |   | w_{i,j} ← w_{i,j} + vx_{i,j} · (w_{i+1,j} − w_{i−1,j}) · Δt ÷ 2 ÷ h + vy_{i,j} · (w_{i,j+1} − w_{i,j−1}) · Δt ÷ 2 ÷ h + v · (w_{i−1,j} − 4 · w_{i,j} + w_{i+1,j} + w_{i,j−1} + w_{i,j+1}) ÷ h ÷ h · Δt
     |   |     | w
     |   | ψ ← | for j ∈ 1 .. cols(ψ) − 1
     |   |     |   | ψ_{0,j} ← ψ_{1,j} ← ψ_{n,j} ← ψ_{n+1,j} ← 0
     |   |     |   | for i ∈ 1 .. rows(ψ) − 1
     |   |     |   |   | ψ_{i,0} ← ψ_{i,1} ← ψ_{i,m} ← ψ_{i,m+1} ← 0
     |   |     |   |   | ψ_{i,2} ← 2.0
     |   |     | ψ
     |   | ψ ← | i ← n
     |   |     | while i > 0
     |   |     |   | j ← m
     |   |     |   | while j > 0
     |   |     |   |   | ψ_{i,j} ← (ψ_{i−1,j} + ψ_{i+1,j} + ψ_{i,j−1} + ψ_{i,j+1} − w_{i,j} · h · h) / 4
     |   |     |   |   | j ← j − 1
     |   |     |   |   | continue
     |   |     |   | i ← i − 1
     |   |     |   | continue
     |   |     | ψ
     |   | w ← | for j ∈ 1 .. cols(ψ) − 1
     |   |     |   | w_{1,j} ← 2 · ψ_{2,j}
     |   |     |   | w_{n,j} ← 2 · ψ_{n−1,j}
     |   |     | for i ∈ 1 .. rows(ψ) − 1
     |   |     |   | w_{i,1} ← 2 · ψ_{i,2} − 2
     |   |     |   | w_{i,m} ← 2 · ψ_{i,m−1}
     |   |     | w
     |   | w ← | i ← n
     |   |     | while i > 0
     |   |     |   | j ← m
     |   |     |   | while j > 0
     |   |     |   |   | vx_{i,j} ← −(−ψ_{i,j+1} − ψ_{i,j})
     |   |     |   |   | vy_{i,j} ← −(−ψ_{i+1,j} + ψ_{i,j})
     |   |     |   |   | w_{i,j} ← w_{i,j} + vx_{i,j} · (w_{i+1,j} − w_{i−1,j}) · Δt ÷ 2 ÷ h + vy_{i,j} · (w_{i,j+1} − w_{i,j−1}) · Δt ÷ 2 ÷ h + v · (w_{i−1,j} − 4 · w_{i,j} + w_{i+1,j} + w_{i,j−1} + w_{i,j+1}) ÷ h ÷ h · Δt
     |   |     |   |   | j ← j − 1
     |   |     |   |   | continue
     |   |     |   | i ← i − 1
     |   |     |   | continue
     |   |     | w
     | ψ
```

Рисунок 2 – Алгоритм расчета распределения функции тока в среде РТС MathCAD Prime 4.0

Полученный рисунок показывает, что центр вихря смещен в сторону направления движения крышки. Влияния на поток материала со стороны боковых стенок активной зоны отсутствует [3]. Это демонстрирует, что большое межвитковое расстояние создает застойные зоны, которые не участвую в отжиме масла из масличного материала и увеличивают массогабаритные характеристики шнека.

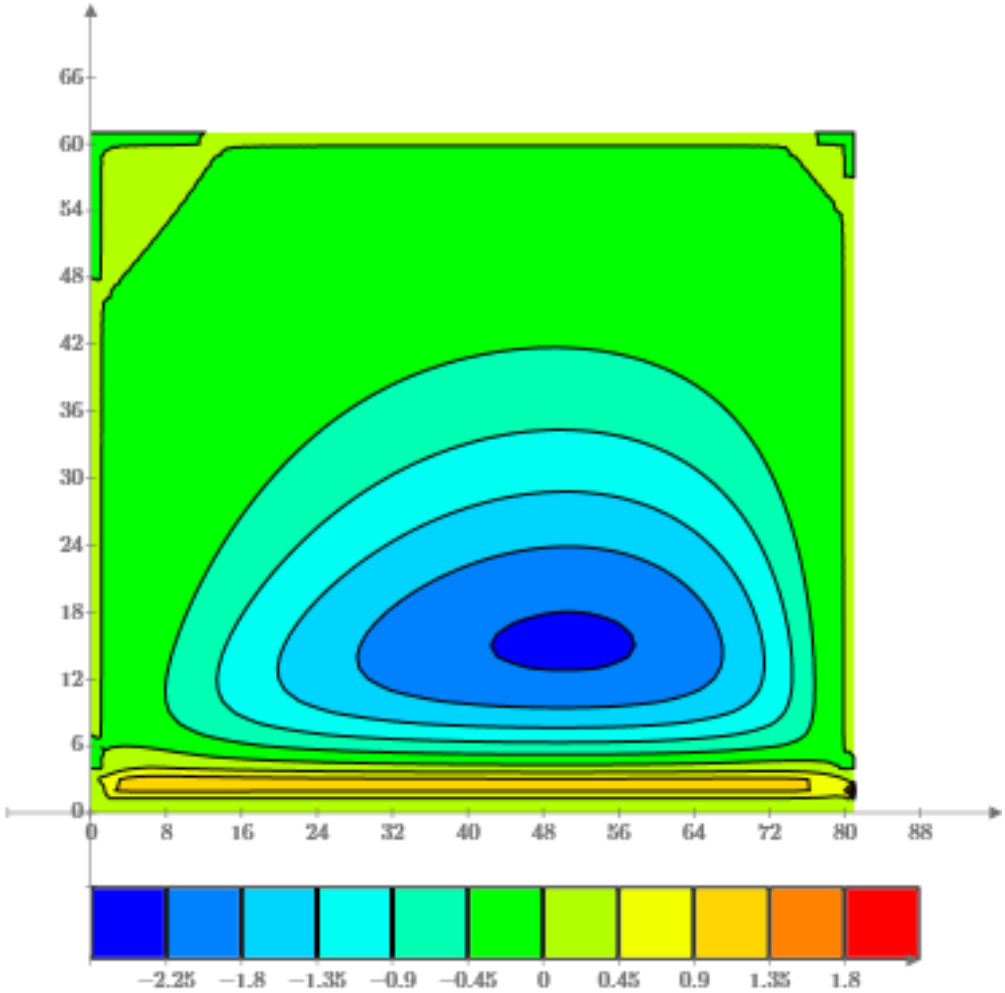

Рисунок 3 – Математическая модель распределение вихревых течений внутри канала шнека

Поменяв граничные условия был получена модель распределения тока внутри канала шнека со сниженной площадью застойных зон (рис. 4). Глубина канала и малые скорости протекающих процессов обеспечивает ламинарное течение при практическом отсутствии застойной зоны [4, 5].

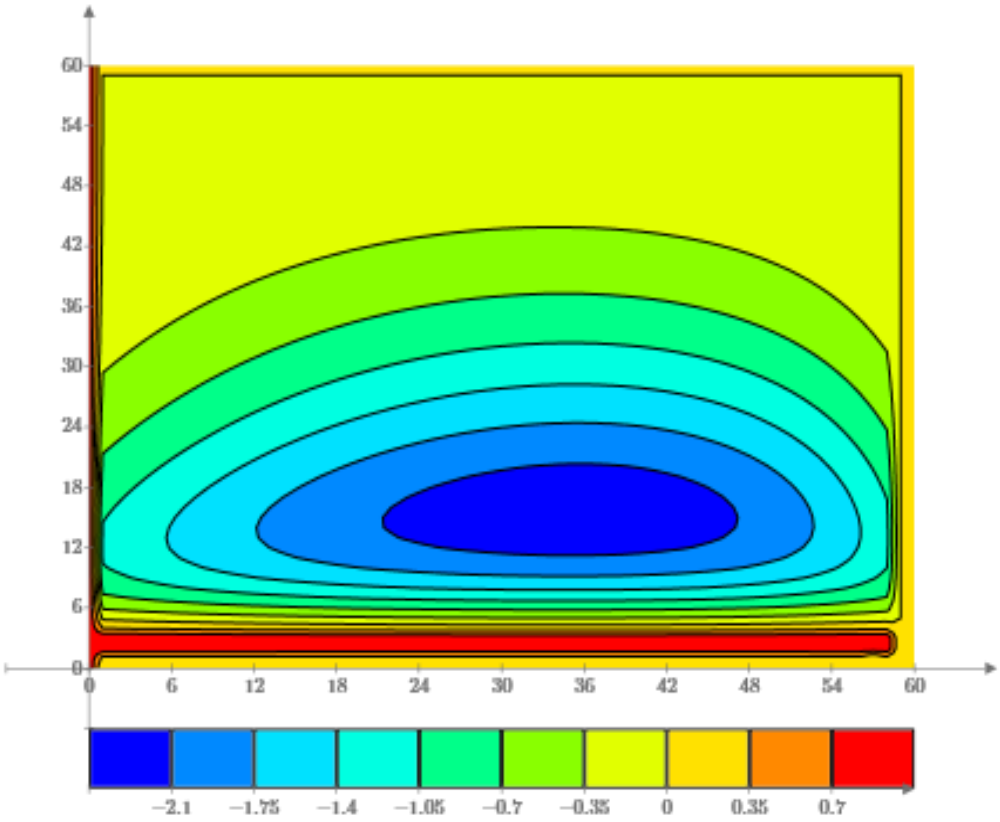

Рисунок 4 – Скорректированная математическая модель распределение вихревых течений внутри канала шнека

Представленный алгоритм помогает в инженерном подходе к изучению реологических процессов и аппаратов экструзионного типа, что позволило выполнить моделирование геометрии шнека в программе КОМПАС 3D.

В качестве начальных параметров использовали данных из приведенного ранее алгоритма: высота пера шнека, h – 60 мм, межвитковое расстояние, l – 80 мм.

Внутренний диаметр вала d примем равным 100 мм. Итоговый диаметр шнека D равен 220 мм. Толщину витка шнека t = 2 мм. Длину L возьмем в соотношении L = 5D. Итоговые геометрические параметры шнека представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры шнека

Параметр	Значение, мм
Высота пера шнека, h	60
Внутренний диаметр, d	100
Диаметр, D	220
Межвитковое расстояние, l	80
Длина шнека, L	1100
Толщина витка, t	2

Согласно первой модели по указанным параметрам в программе КОМПАС 3D был смоделирован шнек экструдера (рис. 5). Количество витков построенной модели — 14.

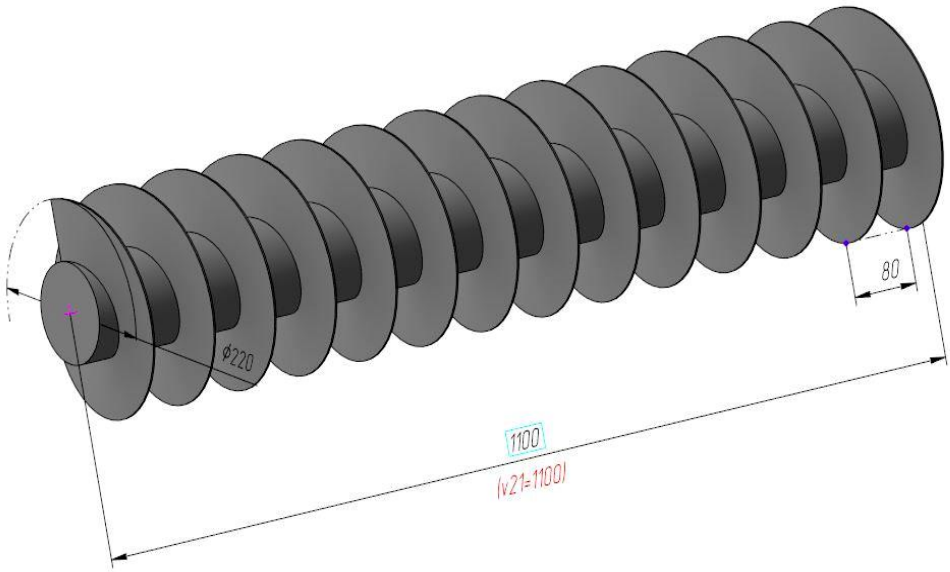

Рисунок 5 – 3D-модель шнека

Затем выделили новую геометрию канала шнека на основе рисунка 4 (рис. 6).

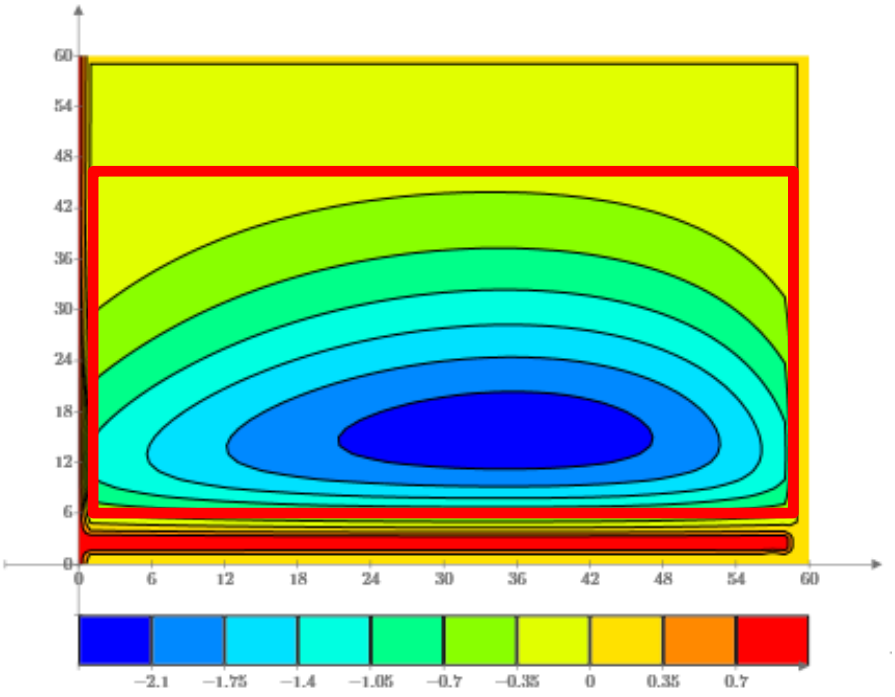

Рисунок 6 – Новая геометрия канала шнека

В результате, высота шнека стала h = 45 мм. Внутренний диаметр d не изменился. Общий диаметр шнека составил D = 190 мм. Межвитковое расстояние l = 60 мм. Толщина витков t = 2 мм. Итоговые параметры улучшенной 3D-модели шнека представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Обновленные геометрические параметры шнека

Параметр	Значение, мм
Высота пера шнека, h	45
Внутренний диаметр, d	100
Диаметр, D	190
Межвитковое расстояние, l	60
Длина шнека, L	950
Толщина витка, t	2

Согласно второй модели по указанным параметрам в программе КОМПАС 3D был смоделирован шнек экструдера, представленный на рисунке 7. Количество витков построенной модели – 16.

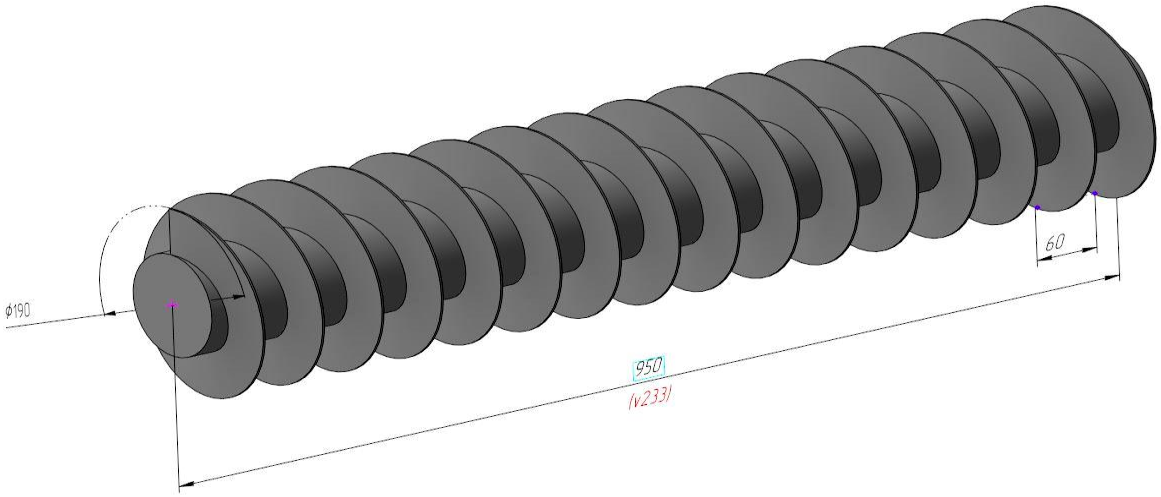

Рисунок 7 – Обновленная 3D-модель шнека

Воспользовавшись математическим моделированием распределения течений в канале, удалось построить модель шнека на основе уравнений движения вязкой несжимаемой жидкости (масличного материала) в процессе прессования шнековыми агрегатами. Сравнение массогабаритных параметров шнеков представлено в таблице 3.

В качестве материала изготовления шнека была выбрана сталь 38Х2МЮА с плотность ρ = 7710 кг/м^3 [5].

Таблица 3 – Сравнение геометрических и массогабаритных характеристик шнеков

Параметр	Шнек	Усоверш. шнек	Δ, ед. изм.	Разница, %
Высота пера шнека, h, мм	60	45	15	-25
Внутренний диаметр, d, мм	100	100	0	0
Диаметр, D, мм	220	190	30	-13,6
Межвитковое расстояние, l, мм	80	60	20	-25
Длина шнека, L, мм	1100	950	150	-13,6
Толщина витка, t, мм	2	2	0	0
Кол-во витков, n, шт.	14	16	2	+14,3
Масса шнека, m кг	72.996	62.531	10.465	-14,335
Объем шнека, V, мм^3	9467,69	8110,41	1357,27	-14,335

Выводы. Сравнение полученных моделей демонстрирует снижение высоты пера и межвиткового расстояния на 25 %. Общий диаметр шнека и длина шнека уменьшились на 13,6 %. Количество витков увеличилось на 2. Уменьшение массы и объема шнека составило 14,3 %.

С помощью рассмотренной модели появляется возможность увидеть площадь застойных зон в канале шнековых агрегатов, скорректировать расстояние между витками и подобрать оптимальные параметры канала шнека. Определение реологического течения в спиральном шнеке определяется выбором граничных условий уравнения, которое определяет объемный КПД экструдера [6]. Это позволяет уменьшить массогабаритные характеристики шнеков и снизить энергетические затраты шнекового оборудования. Анализ движения токов помогает вычислить градиент распределения температуры на витках шнековых аппаратов, что может использоваться для оптимизации процессов перемещения маличного материала.

Использование моделей гидродинамики течения в каверне позволит в дальнейшем перейти к трехмерной модели течения масличного материала в канале, что актуально при моделировании холодного отжима растительных масел.

Список использованной литературы:

1. *Кошевой Е.П., Гукасян А.В., Косачев В.С.* Двумерная модель течения материала в канале шнека с неподвижной крышкой // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 1 (75). С. 20-24. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-1-20-24.
2. *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.
3. *Шорсткий И.А., Худяков Д.А.* Анализ реологических свойств мезги подсолнечника в процессе прессования с вариацией температуры, давления и масличности // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2019. Т. 22. № 3. С. 395-403. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-3-395-403.
4. *Меретуков З.А., Кошевой Е.П.* Моделирование деформирования растительного материала на выходе из матрицы экструдера // Новые технологии. 2009. № 2. С. 29-32.
5. *Анферов С.Д., Скульский О.И., Славнов Е.В.* Математическое моделирование процесса прямого отжима масличной культуры // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2014. № 1. С. 31-56. DOI: 10.15593/2224-9893/2014.1.02.

6. *Меретуков З.А., Кошевой Е.П.* Моделирование деформирования растительного материала на выходе из матрицы экструдера // Новые технологии. 2009. № 2. С. 29-32.
7. *Akysh A.Sh.* About the new version of maximum principle of Navier-Stokes equations // Bulletin of the Karaganda University. Series: Mathematics. 2015. No. 2 (78). P. 11-17.
8. *Шорсткий И.А., Кошевой Е.П., Косачев В.С., Меретуков З.А.* Вязкость спиртовых суспензий измельченных семян подсолнечника // Новые технологии. 2015. № 3. С. 40-44.
9. *Гукасян А.В., Кошевой Е.П., Косачев В.С., Схаляхов А.А., Меретуков З.А.* Моделирование реологических зависимостей процесса экструдирования масличного материала // Новые технологии. 2019. № 3. С. 41-50. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10304.
10. Химический состав в % стали 38Х2МЮА. URL: https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stj/38x2mya (дата обращения: 12.01.2022).
11. *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. P. 032051. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032051.

References:

1. Koshevoj E. P., Gukasjan A. V., Kosachev V. S. Dvumernaja model' techenija materiala v kanale shneka s nepodvizhnoj kryshkoj [Two-dimensional model of material flow in a screw channel with a fixed lid]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2018, vol. 80, no. 1 (75), pp. 20-24. (In Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2018-1-20-24.
2. Koshevoj E.P., Kosachev B.C., Meretukov Z.A. Teoreticheskoe rassmotrenie deformirovanija materiala na vyhode `ekstrudera [Theoretical consideration of material deformation at the output of the extruder]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pischevaja tehnologija* [News of higher educational institutions. Food technology], 2004, no. 5-6, pp. 86-88. (In Russian).
3. Shorstkij I.A., Hudjakov D.A. Analiz reologicheskih svojstv mezgi podsolnechnika v protsesse pressovanija s variatsiej temperatury, davlenija i maslichnosti [Analysis of rheological properties of sunflower pulp in the pressing process with variations in temperature, pressure and oil content]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Moscow State Technical University. Proceedings of the Murmansk State Technical University], 2019, vol. 22, no. 3, pp. 395-403. (In Russian). DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-3-395-403.
4. Meretukov Z.A., Koshevoj E.P. Modelirovanie deformirovanija rastitel'nogo materiala na vyhode iz matritsy `ekstrudera [Modeling of deformation of plant material at the output of the extruder matrix]. *Novye tehnologii* [New technologies], 2009, no. 2, pp. 29-32. (In Russian).
5. Anferov S.D., Skul'skij O. I., Slavnov E.V. Matematicheskoe modelirovanie protsessa prjamogo otzhima maslichnoj kul'tury [Mathematical modeling of the process of direct extraction of oilseeds]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Mehanika* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Mechanics], 2014, no. 1, pp. 31-56. (In Russian). DOI: 10.15593/2224-9893/2014.1.02.
6. Meretukov Z.A., Koshevoj E.P. Modelirovanie deformirovanija rastitel'nogo materiala na vyhode iz matritsy `ekstrudera [Modeling of deformation of plant material at the output of the extruder matrix]. *Novye tehnologii* [New technologies], 2009, no. 2, pp. 29-32. (In Russian).
7. Akysh A.Sh. About the new version of maximum principle of Navier-Stokes equations. *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series*, 2015, no. 2 (78), pp. 11-17. (In English).
8. Shorstkij I.A., Koshevoj E.P., Kosachev V.S., Meretukov Z.A. Vjazkost' spirtovyh suspenzij izmel'chennyh semjan podsolnechnika [Viscosity of alcohol suspensions of crushed sunflower seeds]. *Novye tehnologii* [New technologies], 2015, no. 3, pp. 40-44. (In Russian).
9. Gukasjan A.V., Koshevoj E.P., Kosachev V.S., Shaljahov A.A., Meretukov Z.A. Modelirovanie reologicheskih zavisimostej protsessa `ekstrudirovanija maslichnogo materiala [Modeling of rheological dependencies of the oilseed extrusion process]. *Novye tehnologii* [New technologies],

2019, no. 3, pp. 41-50. (In Russian). DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10304
10. *Himicheskij sostav v % stali 38H2MjuA* [Chemical composition in % steel 38X2MYA]. URL: https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stj/38x2mya (accessed 12.01.2022).
11. 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, pp. 032051. (In English). DOI 10.1088/1742-6596/1015/3/032051.

Сведения об авторах / Information about authors

Гукасян Александр Валерьевич	канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технологического оборудования и систем жизнеобеспечения Кубанский государственный технологический университет 350072, Россия, Краснодарский край г. Краснодар, ул. Московская, 2 aleksandr_gukasyan@mail.ru
Ghukasyan Alexander Valerievich	Ph.D. (Engin.), Associate Professor, Head of the Department of Technological Equipment and Life Support Systems Kuban State Technological University 350072, Russia, Krasnodar Territory, Krasnodar, Moskovskaya str., 2 aleksandr_gukasyan@mail.ru
Косачев Вячеслав Степанович	д-р техн. наук, профессор кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения Кубанский государственный технологический университет 350072, Россия, Краснодарский край г. Краснодар, ул. Московская, 2 vs.kosachev@gmail.com
Kosachev Vyacheslav Stepanovich	Dr. Sci. (Engin.), Professor of the Department of Technological Equipment and Life Support Systems Kuban State Technological University 350072, Russia, Krasnodar Territory, Krasnodar, Moskovskaya str., 2 vs.kosachev@gmail.com
Шилько Денис Александрович	оператор 4-й научной роты Военный инновационный технополис «ЭРА» 353456, Краснодарский край, г. Анапа, Пионерский пр., 41 maykop17@gmail.com
Shilko Denis Alexandrovich	operator of the 4th scientific company Military innovative technopolis “ERA” 353456, Krasnodar Territory, Anapa, Pionersky blvd, 41 maykop17@gmail.com

УДК 663.8 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_103**

Соколов А.С., Яшонков А.А., Соколов С.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КИНЕТИКИ ДЕГРАДАЦИИ ВИТАМИНА *С* В СОКАХ ЦИТРУСОВЫХ ПЛОДОВ, ОБРАБОТАННЫХ ВЫСОКИМ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация. В статье рассмотрены и проанализированы результаты цикла экспериментальных исследований по изучению влияния обработки высоким гидростатическим давлением на концентрацию витамина С в свежевыжатых цитрусовых соках как непосредственно после обработки, так и в течение 28 суток хранения. Обработка соков велась давлением от 100 до 400 Мпа, при времени экспозиции от 5 до 15 минут. Изучалась кинетика деградации витамина С в водном растворе аскорбиновой кислоты (модельная система) и в соках (апельсиновом, мандариновом, лимонном). Методом переходного состояния рассчитаны константы скорости окисления аскорбиновой кислоты в цитрусовых соках. Использование этого метода позволило дать качественную оценку изменению скорости реакции в зависимости от давления. Рассчитанные теоретические константы были сопоставлены с экспериментальными. Отклонение теоретических и экспериментальных констант указывает на то, что посредством полученных уравнений можно только приблизительно оценить влияние давления на константу скорости окисления, так как эти уравнения не учитывают влияние растворителя. Также была проведена статистическая обработка экспериментальных результатов и рассчитана константа скорости с доверительным интервалом.
Ключевые слова: цитрусовые соки, высокое давление, витамин С, кинетика окисления.

Sokolov S.A. Yashonkov A.A., Sokolov A.S.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF VITAMIN C DEGRADATION KINETICS IN CITRUS FRUIT JUICES PROCESSED WITH HIGH HYDROSTATIC PRESSURE

Abstract. The article reviews and analyzes the results of a cycle of experimental studies on the effect of high hydrostatic pressure treatment on the concentration of vitamin C in freshly squeezed citrus juices both immediately after treatment and during 28 days of storage. The processing of juices was carried out with a pressure of 100 to 400 MPa, with an exposure time of 5 to 15 minutes. The kinetics of vitamin C degradation in an aqueous solution of ascorbic acid (model system) and in juices (orange, tangerine, lemon) was studied. The rate constants of ascorbic acid oxidation in citrus juices were calculated by the transition state method. The use of this method made it possible to give a qualitative assessment of the change in the reaction rate depending on the pressure. The calculated theoretical constants were compared with the experimental ones. The deviation of the theoretical and experimental constants indicates that the obtained equations can only approximately estimate the effect of pressure on the oxidation rate constant, since these equations do not take into account the effect of the solvent. Statistical processing of the experimental results was also carried out and the rate constant was calculated with a confidence interval.
