



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет
The Far Eastern State Technical Fisheries University

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Scientific Journal of DALRYBVTUZ Vol. 37

Том

37

Адрес: Россия, 690087, Владивосток, ул. Луговая, 526

Телефон/факс: (4232)44-11-76

e-mail: nauch-tr@dgtru.ru

сайт: <http://nauch-tr.dgtru.ru>

2016

Редакционная коллегия:

Главный редактор – Г.Н. Ким, доктор технических наук, профессор, ректор

Научный редактор – В.Д. Богданов, доктор технических наук, профессор

Т.Е. Буторина, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
В.В. Плотников, доктор географических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
Н.Г. Ключкова, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «КамчатГТУ»;
Нгуен Ву Тхань, профессор, доктор наук, Департамент нематодологии Института экологии и биологических ресурсов Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ);
Е.В. Осипов, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
С.В. Лисиенко, кандидат экономических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
О.Н. Кручинин, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «Тинро-Центр»;
Чан Яцин, профессор, доктор наук, директор колледжа рыболовства и биологических наук Даляньского океанологического университета;
А.Н. Соболенко, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
Б.И. Руднев, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
Г.П. Кича, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»;
Э.Н. Ким, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
Т.Н. Слуцкая, доктор технических наук, профессор, зав. отделом безопасности гидробионтов ФГУП «Тинро-Центр»;
В.А. Гроховский, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Мурманский ГТУ»;
И.Н. Ким, кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
В.И. Погонец, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Дальрыбвуз»;
С.А. Бредихин, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «МГУПБ»;
Ю.А. Фатыхов, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Калининградский ГТУ»

Технический секретарь – Е.В. Денисова, заместитель начальника научного управления

Ответственный секретарь – Т.В. Ломакина, начальник редакционно-издательского отдела

ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ

УДК 551.467.3 (265.54)

Л.М. Азмухаметова, С.А. Кошкин

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛИКАТОВ В ВОДАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

На основании анализа всей доступной информации о распределении силикатов в водах зал. Петра Великого за период, начиная с 1925 г. и по настоящее время, проведена оценка пространственно-временных особенностей распределения кремния. Характерной чертой внутригодовых изменений биогенных веществ в толще вод зал. Петра Великого является чередование максимальных и минимальных значений во всех районах. Только в мористой глубоководной части залива в поверхностном слое вод четко выражена годовая гармоника в ходе сезонных изменений силикатов. Их максимальное содержание наблюдается в осенне-зимний период, минимальное – летом.

Ключевые слова: силикаты, кремний, биогенные элементы, зал. Петра Великого, Японское море.

L.M. Azmukhametova, S.A. Koshkin

SPACE-TIME PECULIARITIES OF SILICATES DISTRIBUTION IN THE PETER THE GREAT BAY WATERS

Based on the analysis of all available information according to distribution of silicates in the waters of Peter the Great Bay for the period from 1925 to present spatio-temporal features of silicon allocation were evaluated. The characteristic of annual changes of nutrients into the water column of the Bay are alternate maximum and minimum values in all areas. Only in seaward (deep-sea zone) of Peter the Great Bay in a surface layer annual harmony during seasonal changes of silicates is clearly expressed. Their maximum content is observed in autumn-winter period, and minimum – in summer.

Key words: silicates, silicon, nutrients, Peter the Great Bay, Sea of Japan.

Введение

Зал. Петра Великого (ЗПВ), расположенный в северо-западной части Японского моря, является самой богатой по видовому и таксономическому разнообразию морской акваторией Российской Федерации. Здесь находится единственный в России морской заповедник, который занимает примерно 10 % площади залива. Залив входит в число 21 акватории Западной Пацифики, которые рекомендованы для долгосрочного ежегодного мониторинга биоразнообразия в рамках международной региональной программы DIWPA (Diversitas in Western Pacific and Asia). Реализация планов развития Дальнего Востока во много раз увеличит антропогенную нагрузку на экологию ЗПВ. Для успешного сохранения и рационального использования уникальных биологических и водных ресурсов залива в условиях интенсивного развития хозяйственной деятельности необходимо располагать всесторонними и надёжными сведениями о важнейших факторах, определяющих состояние и функционирование морских прибрежных экосистем. Речь идёт о биогенных элементах и в том числе о пространственно-временных особенностях распределения силикатов в водах зал. Петра Великого.

Биологическая роль кремния в морской воде определяется тем, что он (наряду с кальцием и магнием) входит в состав скелетных образований широко распространенных морских организмов: створок диатомовых, игл радиоляриевых, спикул кремниевых губок. Главным источником поступления кремния в океан служит материковый сток, поэтому нахождение кремния (в форме истинно растворенной кремниевой кислоты) в больших количествах может служить показателем распространения речных вод в пределах залива.

Основной путь удаления растворенного кремния из морской воды – это биогенные процессы, происходящие в фотическом слое. Высокое содержание кремния способствует интенсивному развитию диатомей, что уменьшает его содержание в фотическом слое. Однако только в исключительных случаях в районах с высокой биологической продуктивностью и при наиболее благоприятных условиях содержание кремния в морской воде может снижаться до аналитического нуля.

Несмотря на повышенное внимание к общим проблемам экологического состояния зал. Петра Великого, оценки распределения силикатов в водах имеют весьма приблизительный характер [1–3].

К настоящему времени существует весьма ограниченный ряд работ, в которых представлены сведения об изменчивости комплекса биогенных элементов в водах зал. Петра Великого [1–3].

Результаты, представленные различными авторами, как правило, ограничены в пространстве (рассматривается только часть акватории) или по времени, или же выполнены по данным ГМС. Более того, эта информация не всегда адекватно отражает весь спектр изменчивости температуры (и солености) воды, который реально наблюдается в мористых районах зал. Петра Великого.