Keywords: citrus juices, high pressure, vitamin C, oxidation kinetics.

Введение. Большинство потребителей в мире осознают важность питания не только как важнейшей функции организма человека, поставляющей ему энергию, необходимую для покрытия затрат на процессы жизнедеятельности, но

и как источник снабжения организма биологически активными веществами – витаминами, необходимыми для регулирования обменных процессов [1]. Кроме того, большинство потребителей приветствуют продукты содержащие натуральные соединения и добавки с полезными для здоровья свойствами. Витамин С необходим для правильного функционирования организма человека в качестве кофактора ферментов биохимических реакций, катализируемых монооксигеназами, диоксигеназами и оксигеназами со смешанными функциями. В Европейском Союзе был разработан перечень полезных свойств витаминов [2], в котором именно витамин С фигурирует намного чаще других витаминов. В числе прочих полезных свойств указывается, что аскорбиновая кислота способствует поддержанию нормальной функции иммунной системы, способствует правильному образованию коллагена, необходимого для нормального функционирования костей, хрящей, десен, кожи и зубов, а также способствует защите клеток от окислительных процессов [3]. Витамин С является экзогенным соединением для человека, а это означает, что он не вырабатывается в организме человека и должен поступать с пищей. Рекомендуемая суточная доза витамина С находится на уровне 80 мг/сут [4]. В тоже время немецкие, австрийские и швейцарские организации проводящие исследования в области питания считают, что эталонное значение (рекомендуемое потребление) должно составлять 110 мг/день для мужчин и 95 мг/сутки для взрослых женщин. Однако эти рекомендации могут различаться в зависимости от пола, возраста и состояния здоровья [5]. Наибольшее количество витамина С содержится в фруктах и овощах [6, 7].

Очевидно, что практически любая переработка фруктов и овощей связана с потерей биоактивных веществ и ингредиентов [8]. Пищевая и перерабатывающая промышленность сосредоточена на поиске новых решений, позволяющих не только повышать эффективность производства, но и способствовать повышению качества производимых продуктов с тем, чтобы они, сохраняя свою естественную ценность, могли удовлетворить ожидания

осведомленного и требовательного потребителя [9].

Традиционно производимые фруктовые соки с целью увеличения их сроков хранения и реализации подвергаются термической обработке. При этом основные усилия разработчиков процессов обеззараживания соков направляются на определение и обоснование оптимальных и минимальных температур и времени её воздействия на обрабатываемые соки [12, 13]. В настоящее время уровень знаний свидетельствует о том, что замена классических термических операций, используемых на различных стадиях производства соков, на инновационные нетермические методы может способствовать не только повышению эффективности обработки, но и снижению потерь лабильных биоактивных ингредиентов при увеличении их стабильности при хранении [14-16].

Цель исследования – экспериментально изучить влияние обработки свежевыжатых цитрусовых соков (апельсинового, мандаринового, лимонного) высоким гидростатическим давлением (ВГД) на концентрацию в них витамина С как сразу после обработки, так и в течение сроков хранения.

Материалы и методы исследования

Современные нетермические технологии являются эффективной альтернативой традиционным, как правило тепловым, технологиям консервирования продуктов способные сохранять их пищевую и сенсорную ценность на максимально возможном уровне [17].

Обработка ВГД – метод, в котором обычно используется давление в диапазоне от 100 до600 МПа. В настоящее время этот метод внедрен в пищевое производство в США и странах Европы. Обработка ВГД не только повышает микробиологическую стабильность и снижает активность ферментов в продуктах переработки, но и по сравнению с традиционной термической обработкой, способствует лучшему сохранению биоактивных соединений [18, 19]. Применение высокого давления осуществляется при низких температурах; следовательно, этот процесс способствует лучшему сохранению биологически

активных ингредиентов, в том числе витамина С. По мнению исследователей [20], ВГД является одним из самых простых и экологически чистых способов уничтожения микробиологических патогенов. Высокое давление сжимает продукт однородно, что приводит к уменьшению количества микроорганизмов при неизменном сохранении параметров качества; однако минимальное необходимое давление для инактивации вегетативных микроорганизмов при температуре окружающей среды для различных продуктов определяется экспериментальным путём [21, 22]. Температура при обработке ВГД обычно ниже 40 ºС, а время, используемое для процесса, колеблется от нескольких минут до часа. В сравнении, представленном в исследованиях [20], сохранение витамина С при использовании различных условий обработки давлением в 18 фруктовых соках находятся в диапазоне от 76 % до 96 %. Наибольшие потери витамина С (24 %) наблюдались в томатном соке при использовании 500 МПа при 25 °С в течение 10 мин [23] и в морковном соке при 500 МПа при 40 °С в течение 15 мин [24]. Некоторые исследования даже указывают на увеличение содержания витамина С (около 3 %) после обработки ВГД. В работе [18] приведены результаты сравнения содержания биоактивных соединений, в том числе витамина С, в клубничном пюре, после обработки ВГД в диапазоне 400-500-600 МПа и термически обработанного при 70 °С. Исследования показали значительные потери аскорбиновой кислоты на уровне 22,6 % в термически обработанном пюре. Эти потери были значительно выше, чем в пюре, обработанном ВГД. При обработке высоким давлением клубничного пюре снижение содержания витамина С было менее чем на 9 % по сравнению с исходным уровнем витамина С. Данные, собранные в обзоре [22], показывают, что большинство проведенных исследований, учитывающих влияние обработки ВГД на плодоовощную продукцию, показали очень высокий уровень удержания витамина С (79-99 % во фруктовых продуктах и 67-93 % в овощных продуктах). Кроме того, выявлена большая стабильность витамина С при хранении обработанной ВГД продукции по сравнению с продукцией, обработанной

термически [25-33]. Таким образом, технология с применением ВГД демонстрирует значительный потенциал сохранения витамина С не только при обработке, но и при хранении, а также весомая альтернатива термической обработке пищевых продуктов, обеспечивающая как микробиологическую стабильность, так и лучшее сохранение полезных для здоровья соединений.

Для внедрения процесса обработки ВГД свежевыжатых цитрусовых соков необходимы исследования вопросов возможной взаимосвязи между параметрами процесса, патогенными микроорганизмами и концентрацией биологически активных соединений. Что же касается самой технологии обработки давлением, то она нуждается в оценке степени своей пригодности для обработки цитрусовых соков для их стерилизации и придания им новых, более высоких потребительских свойств. В этом плане необходимо провести оценку взаимодействия между такими факторами, как величина давления, продолжительность обработки, и температура, а также их совместное влияние, в частности, на концентрацию витамина С, понять механизм действия и установить эффективные комбинации основных технологических факторов.

Для решения поставленной выше задачи нами был проведен цикл экспериментальных исследований по изучению деградации витамина С в соках цитрусовых плодов (апельсин, мандарин, лимон). Соки подвергались обработке ВГД от 200 до 500 МПа со временем экспозиции от 5 до 15 минут. Исследование кинетики окисления основано на фотометрическом определении излишка 2,6-дихлорфенолиндофенола после восстановления выдающейся его части аскорбиновой кислотой. Для достижения цели исследований определялось изменение концентраций витамина С в водном растворе аскорбиновой кислоты (модельная система) и в соках (апельсиновом, мандариновом, лимонном). Для определения концентрации витамина С использовалась методика по ГОСТу пищевой промышленности [34] и Г. Н. Чупахиной [35].

Результаты исследования и их обсуждение

Были определены зависимости оптической плотности органического

экстракта 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия от объема 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия в мл для раствора аскорбиновой кислоты (АК) (модельной системы) (таблица 1) и построен калибровочный график (рисунок 1).

Таблица 1 – Значения оптической плотности раствора 2,6-дихлорфенолиндофенола от его объема

№	Оптическая плотность, Д	Объем 2,6 дихлор-фенолиндофенола, Vмл
1	0	0
2	0,035	0,2
3	0,084	0,4
4	0,112	0,6
5	0,145	0,8

Объем V_2 находится из уравнения аппроксимирующей функции:

$$y = 0.1835x + 0{,}0018$$

Для определения массовой доли аскорбиновой кислоты по формуле:

$$X_1 = \frac{(V_1 - V_2 - V_3) \times T \times V_4 \times 1000}{V_5 \times m}$$

используется V_1 – 1 мл, V_2 – по графику, V_3 – 0,1 мл, титр Т – 0,000083 г/см^3. Массовая доля по этим данным ω = 0,0156 %. Концентрация витамина С в водном растворе аскорбиновой кислоты равнялась С = $4{,}54 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

Для определения времени деградации витамина С в необработанных давлением соках были проведены ежедневные измерения его концентрации у всех соков в течение семи дней хранения в темном месте. Данные занесены в таблицу 2 и представлены графически на рисунке 2.

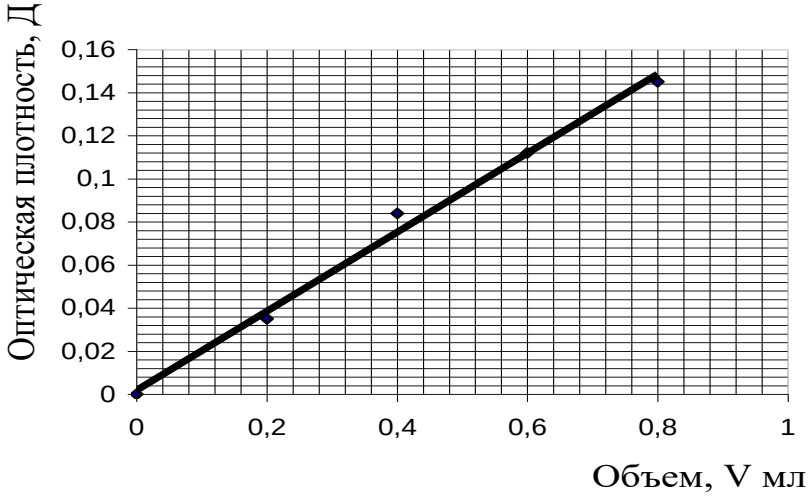

Рисунок 1 – Калибровочный график для определения объема раствора 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия по оптической плотности для раствора АК

Таблица 2 – Изменение концентрации витамина С в соках при хранении (без обработки давлением)

Выдержка, дни	Апельсиновый сок	Лимонный сок	Мандариновый сок	Раствор аскорбиновой кислоты
	Концентрация, $C \cdot 10^{-4}$ моль/л			
0	3,61	4,21	3,94	4,54
4	3,41	4,11	3,76	4,38
7	3,11	4,01	3,51	4,22

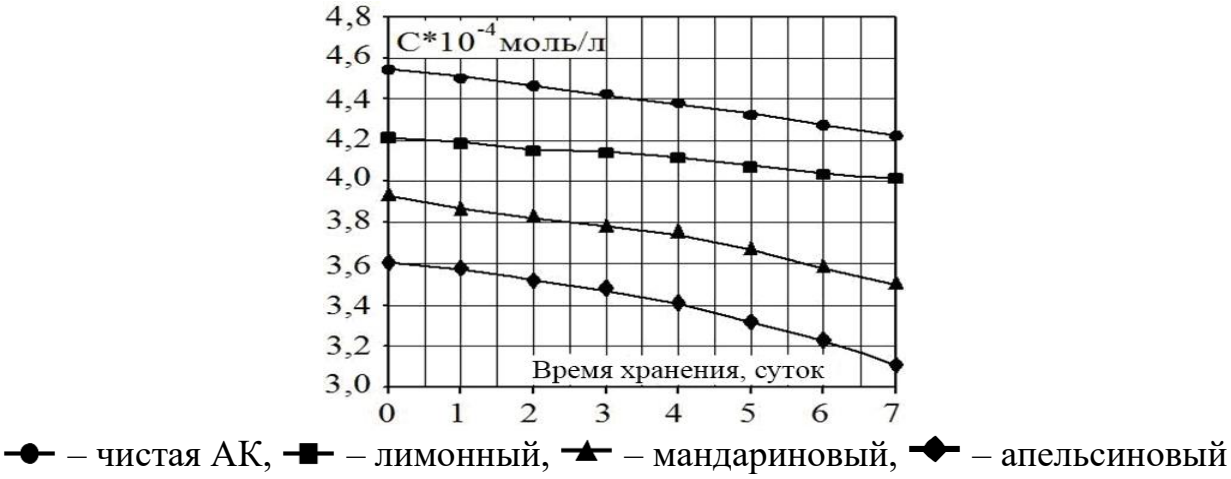

Рисунок 2 – Изменение концентрации витамина С в зависимости от времени хранения (без обработки давлением)

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что на сохранность витамина С в соках влияет pH среды, что может быть связано с цепным процессом окисления аскорбиновой кислоты, где H^+-ионы играют важную роль. Дальнейшие исследования были связаны с определением концентрации витамина С в соках цитрусовых плодов, прошедших обработку высоким давлением. Полученные экспериментальные данные приведены в таблицах 3-5 и представлены графически на рисунках 3-5.

Таблица 3 – Изменение концентраций витамина С апельсинового сока, обработанного давлением с учетом времени экспозиции

Температура, °С	Давление, МПа	Время 5 мин			Время 10 мин			Время 15 мин		
		Концентрация, $C \cdot 10^{-4}$ моль/л								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
18	н/а	3,61	2,65	1,56	3,61	2,65	1,56	3,61	2,65	1,56
24	200	3,51	2,60	1,15	3,14	2,55	1,02	2,25	1,95	0,70
27	300	3,12	2,53	0,96	3,02	2,15	0,76	1,80	1,75	0,56
33	500	1,54	1,15	0,01	1,45	0,77	0,12	0,34	0,1	0,1

Таблица 4 – Изменение концентраций витамина С мандаринового сока, обработанного давлением с учетом времени экспозиции

Температура, C^0	Давление, МПа	Время 5 мин			Время 10 мин			Время 15 мин		
		Концентрация, $C \cdot 10^{-4}$ моль/л								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
18	н/а	3,94	2,01	1,38	3,94	2,01	1,38	3,94	2,01	1,38
24	200	3,64	1,96	1,13	3,24	1,85	1,01	3,01	1,57	0,60
27	300	3,14	1,76	0,94	3,05	1,64	0,87	0,87	2,12	0,65
33	500	1,65	1,17	0,26	1, 57	0,68	0,51	0,51	0,49	0,1

В таблице 6 приведено сравнение относительных концентраций витамина С.

Таблица 5 – Изменение концентраций витамина С лимонного сока, обработанного давлением с учетом времени экспозиции

Температура, C^0	Давление, МПа	Время 5 мин			Время 10 мин			Время 15 мин		
		Концентрация, $C \cdot 10^{-4}$ моль/л								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
18	н/а	4,21	2,13	1,61	4,21	2,13	1,61	4,21	2,13	1,61
24	200	4,01	2,10	1,59	3,96	2,08	1,56	3,49	1,74	1,02
27	300	3,94	1,87	1,43	3,75	2,72	1,88	2,87	1,44	0,85
33	500	2,25	1,11	1,14	2,10	1,58	0,80	1,12	0,94	0,52

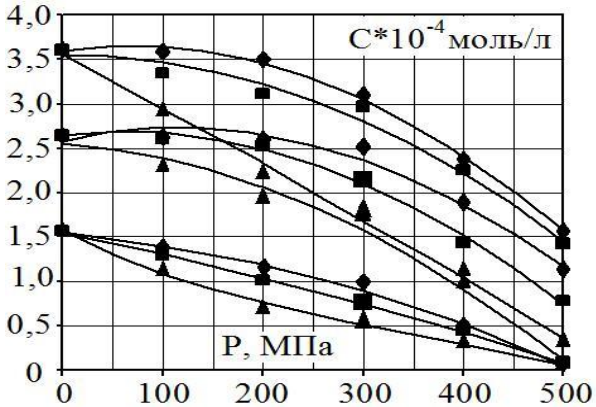

Рисунок 3 – Изменение концентрации витамина С апельсинового сока, обработанного ВД, в зависимости от экспозиции:

◆ – 5 мин; ■ – 10 мин; ▲ – 15 мин

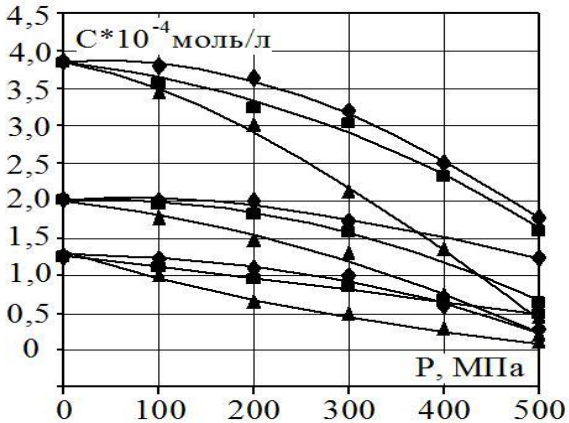

Рисунок 4 – Изменение концентрации витамина С мандаринового сока, обработанного ВД, в зависимости от экспозиции:

◆ – 5 мин; ■ – 10 мин; ▲ – 15 мин

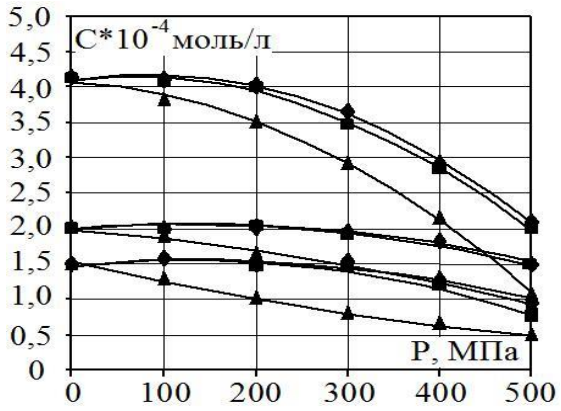

Рисунок 5 – Изменение концентрации витамина С лимонного сока, обработанного ВД, в зависимости от экспозиции:

◆ – 5 мин; ■ – 10 мин; ▲ – 15 мин

Таблица 6 – Сравнение изменения относительных концентраций витамина С

Содержимое	5 мин			10 мин			15 мин		
	200 МПа	300 МПа	500 МПа	200 МПа	300 МПа	500 МПа	200 МПа	300 МПа	500 МПа
	Относительная концентрация								
Апельсиновый сок	0,94	0,86	0,43	0,87	0,84	0,40	0,62	0,50	0,094
Мандариновый сок	0,92	0,80	0,42	0,82	0,77	0,40	076	0,22	0,13
Лимонный сок	0,95	0,94	0,53	0,94	0,89	0,50	0,83	0,68	0,27
Раствор АК	0,98	0,97	0,66	0,97	0,93	0,57	0,90	0,75	0,36

Анализ полученных результатов показывает, что для обработки цитрусовых соков можно использовать давление 200-300 МПа со временем выдержки 5-10 минут, но ранее нами получены данные [36], говорящие о том, что полная инактивация микроорганизмов наблюдается при обработке давлением 400МПа, так же были получены данные по инактивации ВГД пектинметилэстеразы в апельсиновом соке [37] которыми определен такой же диапазон применяемых для обработки давлений. Поэтому для увеличения сроков хранения необходимо использовать давление 400 Мпа. Если же предусматривать производство сока со сроком хранения не более 28 суток, то возможно

применение давления 300 МПа, при этом такой сок будет иметь большую концентрацию витамина С. Для изучения кинетики деградации витамина С в свежевыжатых соках в течении его хранения, нами был проведен эксперимент, в котором производились замеры остаточной концентрации витамина С каждые 7 дней в течение 28 суток. Каждый сок имел три начальных концентрации витамина С. Полученные значения сроков хранения с точки зрения концентрации витамина С приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Сроки хранения свежевыжатых цитрусовых соков с точки зрения концентрации витамина С

Давление, МПа	200			300			500		
Экспозиция, мин	5	10	15	5	10	15	5	10	15
Время хранения, суток	Мандариновый сок, начальная концентрация, $C \cdot 10^{-4}$ моль/л								
0	3,64	3,24	3,05	3,14	3,05	2,12	1,65	1,57	0,49
7	3,42	3,2	2,64	2,86	2,98	1,83	1,41	1,31	0,21
14	3,2	2,98	2,36	2,74	2,83	1,61	1,23	1,12	0,054
21	2,64	2,88	2,09	2,57	2,74	1,43	0,84	0,84	0,023
28	2,1	2,73	1,71	2,32	2,61	1,12	0,51	0,62	0,001
Время хранения, суток	Лимонный сок, начальная концентрация, $C \cdot 10^{-4}$ моль/л								
0	4,01	3,96	3,49	3,94	3,75	2,87	2,25	2,1	1,12
7	3,84	3,86	3,25	3,74	3,64	2,61	2,11	1,96	0,84
14	3,67	3,72	3,04	3,53	3,51	2,43	1,83	1,86	0,62
21	3,52	3,61	2,64	3,24	3,46	2,19	1,53	1,69	0,41
28	2,46	3,47	2,16	2,64	3,28	1,54	1,24	1,58	0,25
Время хранения, суток	Апельсиновый сок, начальная концентрация, $C \cdot 10^{-4}$ моль/л								
0	3,51	3,14	2,25	3,12	3,02	1,8	1,54	1,45	0,34
7	3,47	3,1	2,04	3,05	2,98	1,73	1,44	1,35	0,22
14	3,05	2,87	1,76	2,77	2,85	1,64	1,32	1,2	0,12
21	2,94	2,75	1,45	2,54	2,74	1,53	1,2	1,13	0,05
28	1,05	2,59	1,23	2,15	2,68	1,22	1,01	0,94	0,01

Ранее нами были проведены эксперименты [36] по изучению сроков хранения свежевыжатых соков, в результате которых срок хранения в 28 суток был сроком начала роста МАФАМ после обработки его давлением в диапазоне от 200 до 300 МПа. В соках, обработанных давлением в диапазоне от 500 до 800 Мпа, рост не наблюдался даже на 90 сутки хранения в холодильнике при температуре 5 °С.

Для расчетов кинетических параметров витамина С в данных соках под влиянием давления использовали кинетическое уравнение для реакций первого порядка. Данные представлены в таблицах 8-10.

Таблица 8 – Кинетические параметры для апельсинового сока

Давление МПа	Концентрация витамина С (начальная), С·10^{-4} моль/л	$К_{экспер.}$ ·10^{-4} моль/л						Е, Дж		
		5 мин		10 мин		15 мин		5 мин	10 мин	15 мин
			$К_{ср}$		$К_{ср}$		$К_{ср}$			
200	3,61	0,24	0,46	0,43	0,37	1,14	1,37	$8,11·10^3$	$8,52·10^3$	$6,94·10^3$
	2,65	0,51		0,92		0,74				
	1,56	0,64		1,03		2,24				
300	3,61	0,57	0,61	0,73	0,99	1,68	1,72			
	2,65	0,51		0,50		1,00				
	1,56	1,17		1,74		2,47				
500	3,61	2,06	2,04	2,20	3,81	6,70	7,08			
	2,65	2,01		2,98		7,91				
	1,56	2,02		6,21		6,63				

Таблица 9 – Кинетические параметры для мандаринового сока

Давление, МПа	Концентрация витамина С (начальная), С·10^{-4} моль/л	$К_{экспер.}$ ·10^{-4} моль/л						Е, Дж		
		5 мин		10 мин		15 мин		5 мин	10 мин	15 мин
			$К_{ср}$		$К_{ср}$		$К_{ср}$			
200	3,94	0,19	0,36	0,37	0,59	0,62	1,08	$8,73·10^3$	$7,69·10^3$	$7,12·10^3$
	2,01	0,41		0,62		0,60				
	1,38	0,48		0,75		2,01				
300	3,94	0,55	0,61	0,62	0,74	1,50	1,43			
	2,01	0,34		0,49		0,98				
	1,38	0,93		1,11		1,82				
500	3,94	2,00	1,78	2,22	2,96	6,30	5,99			
	2,01	1,31		2,62		5,34				
	1,38	2,04		4,03		6,34				

Таблица 10 – Кинетические параметры для лимонного сока

Давление, МПа	Концентрация витамина С (начальная), С·10^{-4} моль/л	$K_{экспер.}$ ·10^{-4} моль/л						Е, Дж		
		5 мин		10 мин		15 мин		5 мин	10 мин	15 мин
			$K_{ср}$		$K_{ср}$		$K_{ср}$			
200	4,21	0,12	0,26	0,15	0,50	0,45	0,68	$1,13\cdot10^4$	$1,11\cdot10^4$	$5,07\cdot10^3$
	2,13	0,34		0,58		0,49				
	1,61	0,31		0,77		1,10				
300	4,21	0,16	0,26	0,28	0,42	0,93	1,14			
	2,13	0,32		0,54		0,95				
	1,61	0,29		0,43		1,54				
500	4,21	1,51	0,95	1,68	1,36	2,20	2,30			
	2,13	0,51		0,72		1,98				
	1,61	0,84		1,69		2,73				

Результаты, приведенные в таблицах 8-10, показывают, что увеличение констант скорости наблюдается в ряду: лимонный, мандариновый, апельсиновый сок. Расчеты констант скорости подтверждают, что оптимальным является давление 300 МПа и время выдержки 5-10 минут. При расчете констант скорости окисления аскорбиновой кислоты и приведенных соках мы использовали метод переходного состояния. Согласно этому методу, зависимость констант скорости от давления описывается уравнением:

$$\left(\frac{\partial lnk}{\partial p}\right)_T = -\frac{1}{RT}\left(\frac{\partial \Delta G^{\neq}}{\partial p}\right)_T - \frac{\Delta V^{\neq}}{RT} \quad (1)$$

где

$$\Delta V^{\neq} = V^{\neq} - \Sigma V_{нач}.$$

Если $\Delta V^{\neq} < 0$, то константа скорости будет увеличиваться при увеличении давления (правая часть уравнения положительная). Использование этого метода позволяет дать качественную оценку изменения скорости реакции в зависимости от давления. Скорость окисления витамина С зависит как от увеличения концентрации реагирующих веществ с ростом давления, так и от действия

последнего на константу скорости реакции [38, 39]. На основе полученных экспериментальных данных мы построили графические зависимости $\ell nK = f(p)$ (рис. 6-8) по координатам уравнения (1), для которых получили уравнения зависимости констант скорости реакции от давления (2-4).