Анализ пространственно-временного распределения силикатов в водах залива достаточно актуален и имеет большое практическое значение.

Целью настоящей работы явилось исследование пространственно-временных особенностей распределения силикатов (кремния) в водах зал. Петра Великого.

Представленные сведения о распределении кремния послужат основой для планирования экспедиционных исследований и мониторинга океанографического состояния и биопродуктивности вод зал. Петра Великого. Относительно средних многолетних данных можно будет оценивать степень пространственно-временной аномальности параметров режима конкретных лет. Результаты работы и полученные в ней выводы могут быть востребованы при изучении продукционных процессов, прогнозировании запасов и динамики промысловых объектов, а также для разработки рекомендаций по их рациональному использованию.

Основные черты гидрохимического режима зал. Петра Великого определяются свободным водообменом с прилегающей частью Японского моря, активным водообменом внутри залива, хорошей аэрацией, обилием растительности и животного мира, интенсивностью прохождения фотосинтеза и окислительных процессов в теплое время года, речным стоком, влиянию которого подвержены почти все бухты и заливы, особенно вершины вторичных заливов – Уссурийского и в большей степени Амурского.

Речной сток в зал. Петра Великого создает не только своеобразное распределение солености и плотности, но и приносит большие количества солей азота, кальция, кремния, фосфора, содержание которых в водах залива значительно выше, чем в открытом море. Локальные изменения солености и плотности, большое термическое расслоение, малые глубины обуславливают сложную динамику вод в зал. Петра Великого. Ряд этих факторов приводит к усилению процессов перемешивания. Все это отражается на распределении биогенных элементов, в частности силикатов.

Распределение силикатов в водах зал. Петра Великого неоднородно. Материковый сток (источник солей фосфора и кремния) оказывает влияние на изменение запаса питательных солей в морской воде.

На поверхности кремния много (воздействие речного стока), с глубиной их меньше. Начиная с 50 м, наблюдается увеличение содержания кремния, что связано с накоплением на глубине кремнекислоты. Максимум кремния наблюдается осенью.

По данным П.П. Воронкова (1933–1934 гг.), содержание силикатов на поверхности составляет 168–728 мкг/л, на придонном горизонте – до 1590 мкг/л.

В связи с тесной зависимостью содержания кремнекислоты от материкового стока максимум ее отмечается в летний период во время наибольшего речного стока (июль-август, более 1000 мкг/л), минимум – зимой, когда речной сток наименьший (менее 200 мкг/л). В придонном слое сложный характер распределения кремния связан с общими динамическими и циркуляционными факторами. Общий фон содержания кремния в придонном слое больше, чем на поверхности.

В таблице представлены данные по содержанию кремния в водах зал. Петра Великого в период с 1975 по 1983 гг. [2].

Среднемесячные концентрации кремния в водах зал. Петра Великого с апреля по декабрь 1975–1983 гг.

Average concentration of silicon in the waters of Peter the Great Bay from April to December 1975–1983 years

Акватория	Кремний, мкг/л	
	Поверхностный слой	Придонный слой
Прибрежная зона	290–1900	380–1300
Открытая часть залива	580–950	300–1350

Объекты и методы исследований

Для анализа закономерностей распределения кремния в водах зал. Петра Великого использованы данные наблюдений, собранные из всех доступных источников (учреждений Гидрометслужбы, ТИНРО, ТУРНИФ, Гидрографической службы, Академии наук) за период с 1925 по 2006 гг. и дополненные последними исследованиями в 2006–2014 гг. (рис. 1).

Особенности пространственно-временного распределения океанографических параметров рассмотрены на основе обработки исторической информации в пределах трапеций (квадратов) 10' по широте и долготе. В каждом из квадратов на стандартных горизонтах были рассчитаны среднее многолетнее месячное значение, максимум, минимум и среднее квадратическое отклонение исследуемого параметра (кремний). Указанные статистики относились к центрам соответствующих квадратов.

Основные результаты и их анализ

Вертикальное распределение кремния в водах зал. Петра Великого

На вертикальное распределение кремния в толще вод залива оказывают последствия жизнедеятельности кремниевых организмов (поглощение в процессе развития и регенерация кремния из продуктов их распада), вертикальная осенне-зимняя конвекция, горизонтальный и вертикальный перенос вод, различная интенсивность приливных и неперриодических течений, вихреобразование, а также связанное с ними турбулентное перемешивание вод.