С помощью этих уравнений были рассчитаны теоретические константы и сопоставлены с полученным экспериментальным путем (таблица 11) Отклонение теоретических и экспериментальных констант указывает на то, что посредством полученных уравнений можно только приблизительно оценить влияние давления на константу скорости окисления, так как эти уравнения не учитывают влияние растворителя. Также была проведена статистическая обработка экспериментальных результатов и рассчитана константа скорости с доверительным интервалом. Данные представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Сравнение констант скорости реакции раствора аскорбиновой кислоты с исследуемыми соками

Давление, МПа	Константа скорости реакции (раствор АК)	Константа скорости реакции (лимонный сок)	Константа скорости реакции (мандариновый сок)	Константа скорости реакции (апельсиновый сок)
200	0,018±0,0002	0,0096±0,00042	0,020±0,0012	0,023±0,0037
	0,021±0,0002	0,0064±0,00015	0,019±0,00043	0,020±0,0014
	0,030±0,0002	0,013±0,00099	0,031±0,0019	0,037±0,0011
300	0,024±0,0005	0,017±0,00025	0,050±0,0023	0,045±0,0073
	0,055±0,0009	0,018±0,00079	0,031±0,00069	0,037±0,0032
	0,085±0,0002	0,024±0,0016	0,055±0,0099	0,050±0,0016
500	0,12±0,002	0,17±0,00032	0,20±0,043	0,54±0,86
	0,15±0,004	0,027±0,00036	0,30±0,0003	0,16±0,047
	0,27±0,009	0,73±0,00011	0,44±0,0056	0,49±0,0060

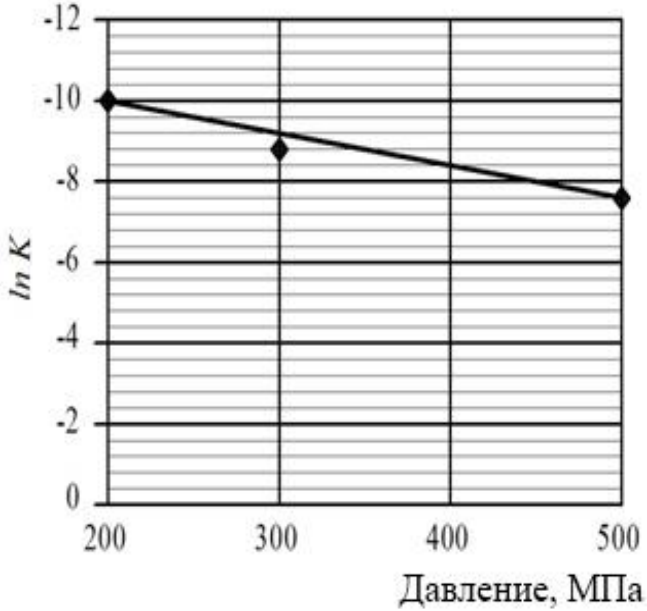

Рисунок 6 – Зависимость констант скорости реакции от давления для апельсинового сока

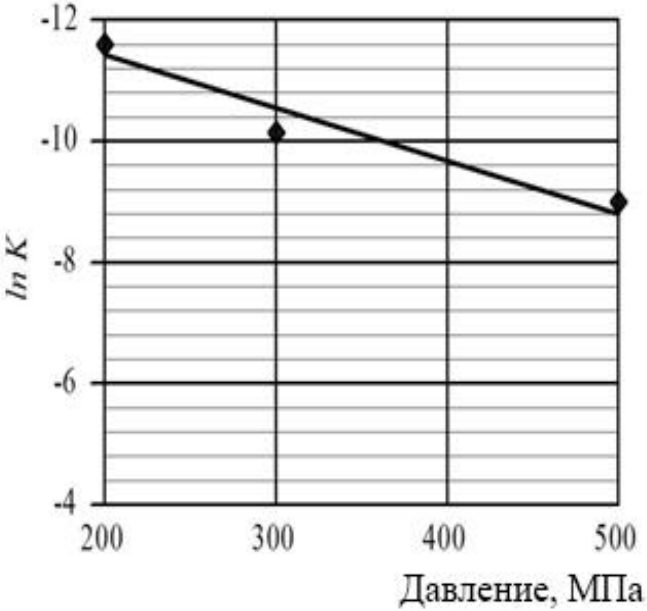

Рисунок 7 – Зависимость констант скорости реакции от давления для лимонного сока

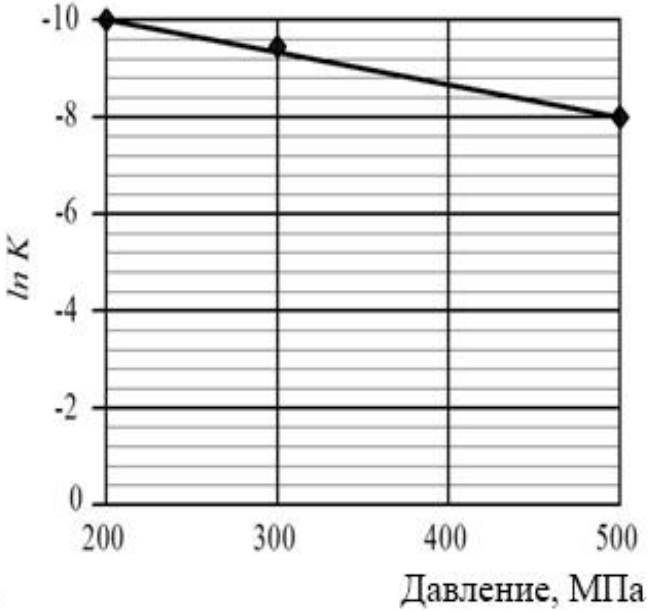

Рисунок 8 – Зависимость констант скорости реакции от давления для мандаринового сока

$$\ln K = 1{,}03 \cdot 10^{-8} p - 11{,}60$$
$$\Delta V = -2{,}57 \cdot 10^{-5} (м^2) \quad (2)$$

$$\ln K = 1{,}33 \cdot 10^{-8} p - 13{,}75$$
$$\Delta V = -3{,}32 \cdot 10^{-5} (м^2) \quad (3)$$

$$\ln K = 0{,}92 \cdot 10^{-8} p - 11{,}25$$
$$\Delta V = -3{,}32 \cdot 10^{-5} (м^2) \quad (4)$$

Таблица 11 – Сравнение экспериментальных и теоретических констант скорости реакции

Объект	$К_{экспер.} \cdot 10^{-4}$ моль/л									$К_{теор.} \cdot 10^{-4}$ моль/л								
	Давление, МПа									Давление, МПа								
	200			300			500			200			300			500		
	5 мин	10 мин	15 мин	5 мин	10 мин	15 мин	5 мин	10 мин	15 мин	5 мин	10 мин	15 мин	5 мин	10 мин	15 мин	5 мин	10 мин	15 мин
Раствор АК	0,18	0,41	0,53	0,17	0,34	1,05	0,82	1,22	1,96	0,15	0,23	0,31	0,11	0,15	0,81	0,67	0,64	1,13
Лимонный	0,26	0,50	0,68	0,26	0,42	1,14	0,95	1,36	2,30	0,33	0,50	0,40	0,25	0,36	0,62	0,12	0,19	1,08
Мандариновый	0,36	0,59	1,08	0,61	0,74	1,43	1,78	2,96	5,99	0,13	0,25	0,58	0,31	0,41	0,93	0,45	0,79	1,08
Апельсиновый	0,68	0,79	1,37	0,71	0,99	1,72	2,04	3,81	7,08	0,16	0,26	0,68	0,26	0,43	1,07	0,52	0,88	1,96

Выводы. Анализ экспериментальных данных, позволяет сделать предварительные выводы, что для всех соков при давлении 300 МПа и времени выдержки 10 минут, константа окисления витамина С наименьшая, это свидетельствует о том, что такие условия способствуют лучшему сохранению витамина С в соках. Обработка этих соков давлением более 500 МПа не имеет смысла, так как наблюдается увеличение скорости окисления. С учетом данных, полученных при микробиологических исследованиях, оптимальными параметрами обработки цитрусовых соков будут: давление 400 МПа, температура 20 С, экспозиция 10 минут.

Список использованной литературы:

1. *Соколов С.А., Яковлев О.В., Яшонков А.А., Малич А.А.* Экспериментальное исследование влияния входных параметров на качество готового продукта при переработке рыбного сырья // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. № 3. С. 143-149.
2. Commission Regulation (EU). No 432/2012 of 16 May 2012 establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health // Off. J. Eur. Union, 2012, 136, 1-40.
3. *Bjelakovic G, Nikolova D, Gluud LL, Simonetti RG, Gluud C.* Antioxidant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases. Cochrane Database of Systematic Reviews 2012, Issue 3. Art. No.: CD007176. DOI: 10.1002/14651858.CD007176.pub2.
4. Regulation (EU). No. 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October 2011 on the provision of food information to consumers, amending. Regulations (EC) No. 1924/2006 and (EC) No. 1925/2006 of the European Parliament and of the Council // Off. J. Eur. Union, 2009, 77, 81.
5. DGE-German Nutrition Society. New Reference Values for Vitamin C Intake. Review Article // Ann. Nutr. Metab., 2015, 67, 13-20. DOI: 10.1159/000434757.
6. *Belitz H.D., Grosch, W., Schieberle P.* Food Chemistry. Vitamins. In Food Chemistry // Food Chemistry. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009. P. 403-420.
7. *Турбина Е.С.* Оценка содержания витамина С в растениеводческой продукции // Вестник ПГУ им. Шолом-Алейхема. 2016. № 3 (24). С. 66-71.
8. *Devaki Sudha, Reshma L.R.* Vitamin C: Sources, Functions, Sensing and Analysis. 2017. DOI: 10.5772/intechopen.70162.
9. USDA. Composition of Foods Raw, Processed, Prepared National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28. 2015. URL: https://health.gov/sites/default/files/2019-09/2015-2020_Dietary_Guidelines.pdf (дата обращения: 09.03.2022).
10. *Шобингер У.* Фруктовые и овощные соки: научные основы и технологии. СПб.: Профессия, 2004. 640 с.
11. *Mililnd S.L.* Citrus fruit, Biology, Techonology and Evaluation. Goa, India: Elsevier, 2008. 574p.
12. *Флауменбаум Б.Л.* Математический расчет формул стерилизации консервов // Известия вузов. Пищевая технология. 1985. № 3. С. 5-6.
13. *Бабарин В.П.* Тепловая стерилизация плодоовощных консервов: дис. … д-ра техн. наук: 05.18.13 / Виктор Петрович Бабарин. М., 1994. 400 с.

14. *Barba F.J., Mariutti L.R.B., Bragagnolo N., Mercadante A.Z., Barbosa-Cánovas G.V., Orlien V.* Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing // Trends in Food Science and Technology, 2017, 67. P. 195-206.
15. *Usaga J., Worobo R.W.* Microbial safety and quality evaluation of UV-treated, cold-pressed colored and turbid juices and beverages // Journal of Food Protection, 2018, 81. P. 1549-1556. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-18-085.
16. *Соколов С.А. Декань А.А., Севаторов Н.Н.* Сравнительная характеристика традиционных и инновационных процессов обработки для производства натуральных продуктов питания // Оборудование и технологии пищевых производств: сб. науч. трудов. 2016. Вып. 1 (34). С. 101-106.
17. *Сукманов В.А., Соколов С.А., Декань А.А., Севаторов Н.Н., Поддубный В.А., Шевченко А.Ю.* Современные технологии обеспечения качества пищевых продуктов в процессе их длительного хранения. Донецк: ДонНУЕТ, 2012. 308 с.
18. *Patras A., Brunton N.P., Pieve S.D., Butler R.* Impact of high-pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées // Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2009, 40, pp. 308-313. DOI:10.1016/j.ifset.2008.12.004.
19. *Соколов С.А., Сукманов В.А.* Теория и практика применения высокого давления в пищевых технологиях. Донецк: ДонНУЕТ, 2012. 375 с.
20. *Koutchma T., Popovic V., Ros-Polski V., Popielarz A.* Effects of Ultraviolet light and high-pressure processing on quality and health-related constituents of fresh juice products. // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2016, 15. P. 844-867. DOI: 10.1111/1541-4337.12214.
21. *Kadam P.S., Jadhav B.A., Salve R.V., Machewad G.M.* Review on the high-pressure technology (HPT) for food preservation // Journal of Food Processing & Technology, 2012, 3, 100135. DOI: 10.4172/2157-7110.1000135.
22. *Tewari S., Sehrawat R., Nema P.K., Kaur B.P.* Preservation effect of high-pressure processing on ascorbic acid of fruits and vegetables: A review // Journal of Food Biochemistry, 2017, 41, e12319. DOI: 10.1111/jfbc.12319.
23. *Hsu K.C., Tan F.J., Chi H.Y.* Evaluation of microbial inactivation and physicochemical properties of pressurized tomato juice during refrigerated storage // LWT – Food Science and Technology, 2008, 41. P. 367-375. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.03.030.
24. *Gong Y., Yu J.Y., Qian P., Meng J., Zhang X.J., Lu R.R.* Comparative study of the microbial stability and quality of carrot juice treated by high-pressure processing combined with mild temperature and conventional heat treatment // Journal of Food Process Engineering, 2015, 38. P. 395-404.
25. *Chaikham P.* Comparison of high hydrostatic pressure and thermal processing on physicochemical and antioxidant properties of Maoberry (Antidesma thwaitesianum Müell. Arg.) juice // International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2015, 22. P. 1993-2001.
26. *Chaimoon R., Apichartsrangkoon A., Hiran S.* Processing longan in syrup by ultra-high pressure and pasteurization // Journal of Agriculture (Thai Journal), 2009, 23. P. 313-320.
27. *Torres B., Tiwari B.K., Patras A., Cullen P.J., Brunton N., O'Donnell C.P.* Stability of anthocyanins and ascorbic acid of high pressure processed blood orange juice during storage // Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011, 12. P. 93-97. DOI: 10.1016/j.ifset.2011.01.005.
28. *Cao X., Zhang Y., Zhang F., Wang Y., Yi J., Liao X.* Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulps // Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91. P. 877-885. DOI: 10.1002/jsfa.4260.
29. *Keenan D.F., Rößle C., Gormley R., Butler F., Brunton N.P.* Effect of high hydrostatic pressure and thermal processing on the nutritional quality and enzyme activity of fruit smoothies // LWT – Food Science and Technology, 2012, 45. P. 50-57. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.07.006.

30. *Катанаева Ю.А., Соколов С.А., Севаторов Н.Н., Яшонков А.А.* Современные технологии извлечения компонентов с высокой добавленной стоимостью из отходов пищевой промышленности. Донецк-Керчь: Цифровая Типография, 2020. 149 с.
31. *Kaushik N., Kaur B.P., Rao P.S.* Application of high pressure processing for shelf life extension of litchi fruits (Litchi chinensis cv.Bombai) during refrigerated storage // Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2013, 20. P. 527-541. DOI: 10.1177/1082013213496093.
32. *Marszałek K., Mitek M., Skapska S.* The effect of thermal pasteurization and high-pressure processing at cold and mild temperatures on the chemical composition, microbial and enzyme activity in strawberry purée // Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2015, 27. P. 48-56. DOI: 10.1016/j.ifset.2014.10.009.
33. *Sokolov S., Afenchenko D., Malich A., Yashonkov A., Yakovlev O.* Influence of high-pressure treatment on the rheological characteristics of fish paste // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science, 2019, 403, 012233. DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012233.
34. ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
35. *Масленников П., Чупахина Г.* Методы анализа витаминов: практикум. Калининград: Из-во КГУ, 2004. 36 с. DOI: 10.13140/2.1.1147.7449.
36. *Соколов С.А., Севаторов Н.Н., Левит И.Б.* Экспериментальное определение влияния высокого давления на микробиологические показатели свежевыжатых цитрусовых соков // Проблемы пищевых технологий и питания. Современные вызовы и перспективы развития: материалы VII Международной научно-практической конференции. Славяногорск, 2011, С. 271-274.
37. *Соколов С.А., Баранников А.В.* Технология получения стабильных цитрусовых соков высокого качества за счёт дезактивации пектинметилэстеразы высоким давлением // Сборник тезисов докладов участников пула научно-практических конференций / Под общ. ред. Масюткина Е.П.; Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского; Керченский государственный морской технологический университет; Луганский государственный педагогический университет. Керчь, 2021. С. 145-148.
38. *Гоникберг М.Г.* Химическое равновесие и скорость реакции при высоких давлениях. М.: Химия, 1969. 427 с.
39. *Нога И.В., Шаталов В.М., Сукманов В.А.* Кинетическая модель деградации биомолекул под воздействием высокого давления и температуры // Физика и техника высоких давлений. 2004. Т. 14. № 2. С. 74-85.

References:

1. Sokolov S.A., Yakovlev O.V., Yashonkov A.A., Malich A.A. Eksperimental'noye issledovaniye vliyaniya vkhodnykh parametrov na kachestvo gotovogo produkta pri pererabotke rybnogo syr'ya [Experimental study of the influence of input parameters on the quality of the finished product in the processing of fish raw materials]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya* [Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products], 2020, no. 3, pp. 143-149. (In Russian).
2. Commission Regulation (EU). No 432/2012 of 16 May 2012 establishing a list of permitted health claims made on foods, other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health. *Off. J. Eur. Union*, 2012, 136, 1-40. (In English).
3. Bjelakovic G., Nikolova D., Gluud L.L., Simonetti R.G., Gluud C. *Antioxidant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases. Cochrane Database of Systematic Reviews* 2012, Issue 3. Art. No.: CD007176. (In English). DOI: 10.1002/14651858.CD007176.pub2.
4. Regulation (EU). No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council of 25 October

2011 on the provision of food information to consumers, amending. Regulations (EC) No 1924/2006 and (EC) No 1925/2006 of the European Parliament and of the Council. *Off. J. Eur. Union*, 2009, 77, 81. (In English).
5. DGE-German Nutrition Society. New Reference Values for Vitamin C Intake. Review Article. *Ann. Nutr. Metab.*, 2015, no. 67, pp. 13-20. (In English). DOI: 10.1159/000434757.
6. *Belitz H.D., Grosch W., Schieberle P.* Vitamins. In Food Chemistry. *Food Chemistry*. Berlin/Heidelberg, Springer Publ., 2009, pp. 403-420. (In English).
7. Turbina E. S. Otsenka soderzhaniya vitamina C v rasteniyevodcheskoy produktsii [Assessment of vitamin C content in crop production]. *Vestnik PGU im. Sholom-Aleykhema* [Bulletin of Sholom Aleichem PSU], 2016, no. 3 (24), pp. 66-71. (In Russian).
8. Devaki Sudha & L.R. Reshma. Vitamin C: Sources, Functions, Sensing and Analysis. 2017. (In English). DOI: 10.5772/intechopen.70162.
9. USDA. Composition of Foods Raw, Processed, Prepared National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28. 2015. (In English). Available at: https://health.gov/sites/default/files/2019-09/2015-2020_Dietary_Guidelines.pdf (accessed 09.03.2022).
10. Shobinger U. *Fruktovyye i ovoshchnyye soki: nauchnyye osnovy i tekhnologii* [Fruit and vegetable juices: scientific foundations and technologies]. St Petersburg, Professiya Publ., 2004, 640 p. (In Russian).
11. Mililnd S. L. Citrus fruit, Biology, Technology and Evaluation. Goa, India, Elsevier Publ., 2008, 574 p. (In English).
12. Flaumenbaum B.L. Matematicheskiy raschet formul sterilizatsii konservov [Mathematical calculation of canned sterilization formulas]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of universities. Food technology], 1985, no. 3, pp. 5-6. (In Russian).
13. Babarin V.P. *Teplovaya sterilizatsiya plodoovoshchnykh konservov. Diss. ... dokt. tech. nauk* [Thermal sterilization of canned fruits and vegetables. Dr. engin. sci. diss.]. Moscow, 1994, 400 p. (In Russian).
14. Barba F.J., Mariutti L.R.B., Bragagnolo N., Mercadante A.Z., Barbosa-Cánovas G.V., Orlien V. Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. *Trends in Food Science and Technology*, 2017, 67, pp. 195-206. (In English).
15. Usaga J., Worobo R.W. Microbial safety and quality evaluation of UV-treated, cold-pressed colored and turbid juices and beverages. *Journal of Food Protection*, 2018, 81, pp. 1549-1556. (In Russian). DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-18-085.
16. Sokolov S.A. Dekan' A.A., Sevatorov N.N. Sravnitel'naya kharakteristika traditsionnykh i innovatsionnykh protsessov obrabotki dlya proizvodstva natural'nykh produktov pitaniya [Comparative characteristics of traditional and innovative processing processes for the production of natural food]. Sbornik nauchnyh trudov «*Oborudovaniye i tekhnologii pishchevykh proizvodstv»* [Collection of scientific works “Equipment and technologies of food production”], 2016, vol. 1 (34), pp. 101-106. (In Russian).
17. Sukmanov V.A., Sokolov S.A., Dekan' A.A., Sevatorov N.N., Poddubnyy V.A., Shevchenko A.YU. *Sovremennyye tekhnologii obespecheniya kachestva pishchevykh produktov v protsesse ikh dlitel'nogo khraneniya* [Modern technologies for ensuring the quality of food products during their long-term storage]. Donetsk, DonNUYET Publ., 2012, 308 p. (In Russian).
18. Patras A., Brunton N.P., Pieve S.D., Butler R. Impact of high-pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and color of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2009, 40, pp. 308-313. (In English). DOI:10.1016/j.ifset.2008.12.004.
19. Sokolov S.A., Sukmanov V.A. *Teoriya i praktika primeneniya vysokogo davleniya v pishchevykh tekhnologiyakh* [Theory and practice of high pressure application in food technologies]. Donetsk, DonNUYET Publ., 2012, 375 p. (In Russian).
20. Koutchma T., Popovi´c V., Ros-Polski V., Popielarz A. Effects of Ultraviolet light and high-

pressure processing on quality and health-related constituents of fresh juice products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2016, 15, pp. 844-867. (In English). DOI: 10.1111/1541-4337.12214.
21. Kadam Kadam P.S., Jadhav B.A., Salve R.V., Machewad G.M. Review on the high-pressure technology (HPT) for food preservation. *Journal of Food Processing & Technology*, 2012, 3, 100135. (In English). DOI: 10.4172/2157-7110.1000135.
22. Tewari S., Sehrawat R., Nema P.K., Kaur B.P. Preservation effect of high-pressure processing on ascorbic acid of fruits and vegetables: A review. *Journal of Food Biochemistry*, 2017, 41, e12319. (In English). DOI:10.1111/jfbc.12319.
23. Hsu K.C., Tan F.J., Chi H.Y. Evaluation of microbial inactivation and physicochemical properties of pressurized tomato juice during refrigerated storage. *LWT – Food Science and Technology*, 2008, 41, pp. 367-375. (In English). DOI: 10.1016/j.lwt.2007.03.030.
24. Gong Y., Yu J.Y., Qian P., Meng J., Zhang X.J., Lu R.R. Comparative study of the microbial stability and quality of carrot juice treated by high-pressure processing combined with mild temperature and conventional heat treatment. *Journal of Food Process Engineering*, 2015, 38, pp. 395-404. (In English).
25. Chaikham P. Comparison of high hydrostatic pressure and thermal processing on physicochemical and antioxidant properties of Maoberry (Antidesma thwaitesianum Müell. Arg.) juice. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2015, 22, pp. 1993-2001. (In English).
26. Chaimoon R., Apichartsrangkoon A., Hiran S. Processing longan in syrup by ultra-high pressure and pasteurization. *Journal of Agriculture (Thai Journal)*, 2009, 23, pp. 313-320. (In English).
27. Torres B., Tiwari B.K., Patras A., Cullen P.J., Brunton N., O'Donnell C.P. Stability of anthocyanins and ascorbic acid of high pressure processed blood orange juice during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2011, 12, pp. 93-97. (In English). DOI: 10.1016/j.ifset.2011.01.005.
28. Cao X., Zhang Y., Zhang F., Wang Y., Yi J., Liao X. Effects of high hydrostatic pressure on enzymes, phenolic compounds, anthocyanins, polymeric color and color of strawberry pulps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91, pp. 877-885. (In English). DOI: 10.1002/jsfa.4260.
29. Keenan D.F., Rößle C., Gormley R., Butler F., Brunton N.P. Effect of high hydrostatic pressure and thermal processing on the nutritional quality and enzyme activity of fruit smoothies. *LWT – Food Science and Technology*, 2012, 45, pp. 50-57. (In English). DOI: 10.1016/j.lwt.2011.07.006.
30. Katanayeva YU.A., Sokolov S.A., Sevatorov N.N., Yashonkov A.A. *Sovremennyye tekhnologii izvlecheniya komponentov s vysokoy dobavlennoy stoimost'yu iz otkhodov pishchevoy promyshlennosti* [Modern technologies for extracting components with high added value from food industry waste]. Donetsk-Kerch', Tsifrovaya Tipografiya Publ., 2020, 149 p. (In Russian).
31. Kaushik N., Kaur B.P., Rao P.S. Application of high pressure processing for shelf life extension of litchi fruits (Litchi chinensis cv.Bombai) during refrigerated storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2013, 20, pp. 527-541. (In English). DOI: 10.1177/1082013213496093.
32. Marszałek K., Mitek M., Skapska S. The effect of thermal pasteurization and high-pressure processing at cold and mild temperatures on the chemical composition, microbial and enzyme activity in strawberry purée. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2015, 27, pp. 48-56. (In English). DOI: 10.1016/j.ifset.2014.10.009.
33. Sokolov S., Afenchenko D., Malich A., Yashonkov A., Yakovlev O. Influence of high-pressure treatment on the rheological characteristics of fish paste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, 403, 012233. (In English). DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012233.
34. *GOST 24556-89. Produkty pererabotki plodov i ovoshchey. Metody opredeleniya vitamina C*

[State Standard 24556-89. Fruit and vegetable processing products. Methods for the determination of vitamin C]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2003, 11 p. (In Russian).
35. Maslennikov P. Chupakhina G. (2004). Metody analiza vitaminov: Praktikum [Methods of vitamin analysis: A workshop]. Kaliningrad, KGU Publ., 2004, 36 p. (In Russian). DOI: 10.13140/2.1.1147.7449.
36. Sokolov S.A., Sevatorov N.N., Levit I.B. Eksperimental'noye opredeleniye vliyaniya vysokogo davleniya na mikrobiologicheskiye pokazateli svezhevyzhatykh tsitrusovykh sokov [Experimental determination of the effect of high pressure on the microbiological parameters of freshly squeezed citrus juices]. *Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Problemy pishchevykh tekhnologiy i pitaniya. Sovremennyye vyzovy i perspektivy razvitiya»* [Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference “Problems of food technology and nutrition. Modern challenges and development prospects”]. Slavyanogorsk, 2011, pp. 271-274. (In Russian).
37. Sokolov S.A., Barannikov A.V., Masutkin E.P. (ed.) Tekhnologiya polucheniya stabil'nykh tsitrusovykh sokov vysokogo kachestva za schot dezaktivatsii pektinmetilesterazy vysokim davleniyem [Technology for obtaining stable citrus juices of high quality due to the deactivation of pectin methylesterase by high pressure]. *Sbornik tezisov dokladov uchastnikov pula nauchno-prakticheskikh konferentsiy; Donetskiy natsional'nyy universitet ekonomiki i torgovli imeni Mikhaila Tugan-Baranovskogo; Kerchenskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnologicheskiy universitet; Luganskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet* [Collection of abstracts of papers of participants of the pool of scientific and practical conferences; Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky; Kerch State Maritime Technological University; Lugansk State Pedagogical University]. Kerch, 2021, pp. 145-148. (In Russian).
38. Gonikberg M.G. Khimicheskoye ravnovesiye i skorost' reaktsii pri vysokikh davleniyakh [Chemical equilibrium and reaction rate at high pressures]. Moscow, Khimiya Publ., 1969, 427 p. (In Russian).
39. Noga I.V., Shatalov V.M., Sukmanov V.A. Kineticheskaya model' degradatsii biomolekul pod vozdeystviyem vysokogo davleniya i temperatury [Kinetics of degradation of biomolecules under the influence of high pressure and temperature]. Fizika i tekhnika vysokikh davleniy [High Pressure Physics and Engineering], 2004, vol. 14, no. 2, pp. 74-85. (In Russian).

Сведения об авторах / Information about authors

Соколов Сергей Анатольевич	д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств Керченский государственный морской технологический университет 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 sokoloff1906@mail.ru
Sokolov Sergey Anatolyevich	Dr. Sci. (Engin.), Associate professor, Professor of the Department of machines and apparatus of food production Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 sokoloff1906@mail.ru
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
Соколов Александр Сергеевич	Ассистент кафедры Сервиса и гостиничного дела Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского 83050, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Щорса, 31 alexsokolov555@yandex.ru
Sokolov Alexandr Sergeyevich	Assistant at the Department of service and hotel business Donetsk National University of economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky 83050, Donetsk People's Republic, Donetsk, Shchorsa str., 31 alexsokolov555@yandex.ru

UDC 338.2 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_126**

T.O. Glechikova, M.A. Osipova, N.A. Diviza

THE CRITERIA AND INDICATORS OF THE STRATEGIES EFFECTIVENESS OF EDUCATIONAL ORGANIZATION MANAGEMENT

Abstract. The article systematizes the theoretical and methodological basis on the formation of educational organization management strategy and suggests a set of criteria on the basis of which a qualitative assessment effectiveness of strategic management can be carried out. The main areas of activity defining the main functional strategies as well as the decomposition of purposes and tasks during the development of higher educational institution strategy are given. Two main aspects of evaluating the effectiveness of higher educational institution strategies are defined: the first (external) aspect reflects the degree of rationality of society expenses for training the required specialists, the second (internal) is connected with the efficiency assessment of the functioning of higher educational institution management and the activities of the administration staff who develops and implements the strategy. The strategic parameters and target indicators allowing to define the degree of functioning efficiency and development of educational organization are substantiated.
Keywords: criteria of effectiveness, higher educational institutions, management strategies, educational services.

Глечикова Т.О., Осипова М.А., Дивиза Н.А.