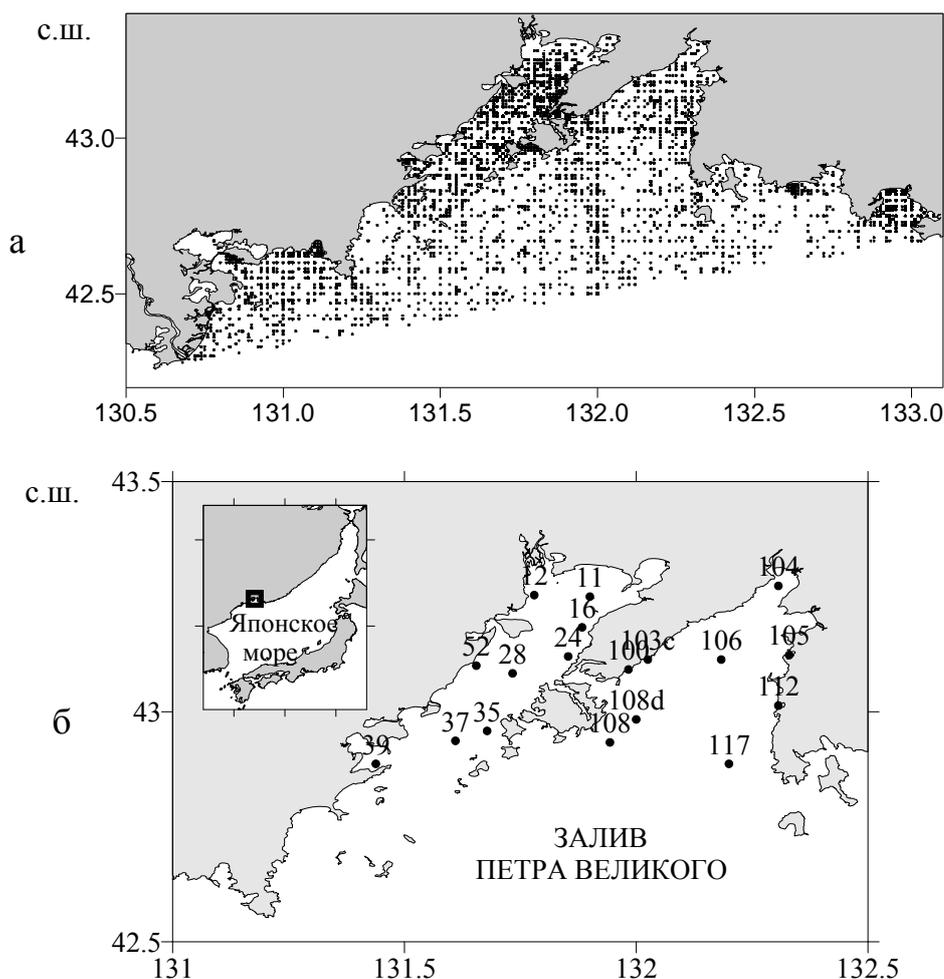


Рис. 1. Схема расположения океанографических станций в зал. Петра Великого:
 а – общее количество станций; б – станции ОГСН в Амурском и Уссурийском заливах
 Fig. 1. Location scheme oceanographic stations in the Peter the Great Bay:
 а – the total number of stations used; б – OGOS station in the Amur and Ussuri bays

Для периода с декабря по февраль-март в толще вод зал. Петра Великого, как правило, наблюдается гомогенное распределение кремния. Это связано с мелководностью района исследования и благоприятными условиями для хорошего развития конвекции. Поэтому в этот период года в заливе не выделяются какие-либо особенности в вертикальном распределении силикатов (рис. 2).

В теплый период года главная крупномасштабная особенность вертикального распределения кремния в водах зал. Петра Великого заключается в том, что на подповерхностных горизонтах (10–20 м) выделяется слой с пониженным содержанием силикатов. Весной и летом в верхнем слое вод (за счет вегетации фитопланктона) формируются минимальные содержания кремнекислоты. Более того, по мере прогрева верхнего слоя вод и потребления биогенных веществ на поверхности моря интенсивность вегетации фитопланктона смещается на подповерхностные горизонты. Как следствие, происходит формирование подповерхностного минимума силикатов. Только в поверхностных водах залива этот дефицит силикатов пополняется за счет стока рек. Как правило, подповерхностный минимум силикатов в зал. Петра Великого проявляется на горизонтах 10–20 м. По мере дальнейшего роста глубин на средних многолетних профилях вертикального распределения выделяется однотипное распределение, для которого характерен рост содержания силикатов с глубиной.

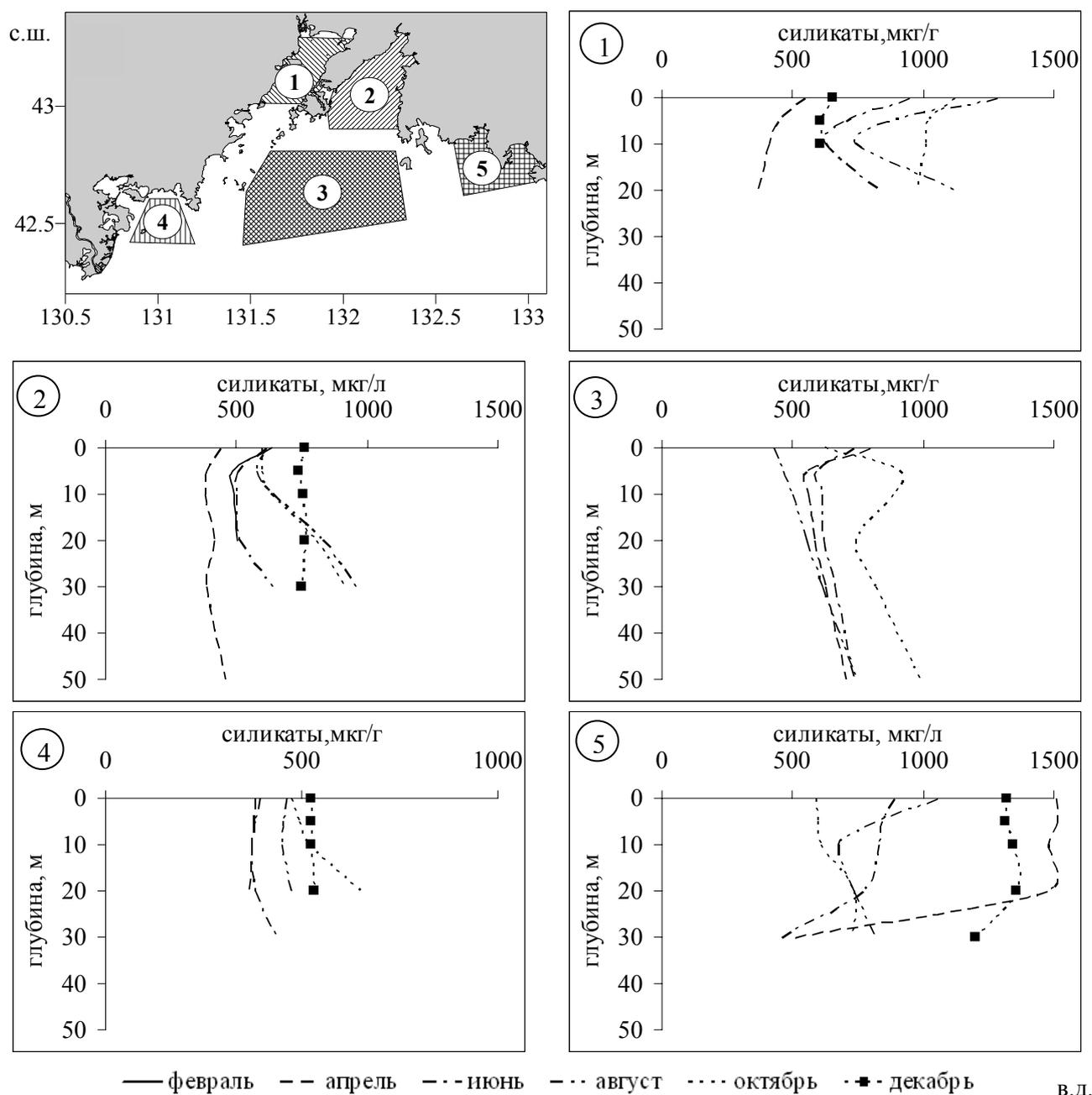


Рис. 2. Вертикальное распределение силикатов (мкг/л)

в отдельных районах зал. Петра Великого: номера и границы районов

Fig. 2. Vertical distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) in some areas of the Peter the Great Bay: number and border areas

Осенью и в начале зимы, когда существенно понижается температура воздуха и увеличивается скорость ветра, на акватории залива происходит перестройка вертикального распределения, в результате которой постепенно (от поверхности до придонных горизонтов) происходит разрушение отмеченной выше для теплого периода года структуры вертикального распределения силикатов.

Следует также отметить, что все изложенное основывается на средних многолетних величинах. В конкретные годы отдельные элементы представленной выше структуры вертикального распределения кремния могут быть выражены более ярко. Более того, их вертикальное распространение и значения градиентов также могут быть существенно выше либо ниже.

Сезонная изменчивость содержания кремния в водах зал. Петра Великого

Внутригодовые изменения содержания кремния в водах зал. Петра Великого зависят от сложного взаимодействия гидрологических, гидрохимических, динамических и биохимических процессов. В прибрежной части моря главное влияние на его содержание оказывает изменчивость материкового стока. По мере удаления от берегов на особенности внутригодового распределения кремния начинают больше влиять изменения крупномасштабной циркуляции вод, вихри и меандры локальных течений, а также процессы осенне-зимней конвекции. Жизнедеятельность диатомового фитопланктона, являющегося основным потребителем кремния, также имеет свои внутригодовые особенности, обусловленные активной вегетацией в теплый период года и существенным ее снижением зимой.

Имеющиеся средние многолетние данные (рис. 3) позволяют выделить следующие закономерности внутригодовой изменчивости кремнекислоты в водах зал. Петра Великого.