КРИТЕРИИ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

Аннотация. В статье систематизирована теоретико-методическая база по вопросам формирования стратегии управления образовательной организации и предложен комплекс критериев, на основании которых можно провести качественную оценку эффективности стратегического управления. Обозначены основные направления деятельности, определяющие профили основных функциональных стратегий, а также приведена декомпозиция целей и задач при разработке стратегии высшего учебного заведения. Выделены два основных аспекта оценки эффективности стратегий университета: первый (внешний) аспект отражает степень рациональности затрат общества на подготовку необходимых специалистов, второй (внутренний) связан с оценкой эффективности функционирования системы управления вузом и деятельности работников аппарата управления, разрабатывающих и реализующих стратегию. Обоснованы стратегические параметры и целевые индикаторы, позволяющие установить степень эффективности функционирования и развития образовательной организации.
Ключевые слова: критерии эффективности, высшие учебные заведения, стратегии управления, образовательные услуги.

Introduction. In modern conditions, one of the most important trends of public and regional policy is to bring up highly intelligent generation that contributes to the multiplication of the wealth of the country and the region providing the preservation of fundamental values of society, which is possible in case of increasing of educational services quality and carrying out of a systematic assessment of the efficiency education level .The main task of the higher educational institution is to provide society with

specialists whose high potential will provide the integrity of the triad “education – science – production” and predetermine the innovative development of branches and regions corresponding to modern economic realities and the requirements of the country's economy.

The reforming process of education sector is reflected in the Federal Target Program for the education development, which defines the trends and measures for the implementation of the reform which influenced the conditions of higher educational institutions functioning.

The requirement strengthening for the formation of personnel, material and technical equipment of the educational process, reducing the number of higher educational intuitions, changes in higher education demand patterns determined the high level of competition in the market of educational services and provided considerable asymmetry when presenting them at the interregional level.

Furthermore, the existence of different systems for evaluating of higher educational institutions activity in the conditions of a certain limitation of financial resources allocated by the state and the instability of the external environment determines the necessity for detailed development of issues for effective management of educational organization to focus efforts for achievement of the target values of specific criterial indicators.

The objective of the study is to substantiate and systematize criteria for evaluating the effectiveness of educational organization management strategies based on a set of interrelated features.

Materials and research methods. Much attention is given to the development of theoretical and methodological approaches of the strategic organization’s management in modern scientific literature [1-7]. At the same time a great number of authors who study assessment system of the strategic organization’s management indicate on the necessity to take into account such main elements as:

1. The motivation for carrying out the assessment which causes the leader’s desire to appreciate both the results of his activity and developed organization strategy.

2. Information which is necessary for carrying out the assessment and on the basis of which it is possible to obtain full and positive report about the results of the activity of organization and developed strategy.

3. Assessment criteria which allow to evaluate the effectiveness of strategy.

4. Decisions according to the results of carried out strategy assessment.

Moreover, special significance is paid to e-learning and intellectual education [8] as well as the formation of knowledge management system on the basis of introduction digital transformation elements of educational process [9] during the management strategies development due to coronavirus pandemic in recent years.

It should be noted that the selection of appropriate assessment criteria on the basis of which it is possible to define the degree of strategic objectives and state the corresponding corrective actions from the given results, is the most important according to the assessment strategy effectiveness.

We used method of induction, deduction, method of analysis and synthesis for identifying the most important assessment criteria of strategies management. The visualization of higher educational institution management strategy according to the hierarchical principle and the defining of the criteria of their efficiency were represented using the methods of dialectical and complex approaches. The recommendations on the achievement of strategic objectives by educational institution were developed on the basis of generalization and systemization methods.

Research results and their discussion

All criteria for evaluating the effectiveness of management strategy can be divided into two groups: qualitative and quantitative.

Qualitative criteria are focused on the evaluation of strategic choice which is carried out in the process of justification for the optimal strategy among the variety of alternative options. The following qualitative criteria such as practicability, consistency, integrity, alternativeness, ethicalness, scientificity, flexibility, riskiness, informativity are often used when evaluating the effectiveness of the strategy. It means that the choice of strategy is performed on the basis of main factors analysis influencing

the achievement of purposes stated for the organization as well as the compliance of the chosen strategy with potentialities of organization, the requirements of the external environment and the risk level.

However, all qualitative assessment criteria are more of subjective nature and very often they contain vague definitions due to which management experts recommend to supplement qualitative indicators with quantitative indicators for obtaining consistent results, which will allow to prove the level of achievement of stated purposes based on numeric measurement of objective indicators.

It is this principle that we should follow when evaluating the effectiveness of management decisions connected with the achievement of strategic objectives of higher educational institution according to the opinion of contemporary academics.

Currently, the strategies effectiveness of higher educational institution management is considered in two ways: target approach, which identifies the achievement level of target indicators functioning and the development of higher educational institution as strategic effectiveness criterion; cost approach based on evaluating of applying and transformation of own resources and borrowings in the result of higher educational institution functioning and development as tactic criterion and operational effectiveness. Thus, we should adhere to the principle of goals hierarchy and their achievement indicators according to three levels (operational, tactic and strategic) on the basis of which criterial indicators allowing to assess separately employees' performance, subdivision's performance as well as performance of higher educational institution when developing a management strategy and evaluating its effectiveness.

At the same time, the developing of criteria for evaluating the effectiveness of management strategies is based on four interrelated components (figure 1):

1) mission and projection,
2) strategic purposes,
3) resources for strategy implementation,
4) strategic approaches.

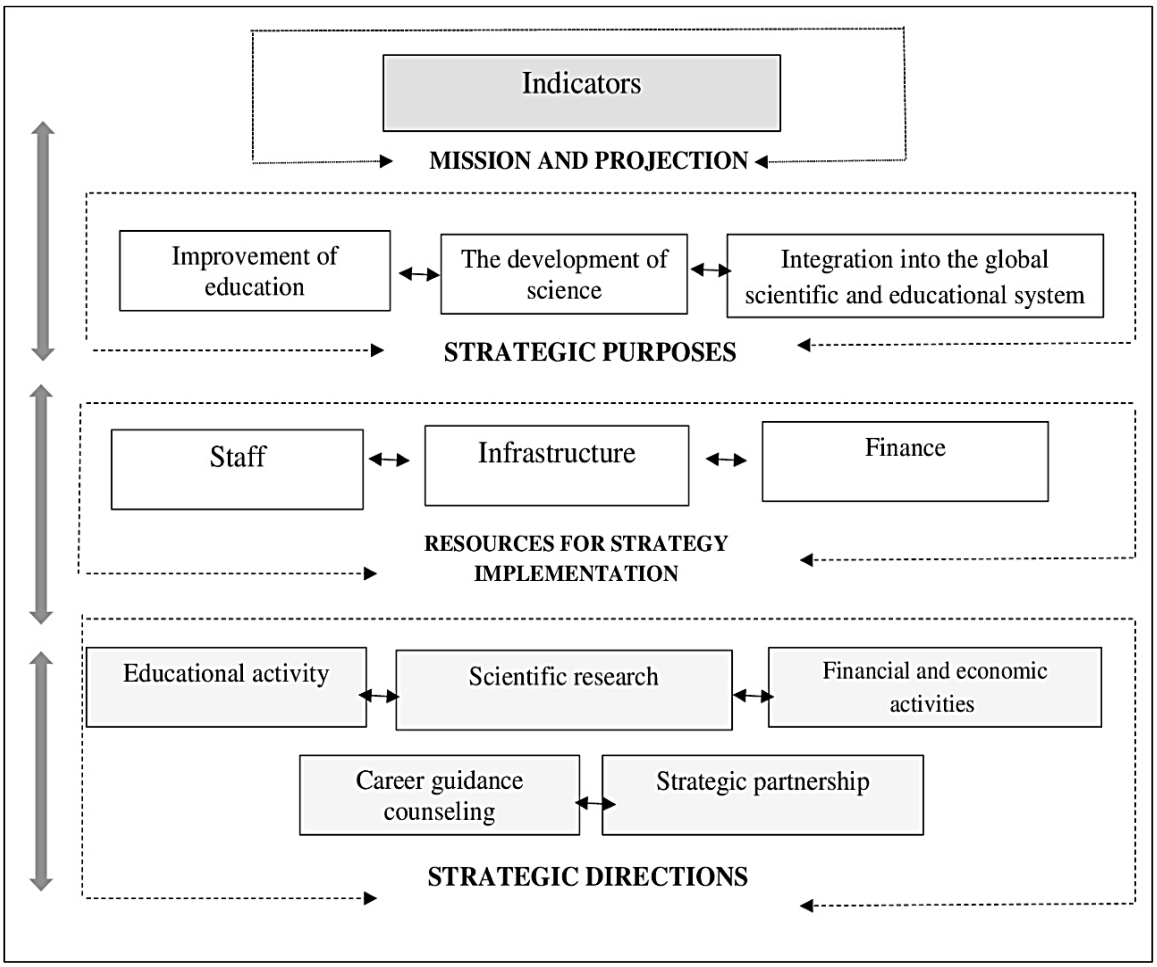

Figure 1 – Strategy visualization of higher educational institution management according to the hierarchical principle (drawn up by author using [10])

It should be noted that the specifying of strategy effectiveness of higher educational institution management must be based on the use of scientific evidence concerning strategic purposes of education institution development in accordance with the purposes of the chosen strategic course as well as effectiveness level of the motivation system for participants taking part in the implementation of developed strategy.

In addition, it is necessary to evaluate the effectiveness of management strategy taking into account corresponding strategic characteristics, which allow to determine target indicators for the functioning and development of higher educational institution. Target indicators can be distinguished as controlled and controlling. The controlling parameters will allow to determine the nature of higher educational institution

development according to the main aspects of its activity, while the managed ones will provide the achievement of purposes.

When formulating the target parameters of the strategic development of higher educational institution it is necessary to take into account key indicators of its activity (educational, scientific research, financial and economic, etc.), which are used by consumers of educational services and higher authorities in making an assessment of the effectiveness and competitiveness of the organization.

Due attention is not given to the research of interconnection between evaluation criteria of effectiveness and strategy formulation of educational organization management in spite of the existence of different scientific approaches to the assessment efficiency of higher educational institution activity. Many authors identify evaluation criteria of the management efficiency and indicators of higher education institution effectiveness considering that strategic management means the receiving of positive effect in all fields of organization activities.

Thus, the Ministry of Science and Higher Education carries out annual monitoring for assessment efficiency of higher education organizations activity, where key indicators reflecting the main aspects of higher educational institutions activity (educational, scientific research, international, financial and economic), and their threshold values are specified, we should take into account them when developing operational and strategic plans of organization development. The monitoring also reflects results describing the level of employment rate of university graduates, the infrastructure development level and human resources capacity of the organization.

I. V. Meshcheryakova suggests to use a number of generalized resulting parameters for the assessment efficiency of higher educational institution activity, including indicators for assessing national – economic and personal efficiency of higher educational institution activity as well as the level of its competitiveness at educational services market [11].

Three groups of indicators for the assessment efficiency of higher educational institution management as well as performance evaluation of management personnel,

structural units and the assessment of higher educational institution management system were proposed by A.N. Asaul and B.M. Kaparov in their scientific works [12].

The works of N.M. Obolyaeva [13] are of great interest due to her proposal to use the system of balanced indicators according to four approaches taking into account strategic purposes and tasks for the assessment efficiency of higher educational institution activity:

- financial indicators;
- indicators showing customer needs;
- indicators describing internal processes;
- indicators providing the capacity building formation of higher education institution which are the factors of its growth.

The systemization of existing methodological approaches to the strategizing process in the higher school allows to state that the strategy efficiency evaluation of higher educational institution management distinguishes not only indicators showing the effectiveness of organization activity in the context of its main approaches (educational, scientific research, financial and economic), but defines the following efficiency criteria [14]:

- the management efficiency of the organization of educational and extracurricular processes which is assessed according to a number of generalizing and particular indicators based on the activity assessment of administrative staff, separate subdivisions and the whole management system;
- the management efficiency of the labour and rest organization for staff of the higher educational institution determined on the basis of questionnaire and satisfaction level assessment of employees by different aspects of university environment;
- the system effectiveness of strategic partnership, which allows to determine the benefits from concluded agreements on long-term cooperation (the number of employed graduates, level of their wage, improving the quality of educational programs by attracting the experts to their development and creating of practice-oriented education, increasing the effectiveness of research activity, etc). It is possible

to assess the effectiveness level of the strategic partnership system by comparing the income received from carrying out strategic interaction with expenses which are necessary for supporting mutually beneficial relationship (organizational, managerial, commercial, etc.).

Consequently, the strategies efficiency of the higher education body management has two aspects. Firstly, one of the problems is the determination problem of the degree of rationality and economy expenses incurred by the company for required specialist training (external efficiency). Secondly, special attention is given to the efficiency assessment of higher education institution management system and administrative staff who develops the strategy and is responsible for its implementation (internal efficiency). At the same time both external and internal efficiencies are characterizes by definite set of criteria on the basis of which it is possible to evaluate the degree of objectives to be achieved.

Moreover, it is necessary to take into account social and economic components of the efficiency when evaluating the strategy effectiveness of higher education institution management. Social component includes the assessment of influence degree of developed higher education institution management strategy on the level and quality of life, meeting the needs of population in knowledge, socioeconomic human progress. Economic component includes the assessment of economic return of funds invested in education and it is the basis for achievement of social effect [3].

In view of the above said the authors give the following classification of efficiency criteria of higher education institution management strategies (figure 2).

The management strategy formation of higher education institution and efficiency of its implementation depends on the level of organization development, its size, available recourses, management structure and other organization's characteristics which determine the necessity to develop a typology according to which higher education institutions referred to a certain type will be able to form standardized list of criteria for the effectiveness of management decisions of a strategic nature but with individual content.

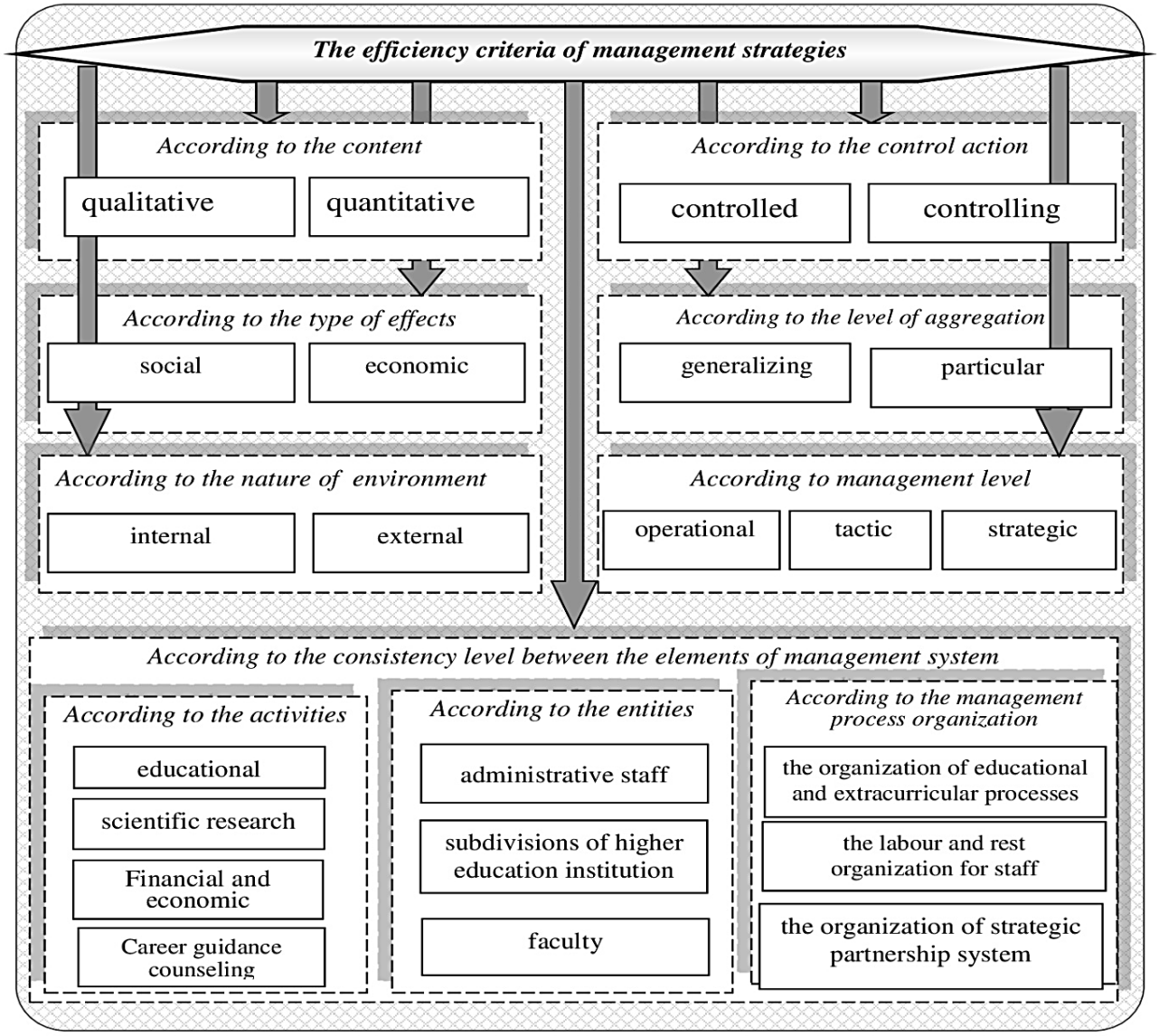

Figure 2 – The efficiency criteria of management strategies for higher education institution (drawn up by authors).

Summary

Thus, the paper substantiates and systematizes the evaluation criteria of strategies effectiveness of educational organization management according to the set of interrelated characteristics such as the nature and the criterion aggregation level, the degree of its controlling influence, focus on different management levels, the environment and the expected types of effects, as well as the degree of consistency between the elements of management system including higher education institution activities, management entities, different university's subsystems and processes which

take place in it. The application of given evaluation criteria will provide not only to get exact information about the results of organization development and evaluate the efficiency of management system taking into account all its structural elements, system-forming links and levels, but also correct management decisions regarding the most important aspects of the higher education institution functioning in due time.

References:

1. Belyakov S.A., Klyachko T.L. *Metodologiya otsenki vklada obrazovaniya v sotsial'no-ekonomicheskoye razvitiye Rossiyskoy Federatsii i yeye sub"yektov*: monografiya [Assessment methodology of education contribution to the socio-economic development of the Russian Federation and its entities]. Moscow, “Delo” RANEPA Publ., 2015. (In Russian).
2. Ezerskaya L.E. Primeneniye sistemy sbalansirovannykh pokazateley v vysshem uchebnom zavedenii [The application of balanced system indictors in higher education institution]. *Upravleniye ekonomicheskimi sistemami* [Management of economic systems]. (In Russian). Available at: http://www.uecs.ru/logistika/item/1615-2012-10-25-06-05-07 (accessed 15.03.2022).
3. Ivashkevich T.V. Effektivnost' upravleniya VUZom [Efficiency of higher education institution management]. *Ekonomika obrazovaniya* [Economics of education], 2010, no. 1. (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-upravleniya-vuzom (accessed 14.03.2022).
4. Kirillov A.G. Povysheniye znacheniy pokazateley effektivnosti sistemy upravleniya vuzom [Increasing the values of the efficiency indicators of higher education institution management system]. *Naukovedeniye* [Science studies], 2014, no. 2 (21). (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-znacheniy-pokazateley-effektivnosti-sistemy-upravleniya-vuzom (accessed 14.03.2022).
5. Kirilina N.A. Strategicheskiye podkhody k razvitiyu vuza [Strategic approaches to university development]. *Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa* [The Association Bulletin of Universities of Tourism and Service], 2011, no. 1, pp.27-32. (In Russian).
6. Klyachko T.L., Sinel`nikov-Mury`lyov S.G. *Strategiya dlya Rossii* [Strategy for Russia]. Moscow, Obrazovaniye Publ., 2018, 118 p. (In Russian).
7. Hussein A.M., Ahmed M.M., Mahmoud Khu M.Y. The impact of strategic planning in the university’s competitiveness according to NIAS. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 2021, 10 (5), pp. 83-101. (In English).
8. Almayali H.H., Almusawy A.M.R. The Strategy of e-learning Crisis Management and Effectiveness of Intelligent e-education During Covid-19 for a Sustainable Education System. *Webology*, 2021, no. 18 (Special Issue), pp. 261-282. (In English). Available at: https://www.webology.org/data-cms/articles/20211101062005pmWEB18228.pdf (accessed 15.03.2022).
9. Sekli G.F.M., De La Vega I. Adoption of big data analytics and its impact on organizational performance in higher education mediated by knowledge management. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 2021, 7 (4), 221. (In English).
10. Babaev V., Chumachenko I. Strategíchne upravlínnya vishchim navchal'nim zakladom na bazí íntegrovanikh komp’yuternikh tekhnologíy [Strategic management of a higher education institution based on integrated computer technologies]. *Teoríya í praktika upravlínnya sotsíal'nimi sistemami* [Theory and practice of social systems management], 2016, no. 4, pp.79-90. (In Russian).
11. Meshcheryakova I.V. Metodicheskiye podkhody k otsenke effektivnosti deyatel'nosti vuza

[Methodological approaches to efficiency evaluation of higher education institution activity]. *RPPE*, 2008, no 4. (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-podhody-k-otsenke-effektivnosti-deyatelnosti-vuza (accessed 14.03.2022).
12. Asaul A.N., Kaparov B.M. Upravleniye vysshim uchebnym zavedeniyem v usloviyakh innovatsionnoy ekonomiki [Management of higher education institution in an innovative economy]. St. Petersburg, Humanistics Publ., 2007, 280 p. (In Russian).
13. Obolyaeva N.M. Primeneniye sistemy sbalansirovannykh pokazateley v sisteme strategicheskogo upravleniya vuzom [The application of balanced system indictors in strategic management system of higher education institution]. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovaniye* [Quality. Innovations. Education], 2011, no. 4, pp. 5-10. (In Russian).
14. Logunova N., Glechikova T. Background for strategic priorities for the development of regional universities. Advances in Economics, Business and Management Research. *International conference «Economy in the modern world» (ICEMW 2018)*, 2018, no. 61, pp. 104-109. (In English). Available at: https://www.atlantis-press.com/proceedings/icemw-18/25904932 (accessed 15.03.2022).

Сведения об авторах / Information about authors

Глечикова Татьяна Олеговна	канд экон. наук, старший преподаватель кафедры экономики и гуманитарных дисциплин Керченский государственный морской технологический университет 298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 tatyana.glechikova.kgmtu@mail.ru
Glechikova Tatiana Olegovna	Ph.D. (Econ.), Senior Lecturer of the Department of Economics and Humanities Kerch State Maritime Technological University 298309, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 tatyana.glechikova.kgmtu@mail.ru
Осипова Марина Александровна	старший преподаватель кафедры иностранных языков Керченский государственный морской технологический университет 298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 marina131278al@mail.ru
Osipova Marina Alexandrovna	Senior Lecturer of the Department of Foreign Languages Kerch State Maritime Technological University 298309, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 marina131278al@mail.ru
Дивиза Наталья Анатольевна	Специалист по учебно-методической работе отдела довузовской подготовки, профориентации и работе с абитуриентами Керченский государственный морской технологический университет 298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82 book_mark@mail.ru
Diviza Natalya Anatolyevna	Specialist in educational and methodological work of the department of pre-university training, career guidance and work with applicants Kerch State Maritime Technological University 298309, Kerch, Ordzhonikidze str., 82

УДК 336.02 **DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_137**

Семенова Н.Н., Гребенцова Р.А.

БЮДЖЕТНОЕ СТИМУЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНЕ

Аннотация. В статье дана краткая характеристика развития инновационных процессов в Республике Мордовия. Проведен анализ позиций региона в инновационном рейтинге субъектов Российской Федерации. Обосновываются основные конкурентные преимущества Республики Мордовия, а также причины отставания от ведущих инновационных регионов России. Особое внимание в рамках исследования уделено анализу бюджетного стимулирования инноваций. Приводится динамика бюджетных затрат Республики Мордовия на научные исследования и разработки, дается оценка существующей модели финансового обеспечения инновационной деятельности. Авторами рассматриваются также косвенные методы стимулирования инноваций в регионе, анализируется динамика налоговых льгот и преференций, предоставленных субъектам инновационного бизнеса в регионе. На основании проведенного исследования формулируются основные направления совершенствования мер и инструментов бюджетного стимулирования инновационных процессов в регионе.
Ключевые слова: инновации, налоговые льготы, инновационное развитие, субсидии, бюджетное финансирование.

Semenova N.N., Grebentsova R.A.

BUDGET STIMULATION OF INNOVATION PROCESSES IN THE REGION

Abstract. The article gives a brief description of the development of innovative processes in the Republic of Mordovia. The analysis of the positions of the region in the innovation rating of the constituent entities of the Russian Federation was carried out. The main competitive advantages of the Republic of Mordovia, as well as the reasons for lagging behind the leading innovative regions of Russia, are substantiated. Particular attention within the framework of the study is given to the analysis of budgetary incentives for innovation. The dynamics of the budgetary costs of the Republic of Mordovia for research and development is given, an assessment is made of the existing model of financial support for innovation activity. The authors also consider indirect methods of stimulating innovation in the region, analyze the dynamics of tax benefits and preferences granted to innovative business entities in the region. On the basis of the study, the main directions for improving measures and tools for budgetary stimulation of innovative processes in the region are formulated.
Keywords: innovations, tax incentives, innovative development, subsidies, budget financing.

Введение. Кризисные условия, сложившиеся в России под влиянием пандемии COVID-19, особым образом повлияли на национальную инвестиционно-инновационную атмосферу: во-первых, снизился объем государственных инвестиций в пользу гражданской науки, во-вторых – наблюдается острый дефицит источников самофинансирования в сфере предпринимательства, что особенно затронуло субъекты малого и среднего предпринимательства (МСП). В этой связи, в целях инициации инновационных

процессов, первоочередной задачей является работа, направленная на модернизацию координационной системы, регулирующей взаимоотношения между государством, сектором предпринимательства, кредитно-финансовым сектором и институтами, чья деятельность связана с разработкой, внедрением и последующей коммерциализацией инновационных проектов.

Цель исследования – исследование действующего механизма бюджетного финансирования инновационной деятельности в регионе и разработка предложений по его совершенствованию.

Материалы и методы исследования. Бюджетное финансирование инноваций оказывает прямое воздействие на структурную перестройку, модернизацию и техническое перевооружение национальной экономки [1, с. 111]. Учитывая значительную роль государственного бюджета в ресурсном обеспечении НИОКР и распределении выделяемых средств между субъектами инновационного бизнеса, вполне закономерным видится растущий научный интерес к проблемам бюджетного обеспечения инновационной деятельности. Процесс субсидирования инновационных проектов решает одну из важнейших задач государства обеспечение роста научно-технического потенциала. Этот фактор немаловажен и является одним из ключевых при разработке инновационной политики государства. В свою очередь, предоставление налоговых льгот и преференций является наиболее распространенным среди методов косвенного стимулирования НИОКР. Инструменты налогового стимулирования оказывают наибольшее влияние на инновационную активность предприятий, чем прямое государственное субсидирование [2]. Увеличение объемов вычетов из налоговой базы по налогу на прибыль приводит к росту инновационной активности предприятий, увеличению инвестиций в научные исследования и разработки [3]. В России решению проблем бюджетного финансирования инноваций уделяется особое внимание, федеральным и региональным законодательством предусмотрен широкий спектр налоговых льгот и субсидий. В то же время вопросы бюджетного стимулирования развития

инновационных процессов остается весьма актуальными и на сегодняшний день.

Результаты исследования и их обсуждение. Формирование инновационной инфраструктуры, совершенствование и продвижение научно-технических возможностей являются необходимыми условиями формирования прорывных инновационные моделей экономик национального и регионального уровней. Наиболее актуальным это является для экономики тех регионов, которые ввиду своего географического положения не имеют какого-либо экономически выгодного природно-ресурсного потенциала, а также развитого производства, обладающего достаточными перспективами для выхода на экспортный рынок. Республика Мордовия относится к одному из таких регионов, экономику которой можно охарактеризовать как индустриально-аграрную. Обрабатывающему производству в Республике принадлежит чуть более 1/4 (25,5 %) валового регионального продукта (ВРП), на долю сельскохозяйственного сектора приходится 14,2 % ВРП [4, с. 498].