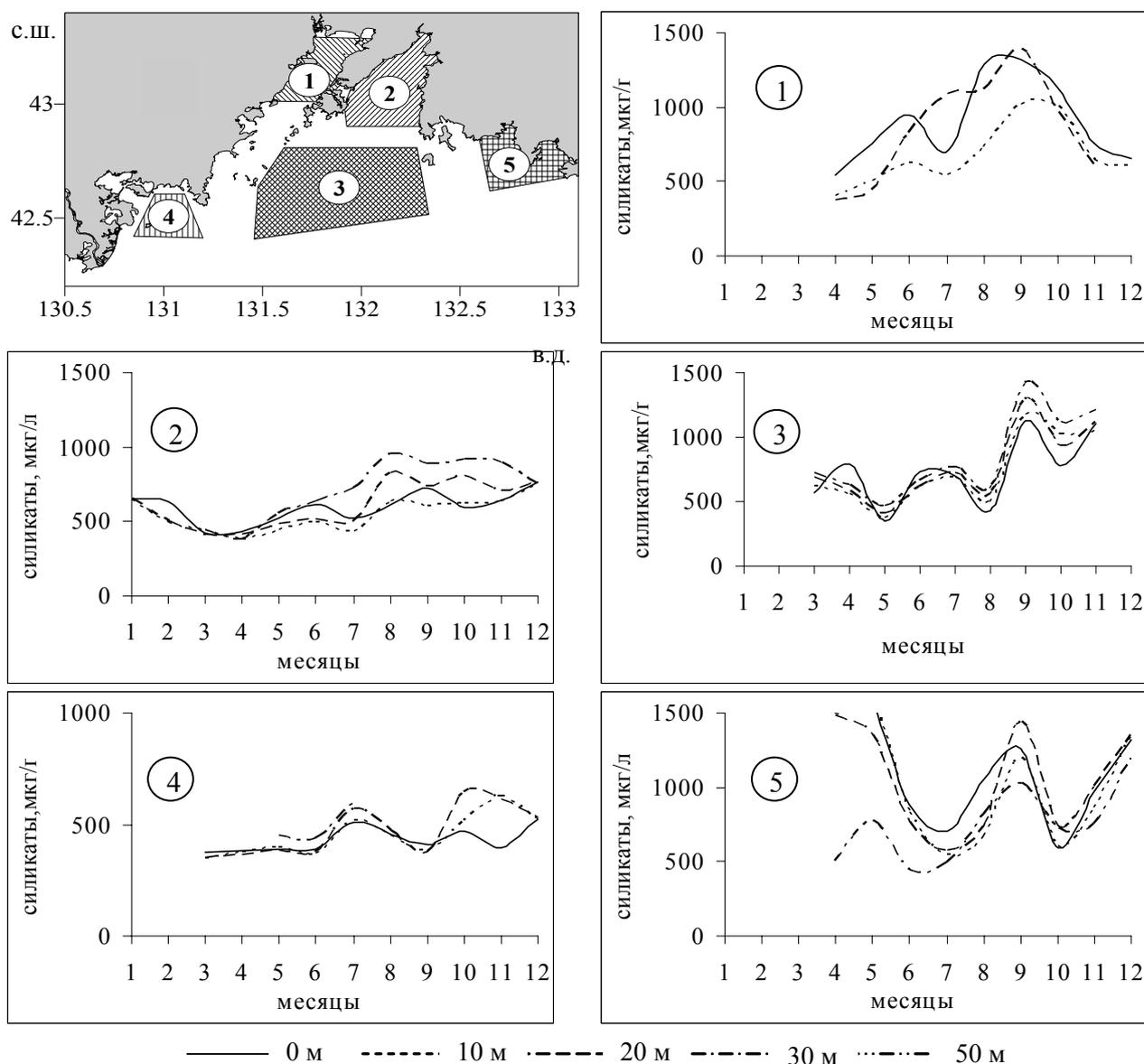


Рис. 3. Сезонные изменения силикатов (мкг/л)

в отдельных районах залива Петра Великого: номера и границы районов

Fig. 3. Seasonal changes silicates ($\mu\text{g/l}$) in some areas of the Peter the Great Bay: number and border areas

Минимальный размах внутригодовой изменчивости силикатов наблюдается в толще вод заливов Уссурийский и Посыета, где он не превышает 300–600 мкг/л (см. рис. 3). На акваториях, режим которых существенно зависит от речного стока, сезонные колебания силикатов существенно увеличиваются и достигают, например, в заливах Амурский, Восток и Находка 700–1000 мкг/л (см. рис. 3).

В мористой глубоководной части зал. Петра Великого сезонные вариации силикатов достигают 1000 мкг/л (см. рис. 3). Так как колебания силикатов здесь совершаются синхронно на всех горизонтах рассматриваемой толщи вод, то можно предположить, что сезонная изменчивость в глубоководной части зал. Петра Великого имеет адвективную природу.

Только в водах Амурского зал. наблюдается четко выраженная годовая гармоника в ходе сезонных изменений силикатов. Их максимальное содержание, как следует из рис. 3, хорошо согласуется с изменчивостью речного стока, для которого максимальные значения наблюдаются в августе. Минимальное содержание силикатов выделяется в осенне-зимний период (когда сток рек минимален).

Отмеченные выше закономерности с правильной годовой гармоникой сезонных вариаций содержания силикатов, как следует из рис. 3, не наблюдаются в толще вод остальной и преобладающей части зал. Петра Великого.

Характерной чертой внутригодовых изменений силикатов является присутствие локальных экстремумов во всех районах обобщения данных. Возможно, что основной причиной этого является недостаточное в настоящее время для обобщения количество исходных данных в отдельные месяцы, а также влияние не отфильтрованной межгодовой изменчивости содержания силикатов.

Следует также отметить, что на подповерхностных и придонных горизонтах размах сезонных колебаний кремнекислоты существенно не уменьшается.

Пространственно-временное распределение кремния в водах зал. Петра Великого

В поверхностном слое зал. Петра Великого в течение года наблюдается однотипное пространственное распределение кремния, отличительной чертой которого является наличие максимальных значений в прибрежных районах северной периферии исследуемой акватории. В мористой глубоководной части залива, как правило, содержания кремния существенно ниже (рис. 4).

В основном эти различия связаны с тем, что влияние стока рек на гидрологический режим вод зал. Петра Великого ограничивается прибрежными мелководными участками акватории.

На горизонтах 20, 30 и 50 м (рис. 5, 6, 7) пространственное распределение силикатов определяется адвекцией вод из глубоководной части Японского моря, вертикальной протяженностью отдельных элементов структуры вод, зависящей от сезона года, а также интенсивностью развития фитопланктона.

Влияние стока материковых вод на этих горизонтах практически не сказывается, так как в теплый период года между верхним (хорошо перемешанным и прогретым) слоем и придонными водами существует слой сезонного пикноклина, препятствующий вертикальному обмену характеристик.

В то же время зимой, когда конвекция охватывает всю толщу вод залива, материковый сток минимален. Все перечисленные составляющие баланса кремния в зал. Петра Великого подвержены воздействию динамических процессов, происходящих в толще вод, а также существенно изменяющихся атмосферных процессах и явлений над рассматриваемой акваторией.

Минимальные содержания кремния в слое 20–50 м (не превышающие 360–440 мкг/л) наблюдаются в конце зимы (рис. 5, 6, 7).

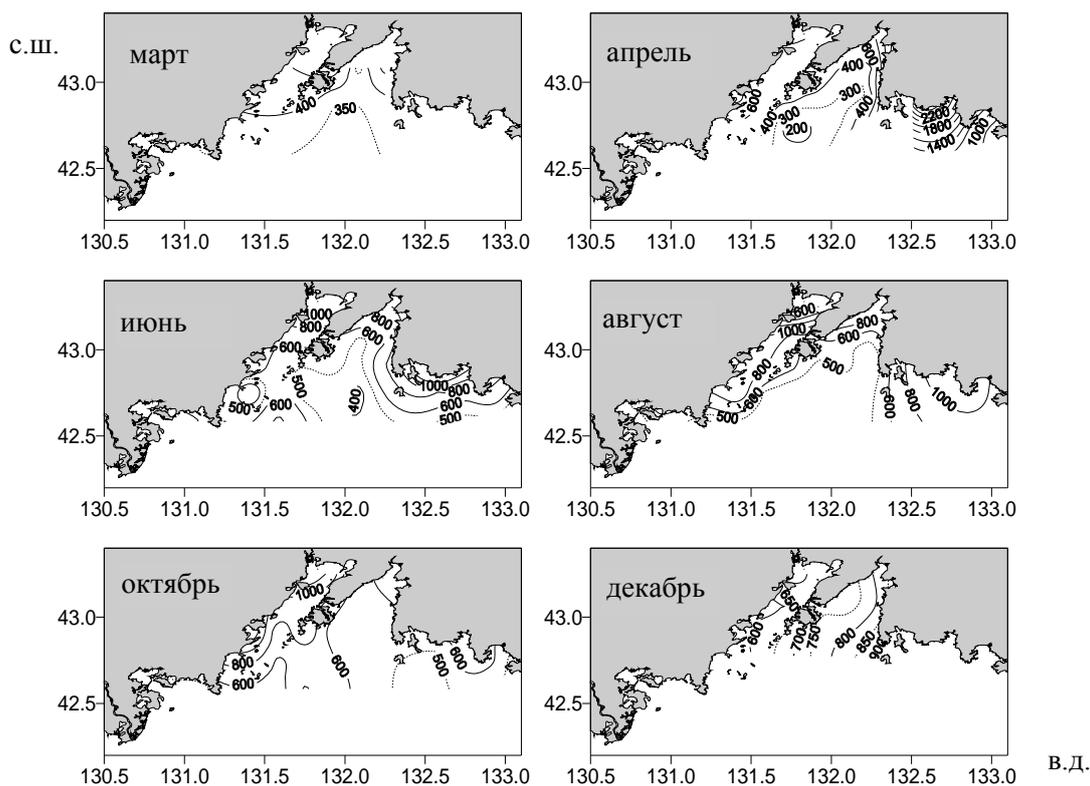


Рис. 4. Сезонное распределение силикатов (мкг/л) на поверхности вод зал. Петра Великого
 Fig. 4. Seasonal distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) on the face of the waters Peter the Great Bay

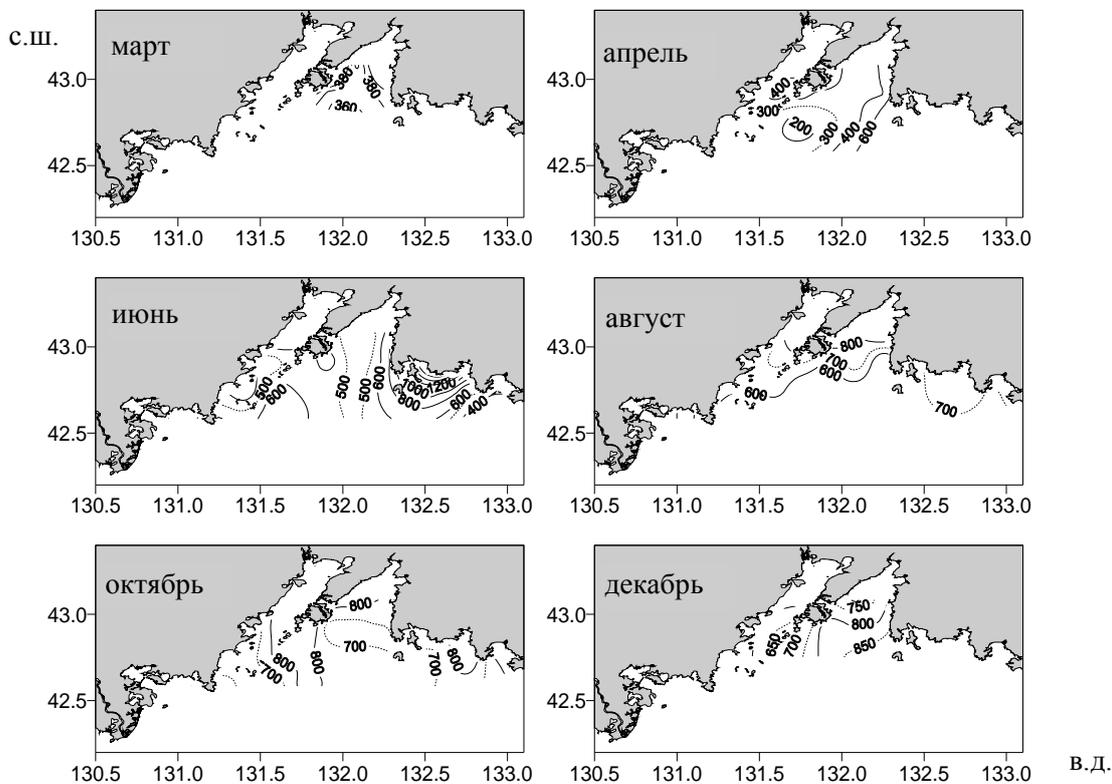


Рис. 5. Сезонное распределение силикатов (мкг/л) на горизонте 20 м в зал. Петра Великого
 Fig. 5. Seasonal distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) on the horizon of 20 m in the Peter the Great Bay