В настоящее время в республике активно формируется региональная инновационная система, что позволит обеспечить стабильный подъем экономики за счет внедрения современных наукоемких инновационных технологий, обладающих перспективными возможностями [5]. Основной упор сделан на модернизацию производственных ресурсов и на реализацию крупномасштабных инновационных проектов, благодаря чему уже сейчас Мордовия опережает многие регионы России по темпам роста промышленности. В соответствии с рейтингом субъектов России по показателю РРИИ (Российский региональный инновационный индекс) Республика Мордовия является средне-сильным инноватором. По итогам 2019 г. регион занимает 22 место, входя в 37 передовых регионов России, которые по показателю РРИИ уступают Москве, являющейся лидером, более чем на 20 %, но не более чем на 40 % (рисунок 1) [6].

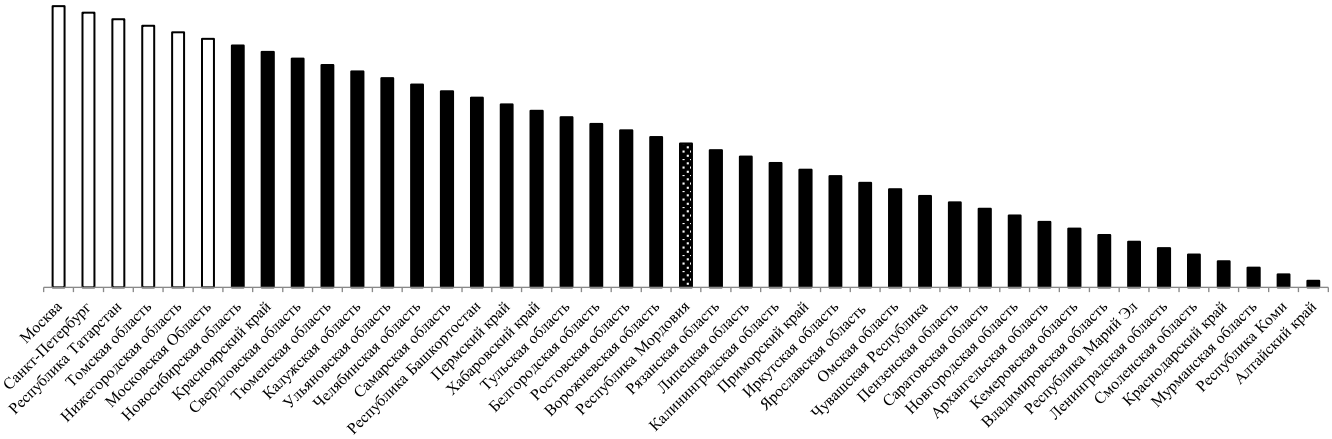

Рисунок 1 – Рейтинг российских субъектов по показателю РРИИ в 2019 г.

РРИИ является интегральным показателем, на величину которого оказывают влияние пять субиндексов: индекс, характеризующий социальные и экономические условия для развития инноваций – ИСЭУ; индекс научного и технического потенциала – ИНТП; индекс инновационной деятельности – ИИД; индекс экспортной активности – ИЭА; индекс качества инновационной политики – ИКИП. Данные рисунка 2 демонстрируют более детальный анализ позиций Республики Мордовия в соответствии с компонентами рейтинга.

ИСЭУ	78	Значение макроэкономических показателей и уровня образовательного потенциала общества превышают средний уровень по России (ИСЭУ-1, ИСЭУ-2), низкий потенциал цифровизации (ИСЭУ-3)
ИНТП	69	Недостаточные объемы финансирование научных исследований и разработок (ИНТП-1), отсутствие научных кадров (ИНТП-2), удовлетворительный уровень результативности научных исследований и разработок (ИНТП-3)
ИИД	7	Средние активность в области технологических и нетехнологических инноваций (ИИД-1), степень развития инновационного бизнеса (ИИД-2), затраты на технологические инновации (ИИД-3), самая высокая результативность инновационной деятельности среди регионов (доля продаж инновационных товаров и услуг) (ИИД-4)
ИЭА	42	Показатели экспорта товаров и услуг (ИЭА-1), а также экспорта знаний (ИЭА-2) ниже средних по стране
ИКИП	7	Хорошая нормативно-правовая база инновационной политики (ИКИП-1), высокие уровень развития организационного обеспечения инновационной политики (ИКИП-2) и бюджетное финансирование науки и инноваций (ИКИП-3), недостаточное участие в федеральной научно-технической и инновационной политике (ИКИП-4)

Рисунок 2 – Позиции Республики Мордовия в подрейтингах

Из данных рисунка 2 следует вывод, что основными конкурентными преимуществами региона являются организационное обеспечение инновационной деятельности (инновационная инфраструктура), высокая доля отгруженной инновационной продукции, высокий уровень бюджетного финансирования инноваций.

Данные Росстата о структуре и источниках финансирования затрат на научные исследования и разработки свидетельствуют о том, что бюджетные средства являются вторым по значимости источником финансового обеспечения инновационной деятельности в Республике Мордовия (в среднем 24 %), уступая собственным средствам предприятий, удельный вес которых в структуре составляет более 50 % (рисунок 3). Удельный вес участия предпринимательского сектора составляет не более 18 % [7].

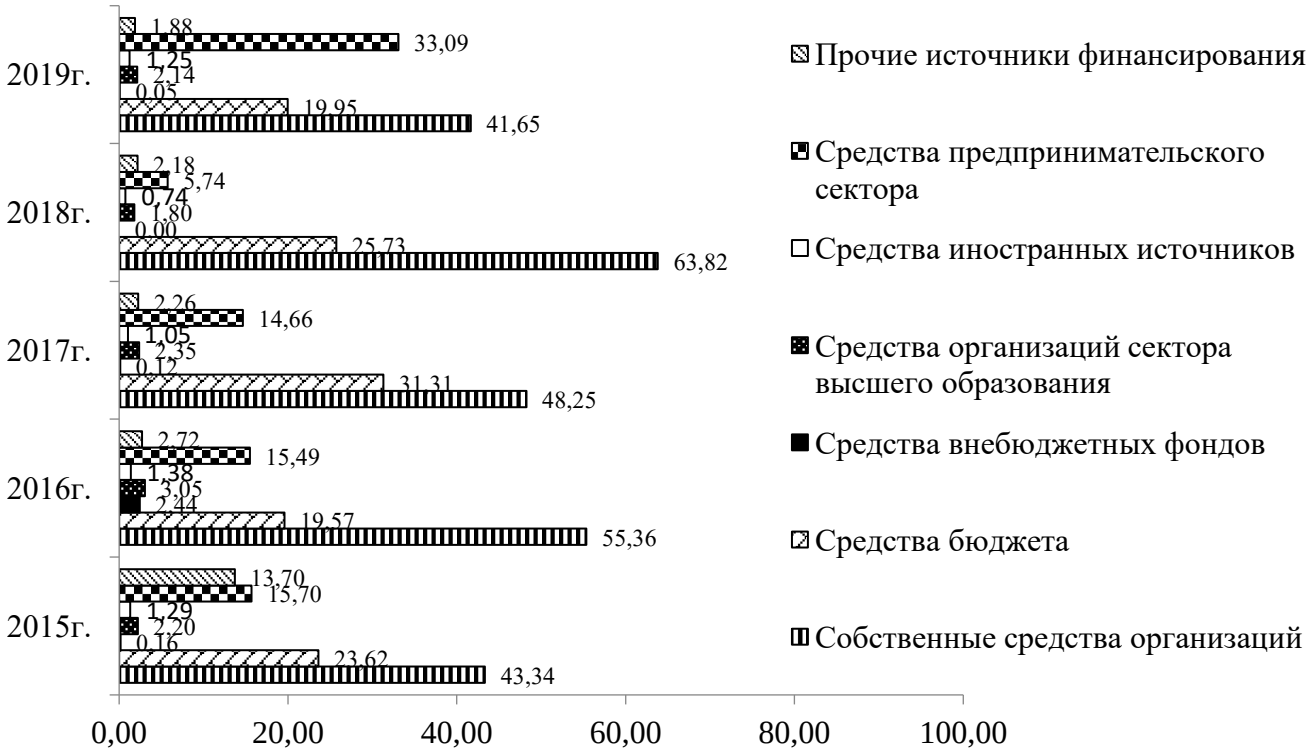

Рисунок 3 – Структура источников финансирования внутренних затрат на исследования и разработки в Республике Мордовия, %

Стоит отметить, что бюджетное финансирование инноваций на территории региона реализуется в соответствии с программно-целевым методом.

В регионе действует программа «Научно-технологическое и инновационное развитие Республики Мордовия», которая разработана непосредственно с целью развития научно-технической сферы и роста инновационной активности. Внебюджетные средства являются основным финансовым источником этой программы (в т. ч. средства от доходной деятельности учреждений, находящихся в ведении Министерства промышленности, науки и новых технологий Республики Мордовия) – 941,2 млн руб. (54,6 %). На финансирование мероприятий за счет средств республиканского бюджета приходятся оставшиеся 45,4 % (782,1 млн руб.) (рисунок 4) [8].

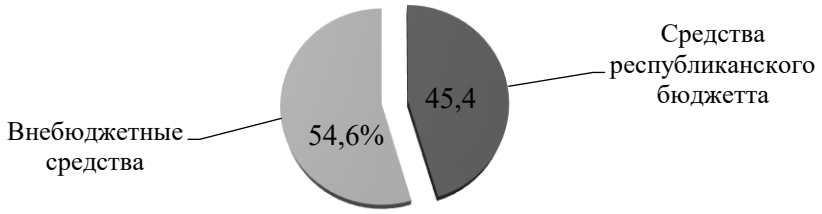

Рисунок 4 – Структура финансирования Госпрограммы «Научно-технологическое и инновационное развитие Республики Мордовия»

В период 2021-2025 гг. Государственная программа будет обеспечивать финансирование следующих направлений: подпрограммы «Развитие интеллектуального капитала» – 111944,6 тыс. руб.; подпрограммы «Поддержка и стимулирование развития фундаментальных и прикладных наук, повышение эффективности сектора исследований и разработок» – 555000,0 тыс. руб.; подпрограммы «Развитие инфраструктуры научной, научно-технической и инновационной деятельности» – 1056357,7 тыс. руб. Размер финансирования Программы должен ежегодно уточняться, в соответствии с реальными возможностями бюджетов каждого уровня.

Следует отметить, что Программа по развитию научно-технологического и инновационного потенциала региона была утверждена республиканским Правительством 4 декабря 2020 г. Предыдущая программа по научно-инновационному развитию региона действовала с 2013 г. (Постановление

Правительства Республики Мордовия от 20.05.2013 № 183) и в течение всего периода ее реализации наблюдалась тенденция недофинансирования: фактический уровень расходов бюджета Республики в сравнении с запланированным составлял 93,1 % (рисунок 5) [9]:

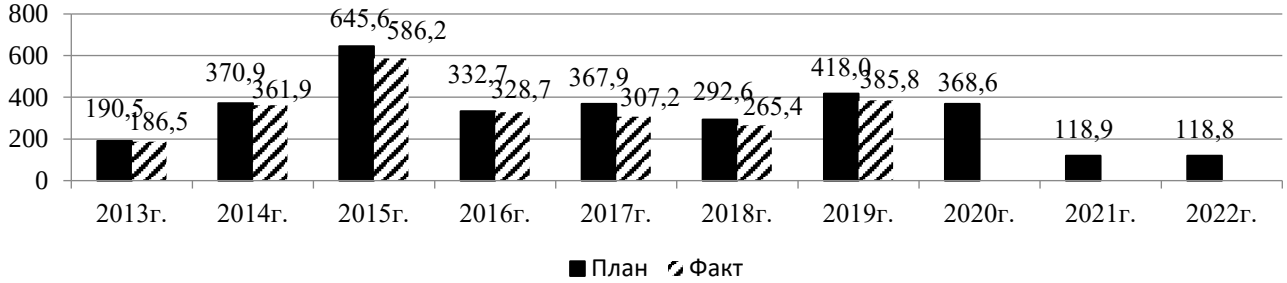

Рисунок 5 – Динамика финансирования Госпрограммы научно-инновационного развития Мордовии в 2013-2022 гг., млн руб.

В структуре расходов Программы затраты бюджета региона, предназначенные для фундаментальных исследований, составляют не более 1,69 %. При этом следует отметить отрицательную динамику: в 2015 г. доля расходов для проведения разработок и исследований составляла 1,69 %, а в 2019 г. уже 0,59 %. Относительно ВРП данный коэффициент снизился на 0,10 п.п. – почти в 2 раза (таблица 1) [10].

Таблица 1 – Объем бюджетных расходов Республики Мордовия по финансированию программы развития в научно-инновационной сфере

Период	Объем бюджетных расходов на НИОКР, млн руб.	в % к общему финансированию госпрограмм	в % к ВРП
2015	586,2	1,69	0,25
2016	328,7	0,95	0,14
2017	307,2	0,75	0,14
2018	265,4	0,66	0,12
2019	385,8	0,59	0,15

Можно с уверенностью сказать, что для эффективного развития инновационных процессов в регионе существенным фактором является

достаточный уровень финансирования, который способен покрыть расходы, необходимые для выпуска запланированного объема продукции инновационного производства. К негативным факторам, влияющим на развитие хозяйствующих субъектов в сфере инновационной деятельности, следует отнести низкий уровень эффективности планирования, контроля и прогнозирования расходов на производство, длительный период окупаемости инноваций. Государство, при выборе альтернативы среди методов и способов поддержки деятельности субъектов в области инновационного производства, должно принимать во внимание возможные факторы риска. Для того, чтобы минимизировать их влияние со стороны государства, должно оказываться соответствующие воздействие на определенные стимулы (рисунок 6).

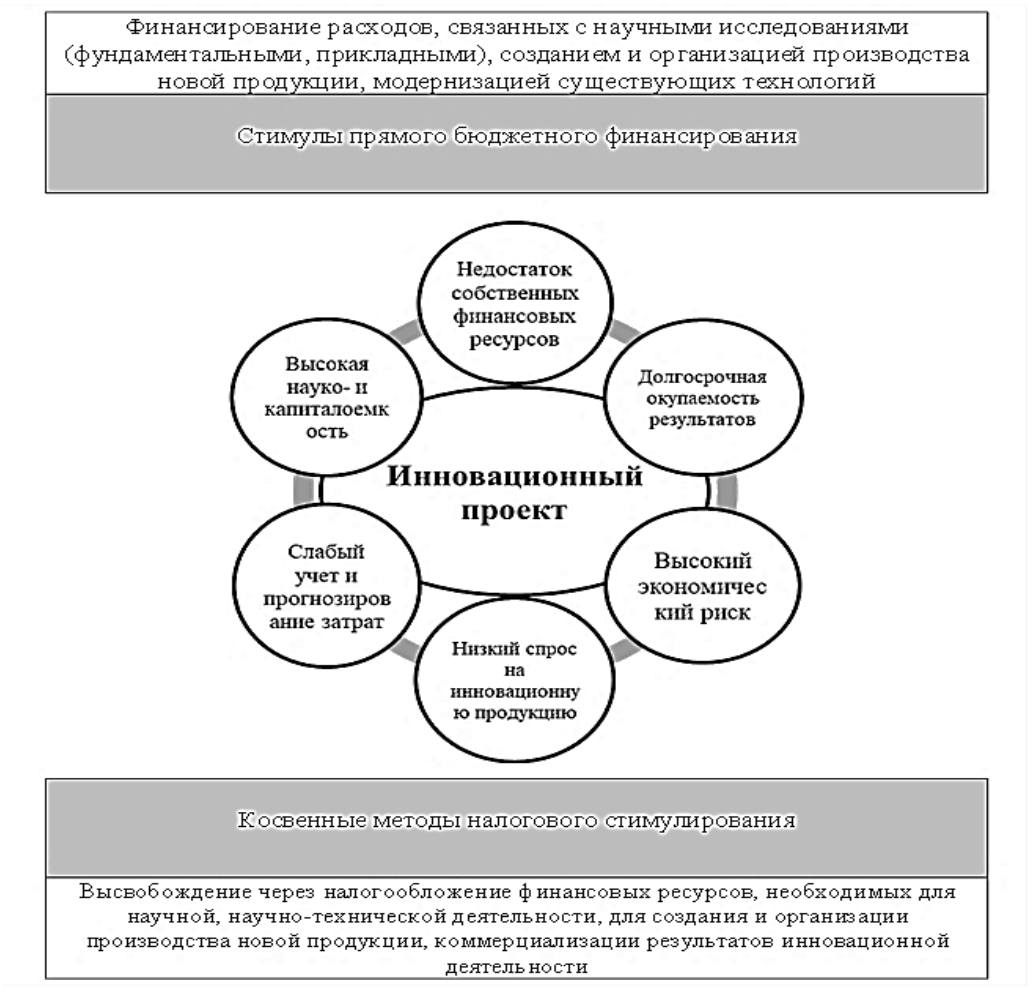

Рисунок 6 – Препятствующие факторы и противостоящие им финансовые стимулы, влияющие на развитие инновационной деятельности

Для стимулирования и регулирования инноваций государство использует как прямые, так и косвенные методы и инструменты. Прямое регулирование осуществляется в форме финансирования и кредитования субъектов инновационной деятельности. К косвенным методам государственного регулирования относятся налоговое и денежно-кредитное регулирование.

Республика Мордовия не является исключением. В Республике в отношении инноваторов и инновационного производства разработана система поддержки со стороны государства. Также реализуется комплекс преференций и специальных льгот для предприятий, чья деятельность направлена на инновационное развитие региона (рисунок 7).

Рисунок 7 – Комплекс финансовых инструментов государственной поддержки инновационной деятельности в Республике Мордовия

Налоговое регулирование инновационного предпринимательства в регионе связано, в первую очередь, с предоставлением налоговых льгот и

преференций с целью снижения налогового бремени субъектов инновационного бизнеса и создания благоприятных условий для осуществления ими инновационной деятельности.

В соответствии с данными Федеральной налоговой службы РФ (ФНС РФ), в период с 2015 по 2020 гг. на 29 % был снижен общий объем льготной суммы налога на прибыль, который должен оказывать стимулирующее воздействие на развитие деятельности в сфере инновационного развития региона. В 2020 г. он составил 1 060,21 млн руб. (таблица 2) [11].

Таблица 2 – Динамика предоставленных налоговых льгот по налогу на прибыль организаций в Республике Мордовия в 2015–2020 гг., млн руб.

Наименование льготы	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Пониженные налоговые ставки на прибыль						
Для некоторых категорий плательщиков	39,9	38,9	43,5	57,9	96,1	87,4
Доходы, не учитываемые при определении налоговой базы						
Суммы целевых взносов, предназначенных для формирования фондов обеспечения НИОКР	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Суммы средств, перечисленные фондами обеспечения НИОКР	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
Вычет из налоговой базы расходов на НИОКР						
Расходы на НИОКР	27,3	8,8	6,8	32,9	13,5	117,2
Расходы на НИОКР с коэффициентом 1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Амортизационная премия						
В размере не более 10 %	51,2	123,8	64,5	71,3	46,7	80,1
В размере не более 30 %	1 370,0	1 577,9	1 528,6	812,1	1 075,3	775,5
Ускоренная амортизация						
Коэффициент ≥2 для основных средств, которые относятся к числу объектов с высоким уровнем энергоэффективности	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Коэффициент ≥3 для основных средств, участвующих в реализации НИОКР	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Всего	1 488,4	1 749,5	1 643,4	974,3	1 234,6	1 060,2

Заметим, что важнейшим видом налоговых льгот в рамках стимулирования инновационной активности выступает амортизационная премия, предусматривающая включение организацией в состав расходов затрат капитального характера в размере не более 10 % (для 1-2 и 8-10 амортизационной группы) и не более 30 % (для 3-7 амортизационной группы) от первоначальной стоимости основных средств. Общая сумма амортизационной премии сократилась на 565,5 млн руб. или 40 % и составила в 2020 г. 855 млн руб. Данной льготой в 2020 г. воспользовалось 45 налогоплательщиков региона.

Ускоренная амортизация является еще одним методом стимулирования обновления основных производственных фондов и внедрения передового оборудования. В соответствии со ст. 259.3 НК РФ, ускоренная амортизация может применяться к объектам основных фондов с высокой энергоэффективностью (с коэффициентом не выше 2) и используемым в научно-технической деятельности (с коэффициентом не выше 3) [12]. Однако в Республике Мордовия указанная льгота в 2015-2020 гг. не применялась.

В отношении использования пониженных налоговых ставок на прибыль, следует отметить, что на территории региона соответствующая льгота установлена в размере 3,5 % [13]. Воспользоваться ей могут организации-резиденты Технопарка и организации, внедряющие на практике результаты интеллектуальной деятельности, с условием, что указанную деятельность осуществляют хозяйствующие общества, роль учредителей которых исполняют бюджетные организации высшего образования Республики Мордовия. При этом налоговая льгота имеет ограниченный срок действия – 5 лет.

В соответствии с пп. 4 п. 1 ст. 253 НК РФ, инновационный бизнес вправе сокращать объем прибыли, подлежащей налогообложению, на сумму расходов, затраченных на НИОКР. В течение анализируемого периода размер объема налогового вычета на сумму расходов на НИОКР вырос на 89,9 млн руб. (на 329 %) и составил на конец периода (2020 г.) 117,2 млн руб. В 2020 г. данную льготу использовали пять налогоплательщиков. Помимо этого, организации имеют

право принимать в расчет расходы на НИОКР в соответствии с фактическими затратами в составе прочих расходов с использованием повышающего коэффициента, равного 1,5. Однако следует учитывать, что данная налоговая льгота применима лишь для определенной категории расходов на НИОКР, перечень которых утвержден соответствующим Постановлением Правительства РФ и которые не относятся к числу научно-исследовательских работ, являющихся основой инновационного бизнеса Республики Мордовия.

В 2018 году для плательщиков налога на прибыль введена дополнительная льгота – инвестиционный налоговый вычет (ИНВ), который предоставляется на возмещение в объеме до 90 % затрат по капитальным расходам организации, связанным с приобретением либо модернизацией основных средств. Применение ИНВ возможно к основным средствам, имеющим определенный срок полезного использования, который варьируется в пределах 3-20 лет. Несмотря на то, что ИНВ обладает выраженным стимулирующим эффектом, организации в Республике Мордовия не могут применять данную льготу, т.к. региональное законодательство не предусматривает возможности ее использования.

НК РФ (ст. 251) предусмотрено при исчислении налогооблагаемой базы по налогу на прибыль предприятий исключение средств, поступивших из фондов содействия научно-технической, научной и инновационной деятельности, а также целевых взносов, предназначенных для формирования этих фондов. В течение последних шести лет инновационные предприятия Республики Мордовия указанными льготами не воспользовались.

Второе место среди налогов, предназначенных для стимулирования инновационного производства за счет применения налоговых льгот, занимает налог на имущество. В соответствии с республиканским Законом № 54-З «О налоге на имущество организаций» от 27.11.2003, его уплата в ряде случаев (рисунок 8) может не производиться резидентами Технопарка, а также хозяйственными обществами, которые на практике внедряют результаты интеллектуальной деятельности [14]. Из-за сложности получения льгота в

регионе не обрела ожидаемой популярности (за шесть последних лет, лишь в 2020 г. от уплаты данного налога был освобожден один резидент Технопарка «Мордовия», размер, полученной им налоговой льготы равен 259 тыс. руб.).

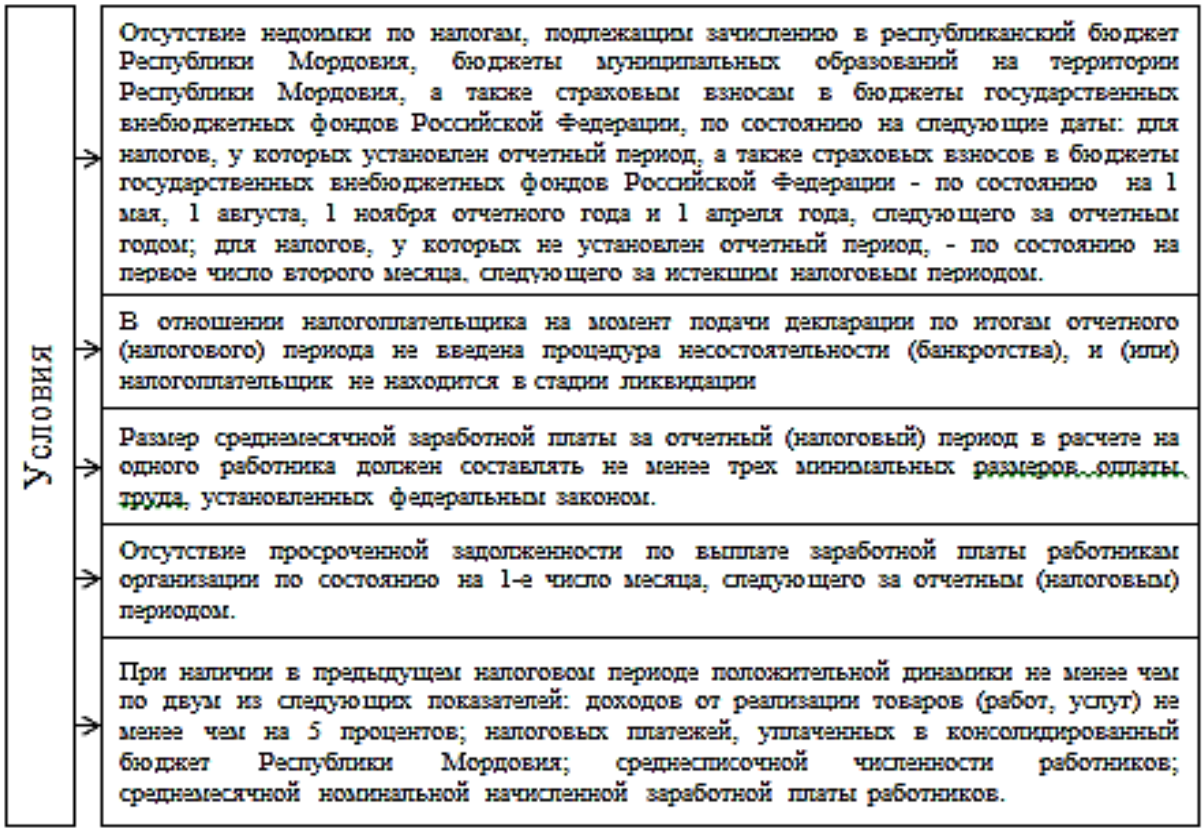

Рисунок 8 – Условия, предусматривающие освобождение от уплаты организацией имущественного налога в Республике Мордовия

Налоговый кодекс РФ также предусматривает льготы по НДС, способствующие стимулированию инновационной активности бизнеса. В таблице 3 представлена их динамика за 2015–2020 гг.

Таблица 3 – Динамика предоставленных льгот по НДС организациям Республики Мордовия в 2015-2020 гг., млн руб.

Основание	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
НК РФ, ст. 149, п. 2, пп. 26	10,916	5,298	5,716	1,246	4,989	2,222
НК РФ, ст. 149, п. 3, пп. 16	137,148	157,612	125,736	359,080	109,056	102,832
НК РФ, ст. 149, п. 3, пп 16.1	1,211	2,051	4,636	0,447	4,218	5,504
Всего	149,275	164,961	136,088	360,773	118,263	110,558

В соответствии с данными таблицы 3, объем суммы налоговых льгот по НДС, стимулирующих инновационную активность предприятий Республики Мордовия, составил в 2020 г. 110,6 млн руб., что на 25,9 % (38,7 млн руб.) меньше объема суммы на начало периода.

К числу наиболее существенных «инновационных» налоговых льгот по НДС относится полное освобождение от него при использовании в процессе реализации НИОКР бюджетных средств, предоставляемых бюджетами всех уровней национальной бюджетной системы, а также средств, предоставляемых специально созданными фондами, в числе которых Российский фонд технологического развития и Российский фонд фундаментальных исследований. За исследуемый период общая сумма указанной льготы в Республики Мордовия сократилась на 34,3 млн руб. или 25,0 %.

Более чем в 4 раза сократилась сумма льгот, освобождающих от обложения НДС продажу на территории России исключительных прав на определенные категории товаров: баз данных, программ для ЭВМ, полезных моделей, изобретений, промышленных образцов, топологий интегральных микросхем, секретов производства и прав, позволяющих использовать перечисленные результаты интеллектуальной деятельности, в соответствии с лицензионным договором. Если на начало периода эта сумма составляла 10,9 млн руб., на конец периода она сократилась до 2,2 млн руб.