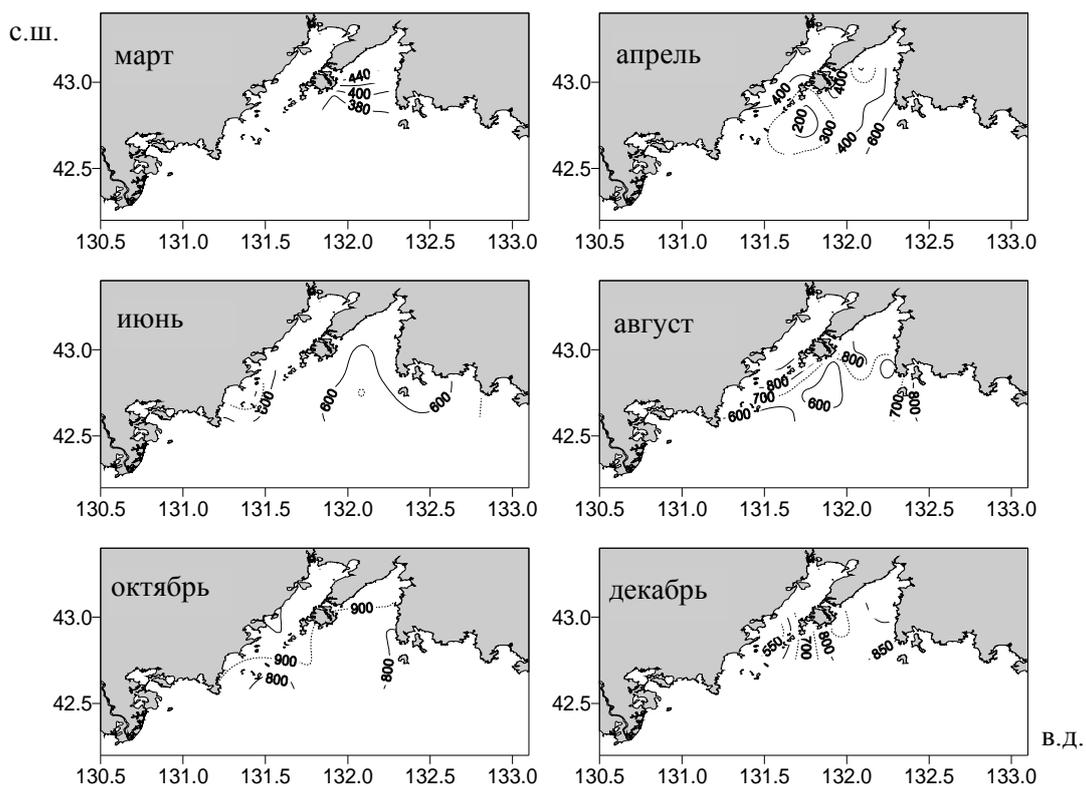


Рис. 6. Сезонное распределение силикатов (мкг/л) на горизонте 30 м в зал. Петра Великого
 Fig. 6. Seasonal distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) on the horizon of 30 m in the Peter the Great Bay

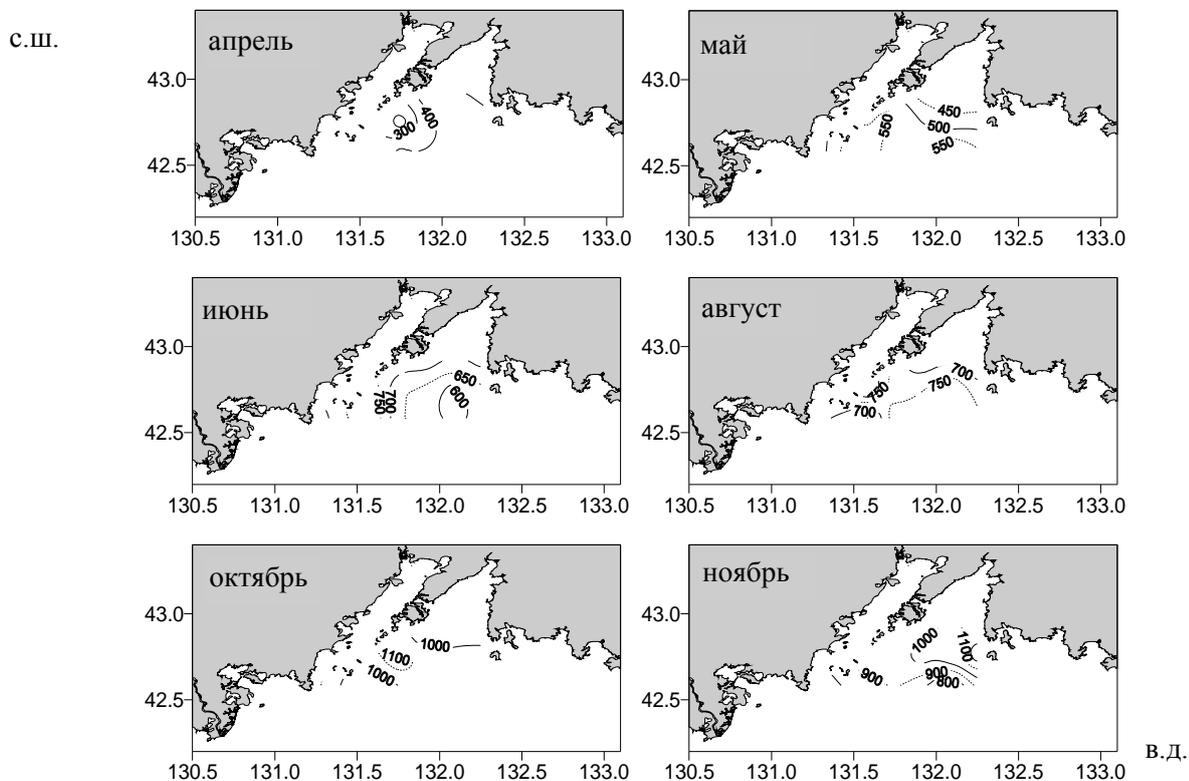


Рис. 7. Сезонное распределение силикатов (мкг/л) на горизонте 50 м в зал. Петра Великого
 Fig. 7. Seasonal distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) on the horizon of 50 m in the Peter the Great Bay

Затем содержание кремния в слое 20–50 м начинает увеличиваться и достигает своего максимума (700–800, 800–900 и 1000–1100 мкг/л соответственно на горизонтах 20, 30 и 50 м) в октябре. Наиболее вероятно, что этот рост содержания кремния в слое 20–50 м в первую очередь связан с регенерацией кремния при разложении остатков биологических объектов, перемещающихся из поверхностного слоя вод. Сказывается здесь (хоть и в меньшей мере) также и передача кремния на нижележащие горизонты из поверхностного слоя вод, в котором содержание силикатов существенно зависит от стока рек. Однако уже в декабре (за счет конвективного обмена в толще вод зал. Петра Великого) содержание кремния на горизонтах 20, 30 и 50 м вновь начинает уменьшаться (см. рис. 5, 6, 7).