Пп. 16.1 п. 3 ст. 149 НК РФ организациям, чья деятельность связана с выполнением научно-изыскательских, опытно-конструкторских и технологических работ, имеющих непосредственное отношение к созданию новых технологий и продукции либо с их усовершенствованием, также предоставляется возможность по использованию льготного режима налогообложения. За исследуемый период времени объем предоставленных льгот по данной категории увеличился на 4,3 млн руб. и составил 5,5 млн руб.

В целях поддержания и развития в Республике Мордовия организаций, чья практическая деятельность напрямую связана с использованием

интеллектуальных разработок, и в целях развития деятельности организаций, направления работы которых связаны с разработкой и последующей реализацией инновационных программ и проектов в сфере информационных технологий, предусмотрена пониженная ставка налогообложения в 5 % при использовании упрощенной системы налогообложения (УСН). При этом обязательно соблюдение следующего условия: организация-налогоплательщик должна являться резидентом Технопарка Мордовия [15].

Также, законодательством региона предусмотрено, что деятельность индивидуальных предпринимателей в научной области при использовании УСН, облагается нулевой процентной ставкой [16]. Динамику общего объема налоговых льгот при использовании УСН демонстрирует рисунок 9.

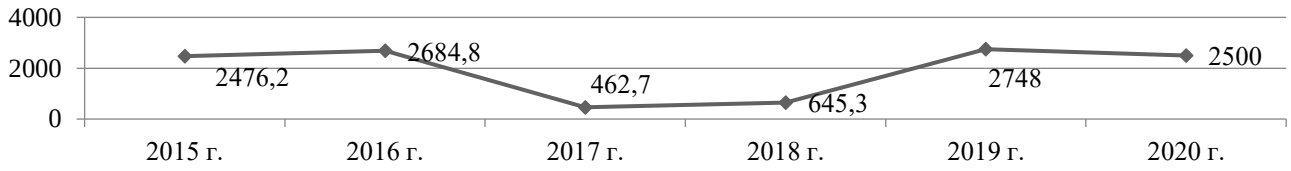

Рисунок 9 – Динамика налоговых льгот, предоставленных производителям научно-технической продукции в рамках УСН, тыс. руб.

Из рисунка 7 следует, что налоговые льготы, предоставляемые с целью повышения инновационной активности, за рассматриваемый период не претерпели значительных изменений, установившись в 2020 г. на уровне +0,9% к 2015 г. Отсюда следует вывод, что налоговое стимулирование в инновационной сфере в Республике Мордовия слабо развито, что ограничивает возможности инновационной трансформации региона.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о том, что стимулирующий налоговый инструментарий охватывает только первоначальные этапы инновационного процесса, связанные с ведением научных и исследовательских разработок. На дальнейшие же этапы, связанные с внедрением инновационных разработок в производство и последующим

распространением, эти льготы практически не действуют. Основную долю грантов и субсидий, также как и налоговых льгот, научные коллективы получают на деятельность, связанную с разработкой передовых технологий. Последующие стадии инновационного процесса получают поддержку, выраженную в основном в виде субсидирования кредитных процентных ставок. На этапах, связанных с дальнейшим распространением и коммерциализацией инновационного продукта, со стороны государства меры поддержки практически не оказываются. Инновацию недостаточно создать, она должен быть внедрена в практическое производство и в дальнейшем представлена конечному потребителю в качестве конкурентоспособного продукта. Следовательно, организация, чья деятельность связана с производством инновационного продукта, должна быть заинтересована поддержкой со стороны государства на каждом из этапов инновационного процесса: от формирования идеи до стимулирования потребительского спроса.

На наш взгляд, меры государственной поддержки в форме субсидий и налоговых льгот в регионе должны предоставляться с учетом ряда принципов:

– принципа соответствия стратегическим целям экономического развития региона отдельно взятой промышленной области;

– принципа четкости критериев, позволяющих инновационным субъектам получить от государства необходимую поддержку;

– принципа соответствия внешним эффектам: полномочия по предоставлению какой-либо сфере мер финансового стимулирования должны закрепляться за более высокими властными структурами, исходя из уровня заинтересованности общества в развитии этой области деятельности;

– принципа целевого характера налоговых привилегий, предоставление которых должно осуществляться не в соответствии со сферами деятельности, а в соответствии с конкретной задачей, которая может быть сформулирована на основе конкретных показателей, иметь четкие временные рамки и результат выполнения которой можно оценить количественно;

– принцип взаимодополнения налоговых привилегий и средств бюджетного субсидирования исходя из потребностей субъектов инновационного бизнеса в соответствии с этапами инновационного процесса;

– принцип прозрачности как при контроле использования предоставленных государством стимулов для активизации инновационной деятельности, так и на этапе принятия решения о предоставлении поддержки;

– принцип обязательности и регулярности проведения оценки уже работающих программ, обеспечивающих государственную поддержку организаций, являющихся субъектами инновационной деятельности на уровне регионов, в целях их своевременной пролонгации и модернизации.

В связи с этим также следует отметить, что к числу условий, необходимых для получения организацией пониженной процентной ставки налога на прибыль и исключения имущественного налога, относится достижение субъектами в течение срока пользования льготами определенных объемов инвестиций, предусмотренных соглашением. Но при некоторых обстоятельствах, объемы инвестиций в инновационные проекты со стороны организации, получившей стимулирующие государственные льготы, порой не соответствуют объемам, утвержденным в инвестиционном соглашении. При невыполнении обязательств такое соглашение расторгается, а бюджет Республики Мордовия пополняется на соответствующую налоговую сумму.

Весьма целесообразным видится решение о предоставлении для ряда проектов возможности сохранения инвестиционного соглашения с пересмотром и соответствующим увеличением в течение будущих периодов инвестиционных объемов. Если говорить о стратегии инновационного развития Республики Мордовия, то, в первую очередь, данное предложение должно коснуться тех проектов, которые реализуются в сфере биотехнологий, фармацевтики, медицины, оптоэлектроники и волоконной оптики. Таким образом, в случае, если инвестирование по отмеченным проектам находится в пределах 60-70 % от предусмотренного в планах, то такой их объем можно признать достаточными.

Для инновационных проектов по разработке и внедрению альтернативных энергетических источников и созданию энергосберегающих технологий обязательный для признания достаточным процент инвестиций может быть выше – 70-90 %. Право по установлению процентных рамок для определения достаточного объема инвестиций должно принадлежать региону.

При этом важно принять во внимание тот факт, что решение о необходимости расторжения инвестиционного соглашения с последующей уплатой в бюджет Республики Мордовия соответствующих налогов, должно происходить с учетом всех внешних факторов, не позволивших организации выполнить условия соглашения.

Если говорить о прочих методах бюджетного стимулирования инновационной деятельности, то следует отметить, что несмотря на огромный потенциал, по-прежнему остается невостребованным инвестиционный налоговый кредит (ИНК). Государству необходимо создать такие условия, чтобы ИНК стал эффективным средством выработки среди представителей хозяйствующих субъектов инновационных предпочтений: от активации процесса инновационной деятельности – до стимулирования процессов, связанных с производственным внедрением и распространением инноваций. Для реализации запланированного требуется: расширение сферы использования ИНК посредством его предоставления по налогам, подлежащим уплате в связи с использованием особых налоговых режимов, в следствие чего воспользоваться указанной льготой смогут и малые предприятия; увеличение до 10 лет периода предоставления ИНК, что позволит организациям самостоятельно определять наиболее целесообразный для них срок пользования льготы, существенно увеличивая финансирование развития инновационного направления; возможность полной отмены уплаты процентов по ИНК тем организациям, деятельность которых связана с реализацией приоритетных инновационных проектов; увеличение списка оснований, для получения ИНК организациям, использующим средства на реализацию деятельности в сфере инноваций,

осуществляемой в рамках инновационных кластеров региона. Кредит необходимо предоставлять не только на техническое перевооружение, но также для осуществления НИОКР.

Создание надежных условий, способствующих коммерциализации инноваций, должно входить в число приоритетных задач региона по разработке механизма косвенного инструментария, предназначенного для поддержания инновационного бизнеса. При формировании себестоимости производимого и реализуемого товара, предприниматель закладывает максимальные расходы, тем самым стараясь риски, связанные с недополучением прибыли, свести к минимуму. Этому есть ряд причин: постоянный рост стоимости сырьевой базы, необходимой для производства продукции, а также отсутствие полного объема реализации произведенной продукции. Влияние рисков отрицательно сказывается на объемах инвестиций, привлекаемых в инновационные проекты. Требуется создание условий, позволяющих часть возможных рисков включить в стоимость инновационного продукта. Создание таких условий возможно при налоговом регулировании стоимости сырьевой базы, необходимой для инновационного производства, находящейся в зависимости от состояния рынка и амплитуду колебания которой следует снижать во времени (рисунок 10).

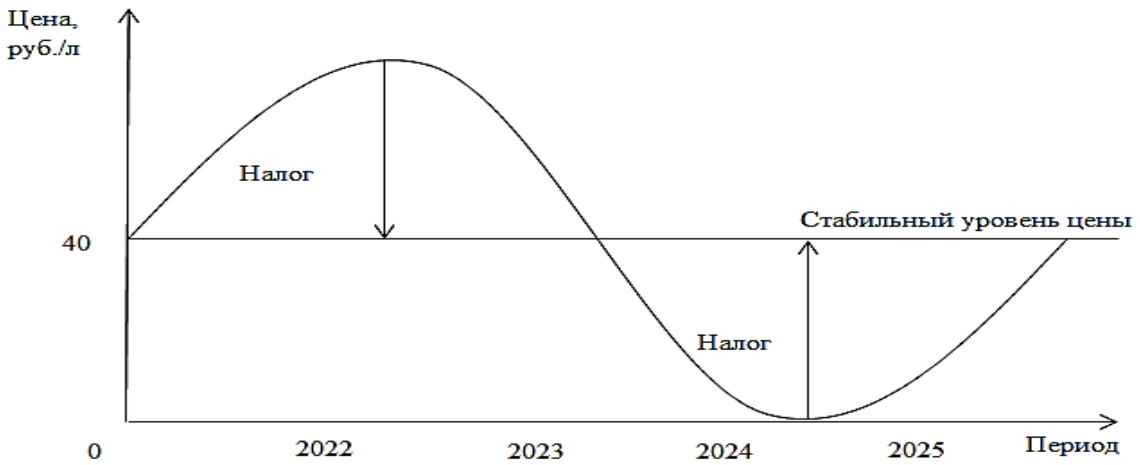

Рисунок 10 – Сглаживание амплитуды стоимости сырьевой базы во времени под влиянием изменения величины налогов

Мы предлагаем сокращать размер акциза, НДС либо других налогов в случае роста стоимости сырьевой базы во времени. В случае же снижения стоимости сырья – увеличивать их, корректируя изменения с целью избегания ощутимого влияния цены при производстве.

Выводы. Проведенное исследование показало, что в Республике Мордовия имеет место недофинансирование государственных программ в области инноваций и сокращение затрат бюджета на НИОКР. Еще одной важной проблемой является то, что предоставление налоговых льгот и бюджетных средств в форме субсидий и грантов охватывают только первоначальные этапы инновационного процесса, в то время как дальнейшему распространению инновационного продукта, меры поддержки со стороны государства практически не оказываются.

Создание надежных условий, способствующих коммерциализации, должно входить в число приоритетных задач региона по разработке косвенных инструментов, предназначенных для поддержания инновационного бизнеса. Разработанный комплекс мер, направленных на бюджетное стимулирование деятельности в сфере инноваций на региональном уровне, позволит в значительной степени увеличить объемы инвестируемых средств субъектов инновационного предпринимательства Республики Мордовия. Предложенные рекомендации имеют экономическую и социальную значимость, поскольку реализация комплекса мероприятий с одновременным увеличением в регионе инновационной активности позволит предприятиям, в том числе относящимся к числу малых, увеличить свою эффективность, а также позволит создать новые рабочие места, увеличит налоговую базу, приведет к росту числа субъектов, с различной степенью участия реализующих инновационные проекты, создаст дополнительный бюджетный эффект.

Список использованной литературы:

1. *Семенова Н.Н., Буянова Е.А.* Налоговое регулирование инновационного развития экономики России // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2021. № 1. С. 110-119.

2. *Yao X.* Do innovation subsidies policy improve the innovation performance of enterprises? // Open Journal of Social Sciences. 2019. Vol. 7. P. 1-12. DOI: 10.4236/jss.2019.72001.
3. *Shao Y.* Corporate tax policy and heterogeneous firm innovation: evidence from a developing country // Journal of Comparative Economics. 2019. Vol. 47. № 2. P. 470-486. DOI: 10.1016/j.jce.2019.02.005.
4. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: стат. сб. / Росстат. М., 2020. 1242 с.
5. *Марабаева Л.В.* Влияние региональной инновационной инфраструктуры на конкурентоспособность региональной экономики: опыт Республики Мордовия // Россия: тенденции и перспективы развития. 2019. № 14-2. С. 884-887.
6. *Абашкин В.Л.* Рейтинг инновационного развития субъектов Российской Федерации. Выпуск 7: аналитические материалы. М.: НИУ ВШЭ, 2021. 274 с.
7. Мордовия: стат. ежегодник / Мордовиястат. Саранск, 2020. 427 с.
8. Государственная программа Республики Мордовия «Научно-технологическое и инновационное развитие Республики Мордовия»: утв. Постановлением Правительства Республики Мордовия № 655 от 04.12.2020 г. URL: https://docs.cntd.ru/document/571036310 (дата обращения: 28.12.2021).
9. О ходе реализации и оценки эффективности государственных программ Республики Мордовия: сводный годовой доклад Министерства экономики, торговли и предпринимательства Республики Мордовия. URL: http://mineco.e-mordovia.ru/target-programs/consolidated-annual-report-on-the-progress-of-implementation-and-evaluating-the-effectiveness-of-sta/index.php (дата обращения: 05.01.2022).
10. Отчеты об исполнении бюджета Республики Мордовия Министерства финансов Республики Мордовия. URL: https://www.minfinrm.ru/budget/otch-isp/ (дата обращения: 05.01.2022).
11. Сайт Федеральной налоговой службы. URL: https://www.nalog.gov.ru/rn13/ (дата обращения: 08.01.2022).
12. Налоговый кодекс Российской Федерации. Часть вторая: федеральный закон Российской Федерации 117-ФЗ от 05.08.2000 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/ (дата обращения: 12.01.2022).
13. О снижении ставок по налогу на прибыль организаций: закон Республики Мордовия № 77-З от 25.11.2004 г. URL: https://base.garant.ru/8913530/ (дата обращения: 12.01.2022).
14. О налоге на имущество организаций: закон Республики Мордовия № 54-З от 27.11.2003 г. URL: https://base.garant.ru/8911866/ (дата обращения: 13.01.2022).
15. О налоговых ставках при применении упрощенной системы налогообложения: закон Республики Мордовия № 5-З от 04.02.2009 г. URL: https://base.garant.ru/8925288/#friends (дата обращения: 13.01.2022).
16. О внесении изменений в Закон Республики Мордовия «Об установлении налоговой ставки в размере 0 процентов для отдельных категорий налогоплательщиков – индивидуальных предпринимателей при применении упрощенной системы налогообложения и патентной системы налогообложения в Республике Мордовия»: закон Республики Мордовия № 96-З от 26.12.2020 г. URL: https://ipbd.ru/doc/1300202012310008/ (дата обращения: 13.01.2022).

References:

1. Semeniva N.N., Buyanova E.A. Nalogovoye regulirovaniye innovatsionnogo razvitiya ekonomiki Rossii [Tax regulation of innovative development of the Russian economy]. *Aktual'nyye problemy ekonomiki i menedzhmenta* [Actual problems of economics and management], 2021, no. 1, pp. 110-119. (In Russian).
2. Yao X. Do innovation subsidies policy improve the innovation performance of enterprises? *Open Journal of Social Sciences*, 2019, vol. 7, pp. 1-12. (In English). DOI: 10.4236/jss.2019.72001.

3. Shao Y. Corporate tax policy and heterogeneous firm innovation: evidence from a developing country. *Journal of Comparative Economics*, 2019, vol. 47, no. 2, pp. 470-486. (In English). DOI: 10.1016/j.jce.2019.02.005.
4. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskiye pokazateli. 2020: statisticheskij sbornik* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2020: statistical compendium]. Moscow, 2020, 1242 p. (In Russian).
5. Marabayeva L.V. Vliyaniye regional'noy innovatsionnoy infrastruktury na konkurentosposobnost' regional'noy ekonomiki: opyt Respubliki Mordoviya [The influence of regional innovation infrastructure on the competitiveness of the regional economy: the experience of the Republic of Mordovia]. *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya* [Russia: trends and development prospects], 2019, no. 14-2, pp. 884-887. (In Russian).
6. Abashkin V.L. *Reyting innovatsionnogo razvitiya sub"yektov Rossiyskoy Federatsii. Vypusk 7: analiticheskiye materialy* [Rating of innovative development of subjects of the Russian Federation. Issue 7: analytical materials]. Moscow, NIU VSHE Publ., 2021, 274 p. (In Russian).
7. *Mordoviya: statisticheskij ezhegodnik* [Mordovia: statistical yearbook]. Saransk, 2020, 427 p. (In Russian).
8. Resolution of the Government of the Republic of Mordovia No. 655 of December 4, 2020, *Gosudarstvennaya programma Respubliki Mordoviya «Nauchno-tekhnologicheskoe i innovacionnoe razvitie Respubliki Mordoviya»* [The State program of the Republic of Mordovia "Scientific, technological and innovative development of the Republic of Mordovia"]. Available at: https://docs.cntd.ru/document/571036310 (accessed 28.12.2021).
9. *O khode realizatsii i otsenki effektivnosti gosudarstvennykh programm Respubliki Mordoviya: svodnyy godovoy doklad Ministerstva ekonomiki, torgovli i predprinimatel'stva Respubliki Mordoviya* [On the implementation and evaluation of the effectiveness of state programs of the Republic of Mordovia: consolidated annual report of the Ministry of Economy, Trade and Entrepreneurship of the Republic of Mordovia]. (In Russian). Available at: http://mineco.e-mordovia.ru/target-programs/consolidated-annual-report-on-the-progress-of-implementation-and-evaluating-the-effectiveness-of-sta/index.php (accessed 05.01.2022).
10. *Otchety ob ispolnenii byudzheta Respubliki Mordoviya Ministerstva finansov Respubliki Mordoviya* [Reports on the execution of the budget of the Republic of Mordovia of the Ministry of Finance of the Republic of Mordovia]. (In Russian). Available at: https://www.minfinrm.ru/budget/otch-isp/ (accessed 05.01.2022).
11. *Sayt Federal'noy nalogovoy sluzhby* [Site of Federal Tax Service]. (In Russian). Available at: https://www.nalog.gov.ru/rn13/ (accessed 08.01.2022).
12. Russian Federation. The Federal Law of the Russian Federation No. 117-FZ of August 5, 2000, *Nalogovyj kodeks Rossijskoj Federacii. Chast' vtoraya* [The Tax Code of the Russian Federation. Part Two. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/ (accessed 12.01.2022).
13. Law of the Republic of Mordovia No. 77-3 of November 25, 2004, *O snizhenii stavok po nalogu na pribyl' organizacij* [On the reduction of corporate income tax rates]. Available at: https://base.garant.ru/8913530/ (accessed 12.01.2022).
14. Law of the Republic of Mordovia No. 54-3 of November 27, 2003, *O naloge na imushchestvo organizacij* [About the property tax of organizations]. Available at: https://base.garant.ru/8911866/ (accessed 13.01.2022).
15. Law of the Republic of Mordovia No. 5-3 of February 4, 2009, *O nalogovyh stavkah pri primenenii uproshchennoj sistemy nalogooblozheniya* [About tax rates in the application of the simplified taxation system]. Available at: https://base.garant.ru/8925288/#friends (accessed 13.01.2022).
16. Law of the Republic of Mordovia No. 96-3 of December 26, 2020, O vnesenii izmenenij v Zakon Respubliki Mordoviya «Ob ustanovlenii nalogovoj stavki v razmere 0 procentov dlya otdel'nyh kategorij nalogoplatel'shchikov – individual'nyh predprinimatelej pri primenenii uproshchennoj

sistemy nalogooblozheniya i patentnoj sistemy nalogooblozheniya v Respublike Mordoviya» [On Amendments to the Law of the Republic of Mordovia “On the Establishment of a tax rate of 0 percent for Certain Categories of Taxpayers – individual Entrepreneurs when Applying the Simplified Taxation System and Patent Taxation System in the Republic of Mordovia”]. Available at: https://ipbd.ru/doc/1300202012310008/ (accessed 13.01.2022).

Сведения об авторах / Information about authors

Семенова Надежда Николаевна	д-р экон. наук, заведующий кафедрой финансов и кредита Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68 nnsemenova@mail.ru
Semenova Nadezhda Nikolaevna	Dr. Sci. (Econ.), Head of the Department of Finance and credit National Research Mordovia State University 430005, Republic of Mordovia, Saransk, Bol'shevistskaya str., 68 nnsemenova@mail.ru
Гребенцова Регина Александровна	магистрант 2-го курса направления подготовки «Экономика» Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68 reg.kol@yandex.ru
Grebentsova Regina Alexandrovna	master student of the 2nd year of the training direction “Economics” National Research Mordovia State University 430005, Republic of Mordovia, Saransk, Bol'shevistskaya str., 68. reg.kol@yandex.ru

УДК 332.146.2 **DOI: 10.47404/2619-0605_160**

Труба А.С., Абряндина В.В.

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРУДА В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы рационализации государственного механизма правового регулирования трудовых отношений в агропромышленном секторе экономики. Определены и обозначены особенности реализации в условиях цифровой трансформации экономической деятельности и ее правового регулирования. Представлен анализ трудового законодательства в том числе и нормативно-правовой регламентации социальной стороны трудовых отношений, а также вопросы регулирования охраны труда на производстве. Исследованы институциональные аспекты лежащие в основе сущности при реализации государственного правового механизма регулирования вопросов труда. В том числе освещены основополагающие принципы нормативного и правового регулирования труда в России. Кроме того, представлены признаки легитимного регулирования данной сферы отношений, являющиеся базисом механизма государственного регулирования трудовых отношений в агропромышленной сфере в условиях новых вызовов.
Ключевые слова: регулирование труда, агропромышленная сфера экономики, цифровая трансформация правового регулирования труда.

Truba A.S., Abriandina V.V.

RATIONALIZATION OF THE STATE MECHANISM OF LEGAL REGULATION OF LABOR IN THE AGRO-INDUSTRIAL SECTOR OF THE ECONOMY

Abstract. The article deals with the issues of rationalization of the state mechanism of legal regulation of labor relations in the agro-industrial sector of the economy. The features of implementation in the conditions of digital transformation of economic activity and its legal regulation are defined and outlined. The analysis of labor legislation, including the regulatory and legal regulation of the social side of labor relations, as well as issues of labor protection regulation at work is presented. The institutional aspects underlying the essence of the implementation of the state legal mechanism of regulation of labor issues are investigated. In particular, the fundamental principles of normative and legal regulation of labor in Russia are highlighted. In addition, the signs of legitimate regulation of this sphere of relations are presented, which are the basis of the mechanism of state regulation of labor relations in the agro-industrial sphere in the face of new challenges.
Keywords: labor regulation, agro-industrial sphere of the economy, digital transformation of legal regulation of labor.

Введение. Рассматривая современное состояние трудовых отношений в агропромышленном секторе, необходимо обратить особое внимание на то, что концептуально механизм их реализации в российской практике остаётся достаточно устойчивым, несмотря на агрессивные условия цифровой трансформации, изменения содержания социальных ролей и статусов, а также

трансформации экономических отношений. Такая ситуация сложилась в силу относительной стабильности законодательства, регулирующего комплекс трудовых отношений, а также высокого уровня консервативности социально-трудовых практик в АПК.

Причем, особенно актуальным оказался сегмент социальных отношений в части регулирования и защиты прав работников при новых формах занятости в условиях использования, в том числе, и цифровых механизмов. Кроме того, для правовой регламентации регулирования труда в агропромышленном секторе экономики рационализация использования государственного механизма регулирования данных отношений имеет важное значение в условиях новых вызовов. При этом правовой механизм электронного документооборота позволяет регулировать трудовые отношений без использования бумажных носителей, что, в принципе, создает предпосылки для ускорения процессов принятия управленческих решений на предприятиях агропромышленного сектора экономики [1].

Целью исследования является изучение и анализ нормативно-правовой базы в сфере регулирования труда в АПК в условиях трансформационных цифровых процессов и выявление особенностей реализации государственного механизма регулирования в агропромышленной сфере.

Материалы и методы исследования. Теоретической и методической основой исследования являются собственные научные разработки, а также труды ведущих ученых экономистов по вопросам рационализации государственного механизма правового регулирования в условиях цифровой трансформации [2], а также сферы регулирования трудовых отношений в АПК [3-7]. Кроме того, в ходе исследований [8] были выявлены основные мотивы применения цифровых технологий в аграрном производстве: сокращение непроизводственных потерь ресурсов, предотвращение потерь готовой продукции при транспортировке, обеспечение соблюдения работниками технологического процесса, режима труда и отдыха [9], и т.д.

Результаты исследования и их обсуждение

Трудовая сфера села переживает не лучшие свои времена. Непредсказуемость воздействия значительной гаммы факторов, несовершенство механизмов в социальной и налоговой сферах, а также в организационно-правовых формах хозяйствования, низкий уровень благосостояния и социально-экономической защиты работников аграрной сферы экономики, пассивность профсоюзных организаций и слабое влияние на социальные процессы в АПК отраслевых союзов – все это вместе взятое не позволяет в достаточной мере развивать новые их формы.

При этом, совершенствование механизма регулирования трудовых отношений на начальном этапе выстраивается на проведение мониторинга современного их состояния. Мониторинг трудовых отношений должен выстраиваться в качестве специализированной системы, в которой возможен сбор, анализ и синтез всевозможной информации, прямо и косвенно затрагивающей различные глубинные процессы социально и трудовых отношений. Как правило, выделяют статистические и социологические данные, обработка которых используется для выработки качественных и эффективных управленческих решений.

Предыдущие исследования [10] показали, что трудовые отношения существенным образом определяются социально-психологическим климатом сельской территории, определяемым сочетанием в совокупности работников организаций АПК, фермеров консервативного и инновационного подходов к реализации своих трудовых функций. В контексте социально-психологического аспекта реализации социально-трудовых отношений в АПК следует направлять усилия на преодоление проблемы цифрового разрыва. Эта проблема складывается из разницы знаний и навыков работников в чьи трудовые обязанности входит применение автоматизированных комплексов, цифровых решений.

Основой изменения и совершенствования механизма реализации трудовых отношений в АПК являются их особенности, анализ которых произведён на

основе метода комплексной оценки социально-экономических процессов и представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Особенности реализации трудовых отношений в АПК

Подход	Содержание особенности
Геронтологический	Старение сельского населения
Кооперативный	Сохранение практики социальной кооперации
Миграционный	Миграция молодёжи и наиболее экономически активного населения в городскую местность. Привлечение иностранцев на сезонные работы
Мотивационный	Низкий, по сравнению с городской местностью, уровень оплаты труда
Отраслевой	Ниже уровень цифровизации, автоматизации, фондовооружённости чем в промышленности
Правовой	Традиционно низкий уровень правовой грамотности. Высокое значение правовых местных традиций
Производственный	Сезонность работ. Распространение практики сезонного вахтового найма
Психологический	Ориентация на практический осязаемый результат, повышенный уровень эмоциональности в отношениях
Социологический	Увеличение доли прекариата (соц. класса, группы имеющего низкие и не постоянные доходы)
Экономический	Низкий спрос на рабочую силу сельских территорий

По данным приведенной выше таблицы можно констатировать, что трудовые отношения в агропромышленном секторе экономики имеют ряд особенностей, позволяющих изменить их содержание и характер при организации системного на них воздействия. Наиболее простой демонстрацией такого воздействия можно определить обучение сотрудников, сельское население по вопросам применения новых цифровых технологий, а также по правовым вопросам.

Кроме того, следует учитывать то, что механизм государственного регулирования трудовых отношений базируется на взаимодействие государства с работодателем и работником, на регулирование минимальной оплаты труда, а также определенных нормативов. Между тем, правовое регулирование, являющееся неотъемлемым компонентом механизма государственного регулирования труда в нашей стране, обуславливает пределы компетенции уполномоченного государственного органа, иных социальных структур, с

соблюдением установленной законодательством процедур нормативно-правовой документации [11].

В современный механизм государственного регулирования трудовых отношений в нашей стране входит наряду с программно-нормативной регламентацией также социальное партнерство.

Правовые основы регулирования социального партнерства обозначены в статье 23 Трудового Кодекса Российской Федерации. Согласно данной статье, социальное партнерство – это построение взаимоотношений между органами государственной власти, местного самоуправления, работодателями, представителями работников, т. е. направленных действий в целях согласования интересов работников и работодателей по вопросам регулирования трудовых и иных непосредственно связанных с ними отношений [12].

Между тем, следует учитывать, что на федеральном уровне по вопросам регулирования трудовых отношений функционирует Российская трехсторонняя комиссия. При этом на паритетной основе представлены представители профсоюзов, объединений работодателей и Правительства Российской Федерации. Во всех субъектах Российской Федерации сформированы и работают региональные трехсторонние комиссии.

По ключевым направлениям социальной политики на федеральном уровне обязательства сторон социального партнерства отражены в Генеральном соглашении между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством РФ.

На федеральном уровне заключенные Соглашения обязаны пройти регистрацию в Роструде в форме уведомления, далее опубликованы на официальных сайтах Минтруда и Роструда. При этом, соглашения, регулирующие трудовые отношения, заключаются также и на межрегиональном, региональном, отраслевом и территориальном уровнях. На уровне организаций трудовые отношения регулируются коллективными договорами. Следует отметить, при урегулировании коллективных трудовых споров привлекаются органы государственной власти.

В таблице 2 представлен обзор основных нормативно-правовых актов,

регулирующих вопросы социального партнерства в Российской Федерации и выделены их основные положения.

Таблица 2 – Перечень нормативных актов по социальному партнерству

Нормативно-правовые акты	Основные положения
Трудовой кодекс Российской Федерации. Раздел II «Социальное партнерство в сфере труда».	В данном разделе, в частности, в ст. 24 ТК РФ установлены основные принципы социального партнерства.
Федеральный закон от 1 мая 1999 г. № 92-ФЗ «О Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений».	Данный закон устанавливает правовую основу формирования Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений и определяет основы ее деятельности.
Федеральный закон от 12.01.1996 г. № 10-ФЗ «О профессиональных союзах, их правах и гарантиях деятельности».	Закон устанавливает правовые основы создания профсоюзов, определяет их права и гарантии деятельности.
Федеральный закон от 27 ноября 2002 г. № 156-ФЗ «Об объединениях работодателей».	Устанавливает основные права и обязанности объединений работодателей в отношениях с работниками, профессиональными союзами и объединениями профсоюзов при участии органов государственной власти и органов местного самоуправления.
Конвенция № 87 Международной организации труда «Относительно свободы ассоциаций и защиты права на организацию», ратифицирована Указом Президиума Верховного Совета СССР 6 июля 1956 г.	Предусматривает создание трудящимися и предпринимателями по своему усмотрению организаций без предварительного на то разрешения, а также вступать в такие организации на единственном условии – подчинения их уставу соответствующих организаций.
Конвенция № 98 Международной организации труда «Относительно применения принципов права на организацию и заключение коллективных договоров», ратифицирована Указом Президиума Верховного Совета СССР 6 июля 1956 г.	Трудящиеся должны пользоваться соответствующей защитой против любых дискриминационных актов, направленных на ущемление свободы ассоциаций в области найма на работу.
Конвенция № 144 Международной организации труда «О трехсторонних консультациях для содействия применению международных трудовых норм», ратифицирована Федеральным законом от 4 октября 2014 г. № 281-ФЗ.	Предусматривает проведение эффективных консультаций между представителями правительства, предпринимателей и трудящихся по вопросам применения международных трудовых норм.
Конвенция № 150 Международной организации труда «О регулировании вопросов труда: роль, функции и организация», ратифицирована Федеральным законом от 11 апреля 1998 г. № 58-ФЗ.	Регулирует вопросы труда и инспектирование труда в промышленности и торговле, а также в секторе некоммерческих служб, безопасность и гигиену труда и производственной среде.

Отраженные в данной таблице нормативно-правовые источники составляют основу правовой базы и определяют векторное направление механизма правового регулирования труда в нашей стране.

Следует отметить, что приведенными выше нормативно-правовыми актами не ограничивается регулирование трудовых отношений в АПК. Далее в таблице 3 представлены подзаконные акты и выделена их сущность.

Таблица 3 – Подзаконные акты по социальному партнерству

Нормативно-правовые акты, регулирующие вопросы социального партнерства	Основные положения
1	2
Постановление Правительства Российской Федерации от 5 ноября 1999 г. № 1229 «О Порядке обеспечения деятельности Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений».	Определяет порядок обеспечения деятельности Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений осуществляется Аппаратом Правительства Российской Федерации.
Постановление Правительства Российской Федерации от 18 июня 2004 г. № 297 «О составе представителей Правительства Российской Федерации в Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений».	Утверждает состав представителей Правительства Российской Федерации в Российской трехсторонней комиссии.
Регламент Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений, утвержден Правительством Российской Федерации 6 мая 2008 г.	Устанавливает нормативно-правовую основу функционирования Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений.
Приказ Роструда от 22 июля 2019 г. № 193 «Об утверждении Административного регламента предоставления Федеральной службой по труду и занятости государственной услуги по ведению базы данных по учету трудовых арбитров».	Определяет ведение базы данных по учету трудовых арбитров – по регламенту Роструда.
Приказ Роструда от 22 июля 2019 г. № 194 «Об утверждении Административного регламента предоставления Федеральной службой по труду и занятости государственной услуги по уведомительной регистрации отраслевых (межотраслевых) соглашений, заключенных на федеральном уровне социального партнерства, межрегиональных соглашений».	Устанавливает, что федеральные и межрегиональные отраслевые и межотраслевые соглашения регистрируются в соответствии с регламентом Роструда на основе перечня документов, представляемых объединениями работодателей в ведомство.

Продолжение таблицы 3

1	2
Приказ Роструда от 22 июля 2019 г. № 195 «Об утверждении Административного регламента предоставления Федеральной службой по труду и занятости государственной услуги по регистрации в уведомительном порядке коллективных трудовых споров по поводу заключения, изменения и выполнения соглашений, заключаемых на федеральном уровне социального партнерства, коллективных трудовых споров в организациях, финансируемых из федерального бюджета, а также коллективных трудовых споров, возникающих в случаях, когда в соответствии с законодательством Российской Федерации в целях разрешения трудового спора забастовка не может быть проведена».	Утвержден новый регламент услуги по регистрации в уведомительном порядке коллективных трудовых споров: отказать в приеме запроса нельзя; граждане могут получить консультацию по вопросам ее оказания; не нужны согласования в других органах для получения услуги; запросы регистрируются в течение рабочего дня и учитываются в электронном виде.
Приказ Роструда от 22 июля 2019 г. № 196 «Об утверждении Административного регламента предоставления Федеральной службой по труду и занятости государственной услуги по содействию в урегулировании коллективных трудовых споров по поводу заключения, изменения и выполнения соглашений, заключаемых на федеральном уровне социального партнерства, коллективных трудовых споров в организациях, финансируемых из федерального бюджета, а также коллективных трудовых споров, возникающих в случаях, когда в соответствии с законодательством Российской Федерации в целях разрешения коллективного трудового спора забастовка не может быть проведена».	Роструд регламентировал предоставление услуги по содействию в урегулировании коллективных трудовых споров (КТС) при заключении, выполнении соглашений федерального уровня социального партнерства, в организациях, финансируемых из федерального бюджета, а также при невозможности проведения забастовки для разрешения КТС. Определен круг заявителей на локальном, территориальном, отраслевом, региональном, межрегиональном и федеральном уровне.
Приказ Роструда от 22 июля 2019 г. № 197 «Об утверждении Административного регламента предоставления Федеральной службой по труду и занятости государственной услуги по организации подготовки трудовых арбитров».	Роструд регламентировал услугу по подготовке трудовых арбитров, участвующих в разрешении коллективных трудовых споров, которая предоставляется в любом территориальном органе.

Далее хотелось бы остановиться на социально значимых и экономически ориентированных вопросах правового регулирования охраны труда, так как в современном технологическом мире безопасность становиться ключевым фактором всех сфер жизнедеятельности человека.

При этом экономическое значение охраны труда напрямую зависит от эффективности мероприятий по улучшению условий труда, которые в свою

очередь способствуют повышению производительности труда. Изменение вектора правового регулирования охраны труда приобретает сегодня особую значимость. В данном аспекте нас интересует состояние законодательства относительно данного вопроса.

Характеризуя сущность охраны труда как системы ряда организационно-правовых, социально-экономических, технических и иных мероприятий, направленных на охрану труда работников в процессе трудовой деятельности, следует отметить, что особенности правового регулирования основываются на межотраслевом аспекте. При этом наряду с общими нормами права регулирующих охрану труда, отраженных в Трудовом Кодексе РФ в X разделе «Охрана труда», существуют специальные, т. е. отраслевые нормы, регулирующие данные отношения в той, либо иной отрасли экономики. При этом правовому регулированию данного пласта вопросов государство придает особую важность и пристальное внимание, где государственное регулирование и реагирование на изменение технологических процессов экономической деятельности в отраслях экономики должно быть мгновенным, так как охрана труда – важнейшая часть трудовой деятельности. С 2016 года создана достаточно обширная нормативно-правовая регламентация по данным вопросам – это нормы, правила и стандарты межотраслевого регулирования в данной области. На сегодняшний день действуют: 27 межотраслевых и 69 отраслевых правил по охране труда; более 76 межотраслевых и отраслевых типовых инструкций по охране труда; более 103 правил безопасности, правил устройства и безопасной эксплуатации, более 152 – государственных санитарно-эпидемиологических правил и нормативов (санитарные правила, санитарные нормы, гигиенические нормативы, методические указания, распоряжения и рекомендации); более 411 стандартов системы безопасности труда.

Кроме того, необходимо отметить, в системе трудовых отношений значимую роль играют качественно и научно-обоснованно отраслевые тарифные соглашения, разработанные в рамках социального партнерства.

При этом следует обратить особое внимание на такой важнейший документ, которым является отраслевое тарифное соглашение. Этот документ содержит взаимные обязательства и влияет не только на систему трудовых отношений в агропродовольственной сфере, но и является одновременно для органов государственного управления агропромышленным комплексом, отраслевых союзов, профессионального союза работников АПК как тактическим, так и стратегическим инструментом совершенствования и гармоничного развития аграрной и агропродовольственной политики государства.

Отраслевые тарифные соглашения должны разрабатываться с учетом принципов системности, научности, взаимодополняемости, этапности, равноправия сторон, соблюдения норм действующего законодательства. И, конечно же, важна полномочность субъектов, занятых процессом разработки, ведения переговоров и заключения, в конечном итоге, отраслевого тарифного соглашения. Такой подход вполне объективен и при разработке и заключении в хозяйствующих субъектах – коллективных договоров.

В условиях значительного количества различных мер, принимаемых в рамках программно-целевого управления развитием АПК, а также под воздействием значительной гаммы факторов (в отдельных случаях, лежащих за пределами многосферного АПК), происходит и совершенствование как структуры отраслевых тарифных соглашений и коллективных договоров, так и их содержательной составляющей.

Анализ показывает, что в отраслевые соглашения (за последнее десятилетие) вошли сравнительно новые направления взаимных обязательств, среди них: развитие человеческого потенциала; устойчивое развитие сельских территорий; развитие органического и экспортно-ориентированного агропроизводства; развитие новых форм социальной защиты; обеспечение условий для модернизации агропроизводства и внедрения цифровой экономики и другие направления.

Проведённое исследование позволило актуализировать механизм реализации социально-трудовых отношений в АПК (неотъемлемым элементом которого являются отраслевые соглашения и коллективные договоры), выделив элементы его совершенствования, являющиеся наиболее действенными.

Немаловажным вопросом в данной области исследования является также институциональные аспекты, являющиеся основополагающими предпосылками в вопросах сущности рационализации государственного механизма регулирования труда. В этой связи необходимо обратить внимание на принципы трудового регулирования (рис.1) и признаки правового регулирования трудовых отношений (рис. 2).

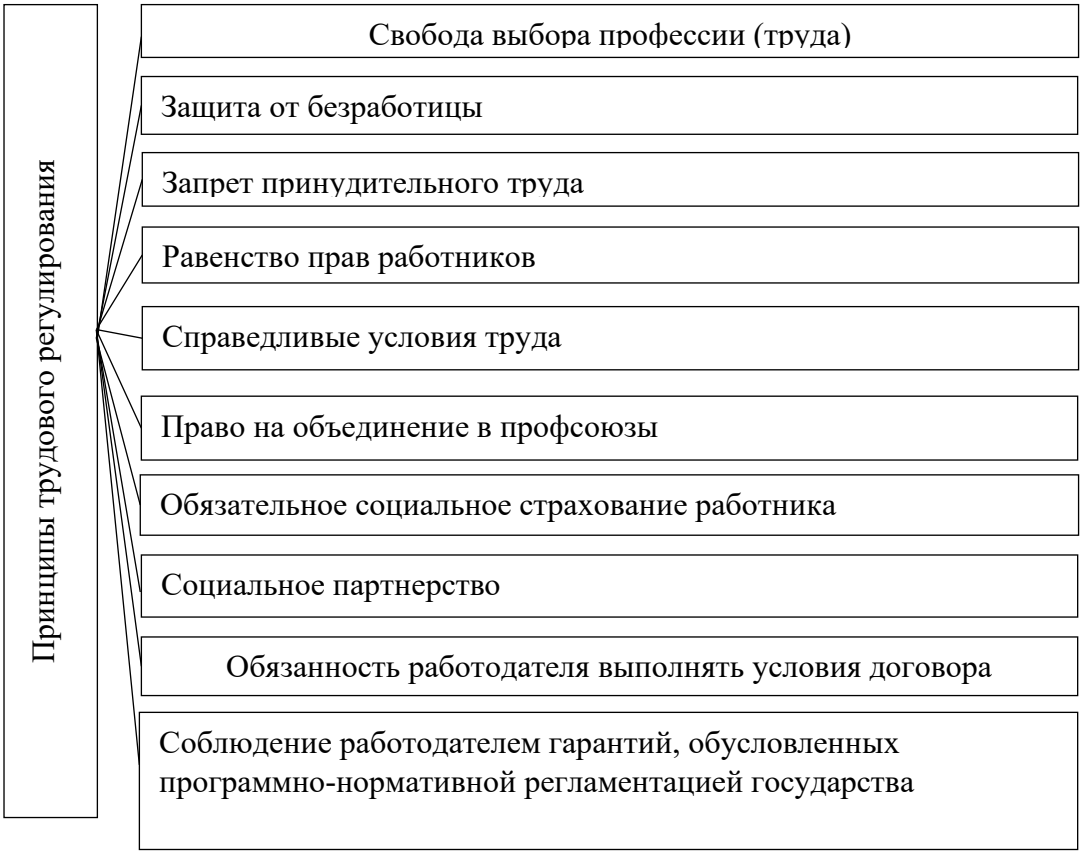

Рисунок 1 – Основополагающие принципу регулирования труда в РФ

Актуальный механизм реализации трудовых отношений в агропромышленной сфере с выделением элементов его совершенствования представлен на рисунке 3.

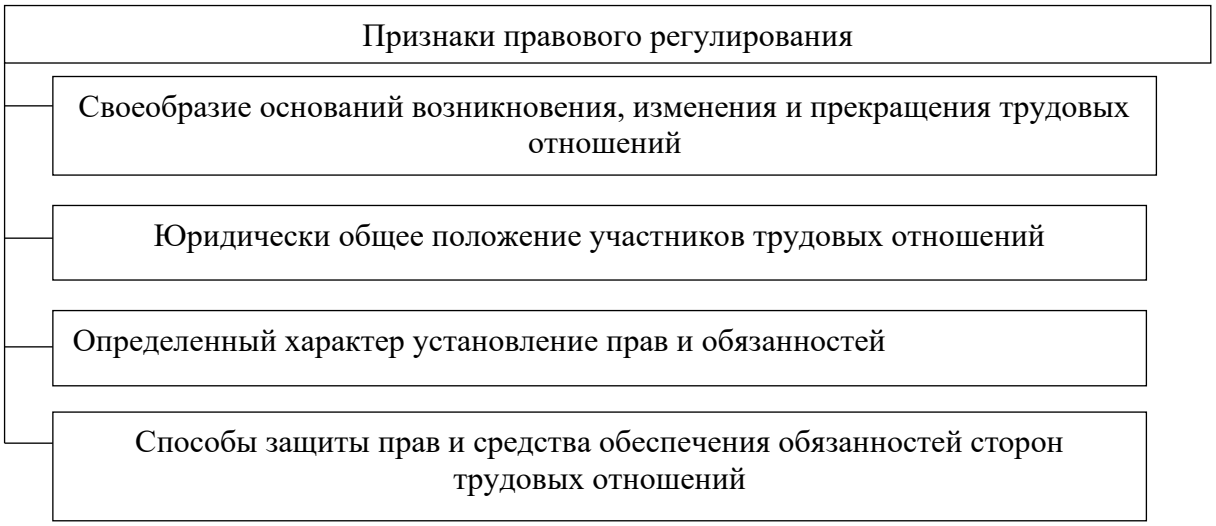

Рисунок 2 – Признаки правового регулирования

Представленные элементы механизма реализации трудовых отношений в АПК (выделенные серым цветом) обеспечивают его совершенствование посредством применения современных инструментов их реализации, а также во многом составляют научную новизну, не только в силу определения условий и способов их функционирования, но и изучения направлений социально-психологического аспекта реализации социально-трудовых отношений в АПК.

Инструменты реализации социально-трудовых отношений включают в себя как производственные, так и организационные цифровые решения. Смысл их применения связан, с позиций экономического подхода, с обеспечением сокращения издержек в условиях высокой волатильности цен на аграрную продукцию.

Выводы. Инструменты реализации трудовых отношений в АПК следует применять с учётом следующих обстоятельств:

- работники опасаются замещения своего труда цифровыми технологиями, автоматизированными системами, что негативно влияет на процесс цифровой трансформации АПК;

- требования к квалификации работника организации АПК сегодня предполагают сочетание аграрных знаний и знаний в сфере информационно-

цифровых технологий, что существенно снижает возможности привлечения к труду сельского населения. Каналы взаимодействия участников социально-трудовых отношений всё больше имеют цифровой, электронный характер.

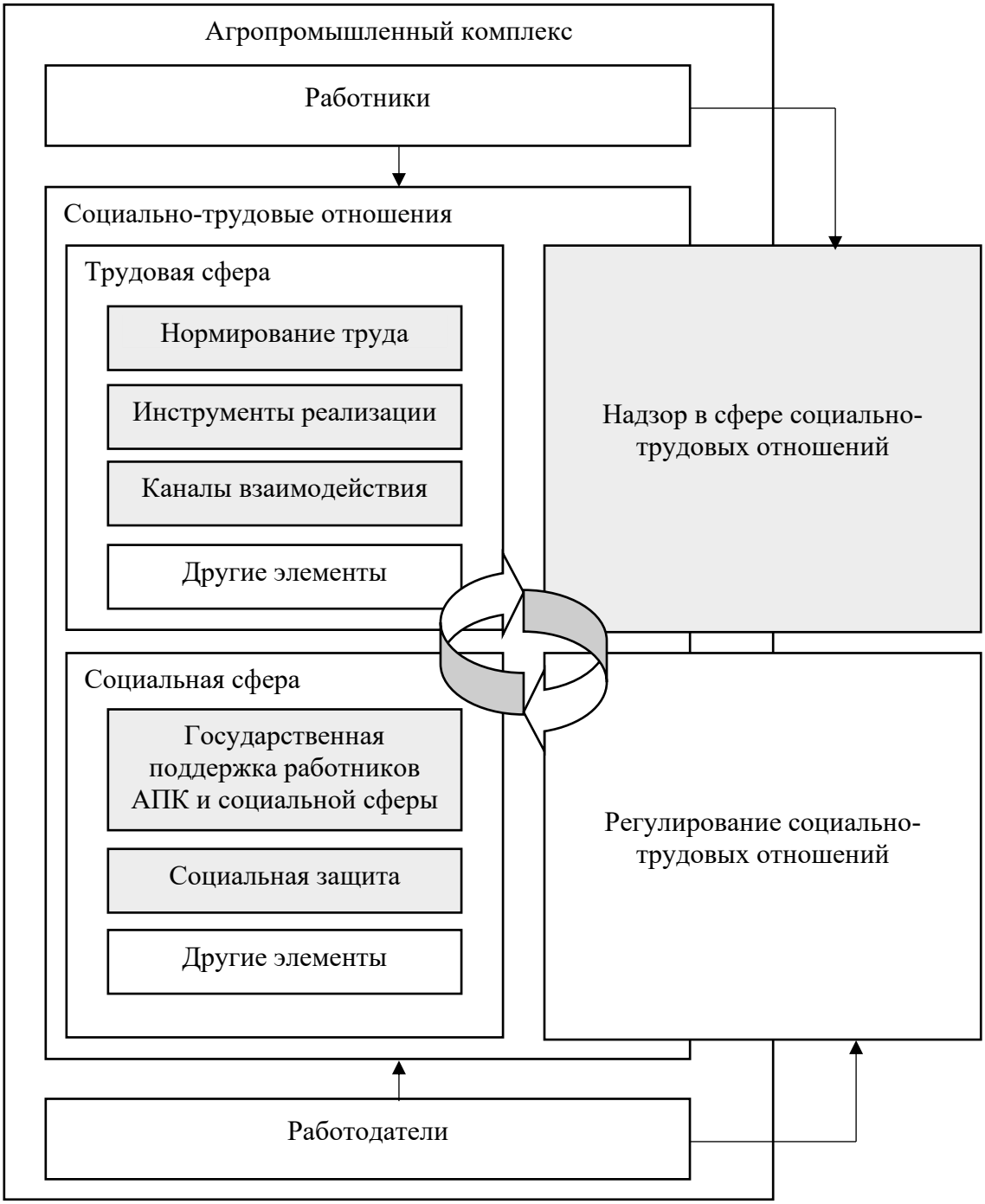

Рисунок 3 – Элементы механизма реализации социально-трудовых отношений, являющиеся основой его совершенствования

- рационализация государственного механизма правового регулирования трудовых отношений должна обеспечиваться жестким правовым регламентом выраженном в устойчивом нормативно-правовом регулировании.

Это проявляется не только в возможностях взаимодействия работника с надзорными органами и с трудовой инспекцией. Электронные каналы взаимодействия работника с работодателем, руководством в организации осуществляется в ходе производственного процесса. Так, активно внедряются специальные приложения для мобильных устройств, используемых работником в ходе осуществления своих трудовых функций. Такие устройства автоматически отправляют в единый информационный центр информацию о выполнении трудовых операций, о состоянии здоровья работника, о соблюдении работником режима труда и отдыха и т.д.

Надзор в сфере социально-трудовых отношений необходимо осуществлять с позиций профилактики правонарушений в трудовой сфере и минимизации воздействия на работодателей. В этих условиях существенным является применение цифровых платформенных решений. Совершенствование механизма реализации трудовых отношений возможно на основе переноса документооборота между работником и работодателем на портал «Госуслуги», позволяющий повысить уровень открытости и исключить недобросовестность действий. Данное предложение возможно реализовать в рамках создания «суперсервисов», предусмотренных концепцией совершенствования портала «Госуслуги».

Список использованной литературы:

1. *Абряндина В.В.* Правовое регулирование экономической деятельности в условиях реализации проектно-цифрового подхода // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2020. № 6 (63). С. 117-121.
2. Трансформационные процессы и адаптация хозяйствующих субъектов аграрной сферы: монография / Под науч. ред. О.А. Родионовой. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2020. 148 с.
3. *Грачев Д.В.* Регулирование трудовых отношений в региональном АПК // Актуальные вопросы экономических наук. 2015. № 45. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-trudovyh-otnosheniy-v-regionalnom-apk (дата обращения: 10.03.2022).
4. *Левченко Е.А., Ловчикова Е.И.* Регулирование социально-экономических и трудовых

отношений в региональном АПК // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-sotsialno-ekonomicheskih-i-trudovyh-otnosheniy-v-regionalnom-apk (дата обращения: 10.03.2022).
5. *Вартанова М.Л.* Регулирование социально-трудовых отношений на рынке труда // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 32 (6). С. 76-84. DOI: 10.24411/2309-4788-2020-10694.
6. *Tukhkanen T., Oksenyuk E., Ripol-Saragosi L.* Justification of the need to reform the labor market in the agro-industrial complex of the region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 937 (3), 032072.
7. *Smirnov, V., Danilina, M., Omelchenko, I., Botasheva, L.* Economics of ecological and biological development and labor market of agro-industrial complex // E3S Web of Conferences. 2020. 203, 05011.
8. *Сёмин А.Н., Труба А.С., Кислицкий М.М.* Практический опыт применения цифровых технологий мониторинга расхода топлива в АПК // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2020. № 11. С. 36-39.
9. *Кислицкий М.М.* Разработка и обоснование применения метода комплексной научно-методической оценки социально-экономических отношений при разработке управленческих решений // Агропродовольственная политика России. 2018. № 5. С. 17-21.
10. Цифровые и проектные ориентиры трансформации экономического взаимодействия хозяйствующих субъектов аграрной сферы: монография / Под науч. ред. О.А. Родионовой. М: ООО «Сам Полиграфист», 2021. 180 с.
11. *Абряндина В.В.* Особенности правового регулирования трудовой деятельности в условиях новых вызовов // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 5. С. 115-118.
12. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. №197-ФЗ // Российская газета. 2001. 31 декабря.

References:

1. Abryandina V.V. Pravovoye regulirovaniye ekonomicheskoy deyatel'nosti v usloviyakh realizatsii proyektno-tsifrovogo podkhoda [Legal regulation of economic activity in the context of the implementation of the project-digital approach]. *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve* [Economics, labor, management in agriculture], 2020, no. 6 (63), pp. 117-121. (In Russian).
2. Rodionova O.A. (sci. ed.) *Transformatsionnyye protsessy i adaptatsiya khozyaystvuyushchikh sub"yektov agrarnoy sfery* [Transformation processes and adaptation of economic entities in the agrarian sector]. Moscow, LLC “Sam Poligrafist” Publ., 2020, 148 p. (In Russian).
3. Grachev D.V. Regulirovaniye trudovykh otnosheniy v regional'nom APK [Regulation of labor relations in the regional agro-industrial complex]. *Aktual'nyye voprosy ekonomicheskikh nauk* [Actual issues of economic sciences], 2015, no. 45. (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-trudovyh-otnosheniy-v-regionalnom-apk (accessed 10.03.2022).
4. Levchenko Ye.A., Lovchikova Ye.I. Regulirovaniye sotsial'no-ekonomicheskikh i trudovykh otnosheniy v regional'nom APK [Regulation of socio-economic and labor relations in the regional agro-industrial complex]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2012, no. 3. (In Russian). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/regulirovanie-sotsialno-ekonomicheskih-i-trudovyh-otnosheniy-v-regionalnom-apk (accessed 10.03.2022).
5. Vartanova M.L. Regulirovaniye sotsial'no-trudovykh otnosheniy na rynke truda [Regulation of social and labor relations in the labor market]. *Yestestvenno-gumanitarnyye issledovaniya* Natural-humanitarian research.], 2020, no. 32 (6), pp. 76-84. (In Russian). DOI: 10.24411/2309-

4788-2020-10694.
6. Tukhkanen T., Oksenyuk E., Ripol-Saragosi L. Justification of the need to reform the labor market in the agro-industrial complex of the region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 937 (3), 032072. (In English).
7. Smirnov V., Danilina M., Omelchenko I., Botasheva L. Economics of ecological and biological development and labor market of agro-industrial complex. *E3S Web of Conferences*, 2020, 203, 05011. (In English).
8. Somin A.N., Truba A.S., Kislitskiy M.M. Prakticheskiy opyt primeneniya tsifrovykh tekhnologiy monitoringa raskhoda topliva v APK [Practical experience in the application of digital technologies for monitoring fuel consumption in the agro-industrial complex]. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* [Economics of agricultural and processing enterprises], 2020, no. 11, pp. 36-39. (In Russian).
9. Kislitskiy M.M. Razrabotka i obosnovaniye primeneniya metoda kompleksnoy nauchno-metodicheskoy otsenki sotsial'no-ekonomicheskikh otnosheniy pri razrabotke upravlencheskikh resheniy [Development and justification of the application of the method of complex scientific and methodological assessment of socio-economic relations in the development of management decisions]. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii* [Agro-food policy of Russia], 2018, no. 5, pp. 17-21. (In Russian).
10. Rodionova O.A. (sci. ed.) *Tsifrovyye i proyektnyye oriyentiry transformatsii ekonomicheskogo vzaimodeystviya khozyaystvuyushchikh sub"yektov agrarnoy sfery* [Digital and design guidelines for the transformation of economic interaction between economic entities in the agrarian sector]. Moscow, LLC “Sam Poligrafist” Publ., 2021, 180 p. (In Russian).
11. Abryandina V.V. Osobennosti pravovogo regulirovaniya trudovoy deyatel'nosti v usloviyakh novykh vyzovov [Peculiarities of legal regulation of labor activity in the context of new challenges]. *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve* [Economics, labor, management in agriculture], 2021, no. 5, pp. 115-118. (In Russian).
12. Russian Federation. The Federal Law of the Russian Federation № 197-FZ of December 30, 2001, Trudovoy kodeks Rossiyskoy Federatsii [Labor Code of the Russian Federation]. *Rossiyskaya gazeta* [Russian Newspaper], 2001, 31 December. (In Russian).

Сведения об авторах/ Information about the authors

Труба Анатолий Сергеевич	д-р экон. наук, главный научный сотрудник ВНИОПТУСХ – филиала ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ 111621, г. Москва, ул. Оренбургская, 15 truby.anatoly@yandex.ru
Truba Anatoly Sergeevich	Dr. Sci. (Econ.), Chief Researcher of VNIOPTUSKH branch of FGBNU FNC VNIIESH 15, Orenburg str., Moscow, 111621 truby.anatoly@yandex.ru
Абряндина Виктория Викторовна	канд. экон. наук, ведущий научный сотрудник ВНИОПТУСХ – филиала ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ 111621, г. Москва, ул. Оренбургская, 15 abrjandina@rambler.ru
Abrandina Victoria Viktorovna	Ph.D. (Econ.), leading researcher of VNIOPTUSKH – branch of FGBNU FNC VNIIESH 15, Orenburg str., Moscow, 111621 abrjandina@rambler.ru

УДК [658:005]:330.131.7 DOI: 10.47404/2619-0605_2022_1_176

Яркина Н.Н.

СИСТЕМНО-ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИМИ РИСКАМИ

Аннотация. Интегрированность акцентируется как важнейший принцип управления предпринимательскими рисками. Развитие системно-интегрированного подхода к управлению предпринимательскими рисками на основе современных управленческих тенденций определяется как цель исследования. В рамках реализации обусловленной цели изучены и проанализированы положения Концепции «COSO ERM (Enterprise Risk Management) 2017: Integrating with Strategy and Performance», а также смысловая характеристика идеи интегрированного управления рисками согласно установкам Gartner; системно-интегрированный подход представлен в качестве методологической основы эффективного управления предпринимательскими рисками, обоснована его актуальность и раскрыты особенности; выделены системные и специфические составляющие системно-интегрированного подхода к управлению рисками предприятий; дано определение интегрированной системы управления предпринимательскими рисками и обозначены ее организационные основы, в частности, цели и принципы.
Ключевые слова: системно-интегрированный подход, интегрированное управление рисками, система интегрированного управления предпринимательскими рисками.

Yarkina N.N.

SYSTEM-INTEGRATED APPROACH TO ENTERPRISE RISK MANAGEMENT

Abstract. Integration is emphasized as the most important principle of business risk management. The development of a system-integrated approach to business risk management based on modern management trends is defined as the purpose of the study. As part of the implementation of the stipulated goal, the provisions of the Concept "COSO ERM (Enterprise Risk Management) 2017: Integrating with Strategy and Performance" were studied and analyzed, as well as the semantic characteristic of the idea of integrated risk management according to Gartner's guidelines; the system-integrated approach is presented as a methodological basis for effective business risk management, its relevance is substantiated and its features are disclosed; the systemic and specific components of the system-integrated approach to enterprise risk management are highlighted; the definition of an integrated business risk management system is given and its organizational foundations, in particular, goals and principles, are outlined.
Keywords: system-integrated approach, integrated risk management, integrated enterprise risk management system.

Введение. «Интеграция» – знаковое явление современной жизни, не требующее дополнительных комментариев, пронизывающее все ее сферы и направления. «Интегрированность» вышла на уровень ключевых принципов человеческой деятельности. Вопросы интеграции и интегрированности относятся к числу важнейших текущих проблем теории и практики, ибо достичь в чем-либо максимального успеха, обеспечить эффект синергии можно только

«сообща», объединив согласованные между собой усилия и действия.

Актуальность интеграционных процессов в экономике в целом обусловлена необходимостью решать общие проблемы растущих потребностей на фоне усугубляющейся ограниченности общественных ресурсов. Актуальность интеграции на уровне предпринимательских структур (экономических систем базового уровня) предопределена необходимостью обеспечить рост благосостояния собственников, т.е. «создание и защиту ценностей» (согласно [1]), в условиях динамичности и неопределенности среды хозяйствования. Капитализация бизнеса в обозначенных условиях требует системного подхода к управлению предприятием в целом и системно-интегрированного подхода к управлению предпринимательскими рисками, в частности.

Цель исследования – развитие системно-интегрированного подхода к управлению предпринимательскими рисками с учетом современных управленческих тенденций.

Материалы и методы исследования. В основу исследования положены теоретические наработки отечественных и зарубежных ученых [2-6 и др.], а также практический опыт и рекомендации [7-10] по вопросам развития и усовершенствования управления предпринимательскими рисками.

Исследование построено на принципах диалектического метода, наиболее полно соответствующего уровню развития экономической науки. В частности, принцип объективности согласуется с признанием предпринимательских рисков в качестве неотъемлемой характеристики предпринимательства, а управляемости – предпринимательских рисков; принцип системности предопределяет системную составляющую системно-интегрированного подхода к управлению предпринимательскими рисками; принципы всеобщей связи и детерминизма обусловливают интегрированную составляющую системно-интегрированного подхода к управлению предпринимательскими рисками; принцип развития и историзма одновременно определяет и предпосылки и

результаты проводимого исследования; принцип конкретности предполагает конкретизацию элементов системы интегрированного управления предпринимательскими рисками; принцип противоречивости находит отражение в противоречии между доходностью и риском предпринимательских структур.

Результаты исследования. «Интегрированность» официально выделена в качестве первого принципа, устанавливающего характеристики эффективного управления рисками предприятия, а интегрированный менеджмент риска акцентируется как неотъемлемая часть всей его деятельности [1].

Идея интегрированного управления предпринимательскими рисками зафиксирована в Концепции «COSO ERM (Enterprise Risk Management) 2017: Integrating with Strategy and Performance» [7], отражающей новые тенденции в практике и видении управления предпринимательскими рисками.

В концепции COSO ERM 2017 обозначены ключевые положения современного подхода к управлению рисками. В частности: управление предпринимательскими рисками:

– рассматривается как «культура, компетенции и практики, интегрированные с процессом определения стратегии и управления эффективностью, на которые организация полагается в создании, сохранении и реализации стоимости» [8], а не просто как конкретная функция управления или специализированное подразделение;

– выходит за рамки определения перечня рисков предприятия;

– непосредственно связано с корпоративным управлением в целом (а не только с внутренним контролем деятельности предприятия), а также коммуникациями с субъектами внешней среды, включая все заинтересованные стороны;

– не является просто перечнем пошаговых последовательных действий и мероприятий (чек-листом). Оно рассматривается как механизм, включающий принципы, с учетом которых могут быть выстроены бизнес-процессы

предприятия, способствующий повышению эффективности деятельности предприятия в целом;

– обязательно предполагает мониторинг предпринимательских рисков как элемент общей системы мониторинга деятельности предприятия;

– осуществимо на всех предприятиях, независимо от их размера и организационной формы хозяйствования.

В концепции COSO ERM 2017:

– дана новая структура концептуальных основ управления предпринимательскими рисками. В частности: выделены пять компонентов (управление и культура; стратегия и постановка целей; эффективность деятельности; мониторинг и внедрение изменений, информация, коммуникация и отчетность) и двадцать, соответствующих им, принципов, которые необходимо учитывать в процессе стратегического планирования и управления эффективностью предприятия;

– сделан акцент на интеграции управления предпринимательскими рисками в систему корпоративного управления и, в первую очередь, стратегического менеджмента;

– большое значение придается корпоративной культуре, ориентированной, в том числе, и на риск;

– учитывается возрастающая роль информационных технологий в процессах управления предпринимательскими рисками.

Интегрированное управления предпринимательскими рисками рассматривается как фактор успешности бизнеса и достижения его целевых установок.

В словаре терминов Gartner под интегрированным управлением рисками (IRM) понимается «совокупность практик и процессов, поддерживаемых культурой, ориентированной на риски, и соответствующими технологиями, которые улучшают процесс принятия решений и их эффективность за счет комплексного представления о том, насколько хорошо предприятие управляет

своим уникальным набором рисков» [11].

Согласно определению Gartner, IRM обладает неотъемлемыми атрибутами, характеризующими его содержание и специфику (рис.1).

Атрибуты интегрированного управления рисками

1. **Стратегия:** создание и внедрение эффективной системы управления рисками, включая распределение ответственности за риски
2. **Оценка:** идентификация, оценка и определение приоритетов рисков
3. **Ответные меры:** определение и внедрение механизмов снижения риска
4. **Коммуникация и отчетность:** предоставление наилучших или наиболее подходящих средств для отслеживания и информирования заинтересованных сторон о мерах реагирования предприятия на риски
5. **Мониторинг:** определение и внедрение процессов, которые систематически отслеживают: цели управления; ответственность за риски/подотчетность; соблюдение политики и решений, принятых в процессе управления; риски, характерные для этих целей; эффективность снижения рисков и контроля
6. **Технология:** разработка и внедрение принципов построения IRM-решения

Рисунок 1 – Атрибуты интегрированного управления рисками [11]

Чтобы понять весь масштаб рисков, руководству предприятия требуется всестороннее, комплексное представление обо всех бизнес-процессах и бизнес-подразделениях, функциях по управлению рисками и соблюдению установленных норм и требований, а также о ключевых деловых партнерах, поставщиках и аутсорсинговых организациях, конкурентах, т.е. бизнес-среде. Развитие этого понимания требует, чтобы менеджмент риска и безопасности учитывал все шесть атрибутов IRM.

Создание и внедрение эффективной системы управления рисками, включающей распределение ответственности за них, является исходной позицией интегрированного управления рисками, предусматривающего реализацию системно-интеграционного подхода (рассматриваемого как составляющая общего методологического подхода к управлению

предпринимательскими рисками [12]) к формированию системы интегрированного управления рисками, учитывающей уникальность рисков отдельного хозяйствующего субъекта, предопределяемую спецификой его деятельности, т.е. индивидуальным набором системных элементов предприятия и их характеристик, динамичностью и неопределенностью внешней и внутренней среды хозяйствования и генерируемых ею угроз.

Уникальность набора предпринимательских рисков не предполагает шаблонного подхода к формированию системы интегрированного управления рисками предприятия, которая должна быть оригинальной на каждом предприятии, так как зависит от отраслевой направленности бизнеса, уровня развития и структуры производственного потенциала, эффективности его использования, качественного состава кадров, трудовой дисциплины и множества других факторов.

Именно системно-интегрированный подход позволяет обеспечить целевое единство и взаимосвязь всех структурных элементов системы интегрированного управления предпринимательскими рисками и рассматривать управление рисками не только как полноценное самостоятельное явление, но и как часть системы более высокого уровня, что дает возможность выделить понятие «интегрированная система управления предпринимательскими рисками».

Таким образом, интегрированная система управления предпринимательскими рисками – это «встроенная», объединенная с общей системой управления предприятием подсистема, способствующая реализации целевых установок бизнеса посредством эффективного управления рисками в пределах компетенций и средств соответствующих функциональных и линейных подразделений предприятия.

Элементы общей системы управления предприятием формируют основу управления предпринимательскими рисками (рис. 2).

Звенья аппарата управления – организационно обособленные по критерию специализации или комбинации функций управления, сфер управления, объемов и масштабов полномочий субъекты управления (руководители) и подчиненные

им подразделения (управляющие органы, функциональные отделы, секторы, группы, должности).

Рисунок 2 – Элементный состав интегрированной системы управления предпринимательскими рисками

Звенья аппарата управления предпринимательскими рисками могут быть представлены как самостоятельными специализированными субъектами и подразделениями управления (в частности, службой управления риском, риск-менеджером и т.д.), так и частично специализированными подразделениями, часть функций которых направлена на снижение уровня предпринимательских рисков (в их число входит юридический отдел, аудиторский отдел и др.). Кроме того, весь остальной персонал и подразделения предприятия в рамках своих должностных инструкций с учетом гражданской позиции и положений о структурных подразделениях обязаны принимать меры по недопущению и снижению уровня вероятных потерь в результате реализации внутренних и внешних угроз бизнесу и нести за них ответственность. Участие в управлении рисками должно восприниматься как обязанность и ответственность каждого работника предприятия: от генерального директора до уборщика.

Функции управления – комплекс целенаправленных, взаимосвязанных во времени и пространстве видов деятельности, обеспечивающих решение обусловленных проблем, на основе общих и конкретных, обусловленных спецификой управляемого объекта, подходов. Общие функции управления предпринимательскими рисками, как и любыми другими явлениями, включают планирование и прогнозирование, организацию и координацию, мотивацию, контроль и анализ результатов управленческих воздействий. К конкретным

функциям управления предпринимательскими рисками относится предупреждение и уклонение от потерь, локализация и диссипация угроз. При этом следует подчеркнуть, что диссипация угроз и потерь, сама по себе, осуществляется на интеграционной основе посредством развития межхозяйственных связей и координации деятельности предприятия.

Структура управления предприятием – состав, взаимосвязи и подчиненность звеньев аппарата управления предприятием. Структура управления предпринимательским риском изначально адекватна организационной структуре управления предприятием в целом. На рисунке 3 показаны ключевые подсистемы общей системы управления предприятием. На многоцелевую подсистему высшего руководства возложена функция стратегического управления. Программно-целевые подсистемы ориентированы на целевые программы, определяющие стратегические направления развития предприятия. Подсистема линейного руководства предназначена для непосредственного управления производственной деятельностью и включает всех линейных руководителей предприятия, взаимодействующих на основе вертикальных связей подчинения. Функциональная подсистема представлена совокупностью функциональных подразделений предприятия, реализующим общие и конкретные функции управления. В рамках функциональной подсистемы может быть выделена специализированная Служба управления рисками. Функциональные подразделения взаимодействуют между собой на основе горизонтальных связей согласования и взаимодействия. Подсистема обеспечения управления организует правовое, нормативное, техническое и информационное обеспечение управленческой деятельности.

Процесс управления – совокупность логически связанных действий звеньев аппарата управления, осуществляемых при выполнении, возложенных на них функций. Процесс управления предпринимательскими рисками, включающий их идентификацию и оценку, определение направлений нейтрализации негативных последствий реализации, выбор внутренних

механизмов нейтрализации и форм внешнего страхования отдельных видов риска, а также оценку эффективности избранных мер, подробно описан в учебной литературе и научных публикациях по вопросам риск-менеджмента.

Механизм управления – комплекс определенных средств, включающий принципы, методы и инструменты, с учетом и при помощи которых реализуется процесс управления и осуществляется управленческое воздействие. Отдельные компоненты механизма управления предпринимательскими рисками, как и соответствующего процесса изложены в ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» [1] и в концепции COSO ERM (Enterprise Risk Management) 2017: Integrating with Strategy and Performance [7].

Рисунок 3 – Структурированная совокупность системных элементов, сгруппированных по признаку участия в процессе управления предприятием

В рамках интегрированной системы управления предпринимательскими рисками осуществляется целесообразное объединение и использование всех ресурсов предприятия (материальных, интеллектуальных, кадровых,

информационных, организационных, финансовых), сосредоточенных в соответствующих структурных подразделениях и задействованных в процессе создания и защиты корпоративных ценностей (стоимости, капитала), способствующих снижению уровня неопределенности предпринимательской среды и совокупного риска.

Интегрированная система управления предпринимательскими рисками формируется на основе традиционных системных и ресурсных характеристик с учетом специфических компонентов, определяемых положениями концепции COSO ERM 2017 (рис. 4).

Специфические компоненты интегрированной системы управления предпринимательскими рисками

- **риск-культура**, отражающая разделяемое в коллективе сознательное отношение к риску и опирающаяся на корпоративную политику в области риска, обеспечивающая принятие тщательно продуманных, взвешенных мер относительно повышения эффективности бизнеса в условиях риска
- **общий стратегический подход**, предполагающий определение и учет риск-аппетита при выработке стратегических решений, оценку стратегических альтернатив и выработку эффективной стратегии развития бизнеса
- **методология управления рисками предприятия**, отражающая единые принципы и основные подходы к управлению рисками, раскрывающая методики анализа риска, содержащая оценочные показатели, включаемые в систему мониторинга и контроллинга предпринимательских рисков предприятия и их документирования
- **коммуникации**, обеспечивающие возможность обмениваться информацией о рисках предприятия, связанных со всеми видами его деятельности, и методах их контроля между структурными подразделениями предприятия и другими заинтересованными сторонами, что обеспечивает осознанность принятия рисков
- **распределение ответственности** между субъектами управления и привлечение в процесс управления рисками высшего руководства предприятия, участников хозяйственных обществ, инвесторов для более четкого понимания предпринимательских рисков и ответственного отношения к ним
- **новаторство** и не боязнь изменений

Рисунок 4 – Компоненты интегрированной системы управления предпринимательскими рисками, определяемые концепцией COSO ERM 2017

В основе организации интегрированной системы управления рисками предприятия лежат соответствующие целевые установки и принципы, определяющие требования и ориентиры, учитываемые при ее создании и функционировании.

К целям интегрированной системы управления рисками предприятия следует отнести:

– обеспечение его устойчивого развития в соответствии с утвержденным стратегическим курсом;

– реализацию целей предприятия и защиту интересов собственников, включая увеличение рыночной стоимости бизнеса;

– усиление конкурентных преимуществ за счет единого понимания рисков на уровне структурных подразделений и стратегического планирования с учетом уровня принимаемого риска;

– рост доверия партнеров по бизнесу и инвесторов посредством создания прозрачной системы управления предпринимательскими рисками.

К принципам, лежащим в основе формирования интегрированной системы управления предпринимательскими рисками, относят осведомленность о риске; разделение полномочий; контроль за уровнем риска; коллективная ответственность за действия по принятию рисков; сочетание централизованного и децентрализованного подходов к управлению рисками предприятия; необходимость обеспечения независимости функции управления рисками; наличие коммуникационных каналов; использование информационных технологий; постоянное совершенствование системы управления рисками – постоянное совершенствование всех элементов управления рисками; управление деятельностью предприятия с учетом принимаемого риска; ограничение принимаемых рисков посредством установления значений лимитов в рамках сформированной системы лимитов [9].

Интегрированное управление рисками предприятия осуществляется на комплексной основе, что предполагает учет взаимосвязи и

взаимообусловленности различных видов предпринимательских рисков.

Действенность интегрированной системы управления рисками предприятия должна быть подкреплена соответствующими официальными внутренними нормативными актами предприятия многократного применения, регламентирующими его деятельность, регулирующими порядок его работы, ответственность персонала и руководителей, их права и обязанности (рис. 5).

Документы первого уровня: **Правила** – определяют логику действий и поведения работников на предприятии (например, «Правила внутреннего трудового распорядка»)

Документы второго уровня: **Положения** – определяют место объекта в организационной структуре предприятия в соответствии с Правилами (например, «Положение о структурном подразделении»)

Документы третьего уровня:
Должностные инструкции – определяют место должности в организационной и функциональной структуре в соответствии с Положением о подразделении (например, должностная инструкция риск-аналитика или специалиста по управлению рисками (риск-менеджера))
Регламенты – описывают какой-либо один процесс, распределяют роли, устанавливают последовательность действий, их содержание и сроки в соответствии с Положениями и Правилами (например, «Регламент подбора персонала»)
Порядки – определяют последовательность выполнения действий внутри одного процесса (например, «Порядок применения дисциплинарных взысканий»
Методики – определяют технологию выполнения действий, функций в соответствии с установленными Правилами, либо без противоречия им, внутри одного рабочего процесса или функции (например, «Методика интегральной оценки предпринимательского риска предприятия»)

Документы четвертого уровня: **Рабочие инструкции** – представляют собой руководство какими-либо действиями (например, «Рабочая инструкция оператора производственной линии», «Рабочая инструкция уборщика служебных помещений»)

Рисунок 5 – Иерархия регламентирующих документов, обеспечивающих действенность системы управления предпринимательским рисками

Выводы. Значимость системно-интегрированного подхода к управлению предпринимательскими рисками определяется формированием общего базиса устойчивого развития предпринимательских структур на принципах комплексности, согласованности, систематичности, обеспечивающего

синергетический эффект управленческой деятельности. Этот подход позволяет не только получить общее представление о совокупном предпринимательском риске предприятия и эффективности управления им, но и обеспечивает действенными средствами реализации стратегического курса предприятия в условиях динамичности и неопределенности хозяйственной среды в рамках интегрированной системы управления предпринимательскими рисками.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200170125 (дата обращения: 21.01.2022).
2. *Злобина Н.В., Пешкова Г.Ю.* Современные тенденции управления рисками: взаимосвязь между риском, стратегией и стоимостью компании // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2018. № 8 (34). С. 123-133.
3. *Гуцалюк О.М., Гаврилова Н.В., Котлубай В.О.* Сучасні особливості управління ризиками в контексті стратегічного розвитку підприємства // Вестник экономической науки Украины. 2021. № 1 (40). С. 74-79.
4. *Морозов С.А.* Предприятие и его стратегия управления рисками. Стратегия управления рисками предприятия. Построение и совершенствование системы управления рисками // Российское предпринимательство. 2010. № 8-1. С. 69-76.
5. *Dolghii Cr.* Theoretical and practical aspects in the formation of an effective risk management system in entrepreneurial activity // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D: Экономические и юридические науки. 2020. № 5. С. 37-42.
6. Лапшина К.М. Оптимизация организационной структуры предприятия как способ управления рисками в процессе перехода к устойчивому развитию // Экономика и предпринимательство. 2019. № 10 (111). С. 861-864.
7. Управление рисками. Правила игры меняются. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/risk/russian/rules-of-game-changing.pdf (дата обращения: 21.01.2022).
8. Ведущие практики по управлению рисками для профессиональных участников рынка ценных бумаг URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/risk/russian/business-breakfast-30-05-2018.pdf (дата обращения: 21.01.2022).
9. Политика интегрированного управления рисками ОАО «Сбербанк России». URL: https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/files/pdf/normative_docs/risk_management.pdf (дата обращения: 25.01.2022).
10. Информационное письмо Банка России от 01.10.2020 № ИН-06-28/143 «О рекомендациях по организации управления рисками, внутреннего контроля, внутреннего аудита, работы комитета совета директоров (наблюдательного совета) по аудиту в публичных акционерных обществах». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_364286/d39587e61f5a4ca27744e5238a18617e58bc1637/ (дата обращения: 25.01.2022).
11. Integrated Risk Management (IRM). URL: https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/integrated-risk-management-irm (дата обращения: 27.01.2022).
12. Яркина Н.Н., Яркин А.Е. Методологические аспекты управления предпринимательским риском в системе экономической безопасности предприятия // Вестник КГМТУ. 2020. № 3. С. 152-167. DOI: 10.47404/2619-0605_2020_3_152. URL: https://www.ejkgmtu.ru/?p=22837 (дата обращения: 27.01.2022).

References:

1. *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 21.01.2022).
2. Zlobina N.V., Peshkova G.Yu. Sovremennyye tendentsii upravleniya riskami: vzaimosvyaz' mezhdu riskom, strategiyey i stoimost'yu kompanii [Current trends in risk management: the relationship between risk, strategy and company value]. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya* [Innovative economy: prospects for development and improvement], 2018, no. 8 (34), pp. 123-133. (In Russian).
3. Hutsalyuk O.M., Havrylova N.V., Kotlubay V.O. *Suchasni osoblyvosti upravlinnya ryzykamy v konteksti stratehichnoho rozvytku pidpryyemstva* [Modern features of risk management in the context of strategic development of the enterprise]. *Vestnik ekonomicheskoy nauki Ukrainy*, [Bulletin of Economic Science of Ukraine], 2021, no. 1 (40), pp. 74-79. (In Ukrainian).
4. Morozov S.A. *Predpriyatiye i yego strategiya upravleniya riskami. Strategiya upravleniya riskami predpriyatiya. Postroyeniye i sovershenstvovaniye sistemy upravleniya riskami* [The company and its risk management strategy. Enterprise risk management strategy. Building and improving a risk management system]. *Rossiyskoye predprinimatel'stvo* [Russian entrepreneurship], 2010, no. 8-1, pp. 69-76. (In Russian).
5. Dolghii Cr. Theoretical and practical aspects in the formation of an effective risk management system in entrepreneurial activity. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D: Ekonomicheskiye i yuridicheskiye nauki* [Bulletin of Polotsk State University. Series D: Economic and Legal Sciences], 2020, no. 5, pp. 37-42. (In English).
6. Lapshina K.M. Optimizatsiya organizatsionnoy struktury predpriyatiya kak sposob upravleniya riskami v protsesse perekhoda k ustoychivomu razvitiyu [Optimization of the organizational structure of the enterprise as a way of risk management in the process of transition to sustainable development]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship], 2019, no. 10 (111), pp. 861-864. (In Russian).
7. *Upravleniye riskami. Pravila igry menyayutsya* [Risk management. The rules of the game are changing]. (In Russian). Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/risk/russian/rules-of-game-changing.pdf (accessed 21.01.2022).
8. *Vedushchiye praktiki po upravleniyu riskami dlya professional'nykh uchastnikov rynka tsennykh bumag* [Leading risk management practices for professional securities market participants]. (In Russian). Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/risk/russian/business-breakfast-30-05-2018.pdf (accessed 21.01.2022).
9. *Politika integrirovannogo upravleniya riskami OAO «Sberbank Rossii»* [Integrated Risk Management Policy of Sberbank of Russia]. (In Russian). Available at: https://www.sberbank.com/common/img/uploaded/files/pdf/normative_docs/risk_management.pdf (accessed 25.01.2022).
10. *Informatsionnoye pis'mo Banka Rossii ot 01.10.2020 N IN-06-28/143 «O rekomendatsiyakh po organizatsii upravleniya riskami, vnutrennego kontrolya, vnutrennego audita, raboty komiteta soveta direktorov (nablyudatel'nogo soveta) po auditu v publichnykh aktsionernykh obshchestvakh»* [Information letter of the Bank of Russia dated 01.10.2020 No. IN-06-28/143 “On recommendations on the organization of risk management, internal control, internal audit, the work of the Audit Committee of the Board of Directors (Supervisory Board) in public Joint Stock companies”]. (In Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_364286/d39587e61f5a4ca27744e5238a18617e58bc1637/ (accessed 25.01.2022).
11. Integrated Risk Management (IRM). (In English). Available at: https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/integrated-risk-management-irm (accessed 27.01.2022).
12. Yarkina N.N., Yarkin A.E. *Metodologicheskiye aspekty upravleniya predprinimatel'skim riskom*

v sisteme ekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatiya [Methodological aspects of business risk management in the system of economic security of the enterprise]. *Vestnik KGMTU* [KSMTU Bulletin], 2020, no. 3, pp. 152-167. (In Russian). DOI: 10.47404/2619-0605_2020_3_152 Available at: https://www.ejkgmtu.ru/?p=22837 (accessed 27.01.2022).

Сведения об авторах / Information about authors

Яркина Наталья Николаевна	д-р экон. наук, профессор кафедры экономики и гуманитарных дисциплин 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 and Humanities Kerch State Maritime Technological University 298309, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82 nata-yarkina@yandex.ru