Выводы

Резюмируя изложенное, можно отметить:

- сформирована наиболее полная в настоящее время база данных по распределению кремния в водах зал. Петра Великого;
- на ее основе представлены закономерности вертикальной структуры (для каждого месяца) и особенности пространственно-временного распределения кремния по исследуемой акватории;
- на поверхности залива в течение года максимальные содержания кремния наблюдаются в прибрежных районах, что обусловлено материковым стоком. На подповерхностных горизонтах пространственное распределение кремния определяется адвекцией вод с высокими его содержаниями из глубоководной части Японского моря.

Представленные сведения о характере распределения кремния послужат основой для планирования исследований и гидрохимического мониторинга состояния вод зал. Петра Великого. Относительно средних многолетних данных можно будет оценивать степень пространственно-временной аномальности содержания кремния для конкретных лет и периодов. Результаты работы и полученные в ней выводы могут быть востребованы при изучении продукционных процессов, прогнозировании запасов и динамики промысловых объектов, а также для разработки рекомендаций по их рациональному использованию.

Список литературы

1. Лучин, В.А. Океанографический режим вод залива Петра Великого (Японское море) / В.А. Лучин, Е.А. Тихомирова, А.А. Круц // Изв. ТИНРО. – 2005. – Т. 140. – С. 130–169.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VIII. Японское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – СПб., 2004. – 268 с.
3. Тихомирова, Е.А. Межгодовые изменения первичной продукции залива Петра Великого (Японское море) / Е.А. Тихомирова // Вестн. ДВО РАН. – 2012. – № 6. – С. 72–81.

Сведения об авторах: Азмухаметова Лариса Михайловна, старший преподаватель, e-mail: lorik-az@mail.ru;

Кошкин Сергей Анатольевич, магистрант.

УДК 594.5

В.В. Булыгин, И.Г. РыбниковаДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ
ТИХООКЕАНСКОГО КАЛЬМАРА В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО
(ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД**

Тихоокеанский кальмар – ценный промысловый объект. Рассмотрен спектр питания тихоокеанского кальмара в нагульный период в зал. Петра Великого.

Ключевые слова: тихоокеанский кальмар, интенсивность питания, средний балл наполнения желудка, объекты питания.

V.V. Bulygin, I.G. Rybnikova**SOME ESPECIALLY OF FEEDING OF PACIFIC FLYING SQUID
IN PETER THE GREAT BAY (SEA OF JAPAN) IN THE SUMMER-AUTUMN PERIOD**

Pacific flying squid is a valuable commercial fishery object. Pacific squid food objects in the feeding period in Peter the Great Bay are considered in this paper.

Key words: Pacific flying squid, intensity of feeding, average point of stomach filling, food objects.

Введение

Todarodes pacificus – тихоокеанский кальмар – в водах России Японского моря встречается с мая по февраль, а промысловые скопления образует с июня по октябрь. Ареал обитания тихоокеанского кальмара в летне-осенний период охватывает акваторию зоны России от южных границ (банка Кита-Ямато и зал. Посъета) до самых северных районов Татарского пролива (51°20' с.ш.). С июля по сентябрь встречается практически повсеместно [1, 2, 3].

В трофической структуре эпипелагиали Японского моря тихоокеанский кальмар занимает нишу мелких и среднеразмерных хищников. Основная пища ранней молодежи тихоокеанского кальмара – хищный зоопланктон и незначительное количество растительноядных copepod. Основу рациона взрослых особей составляют кальмары (включая собственную молодежь) – до 48 %, пелагические рыбы – до 25 %, гиперииды и эвфаузииды – до 51 %. Таким образом, тихоокеанский кальмар благодаря своей высокой численности играет важную роль в трофической структуре Японского моря [4, 5, 6].

С целью исследования внутривидовых группировок мы провели анализ спектра питания тихоокеанского кальмара в летне-осенний период в зал. Петра Великого.

Объект и методы исследований

В статье использованы материалы стандартных комплексных съемок по тихоокеанскому кальмару в зал. Петра Великого, проведенных летом-осенью 2009–2011 гг. Комплексная съемка проводилась с июня по октябрь, дважды в месяц по стандартной схеме станций. Сбор материала осуществлялся в темное время суток. Биологический анализ кальмаров выполняли по стандартным методикам, применяемым для изучения кальмаров [7, 8]. Наполнение желудков определялось по пятибалльной шкале, исходя из количества съеденной пищи: 0 – пищи нет; 1 – следы пищи; 2 – среднее накопление; 3 – полный желудок; 4 – желудок растянут и пища просматривается через его стенки. Для определения состава пищи желудки взвешивали и фиксировали. Проанализировано 300 особей.

Результаты и их обсуждение

В период нагульных миграций кальмар интенсивно питается. Основу питания тихоокеанского кальмара в 2009 г. в этот период составляла рыба. В июле в Амурском зал. основу спектра питания составляли амфиподы. В это же время была отмечена максимальная интенсивность питания кальмара в Амурском зал., средний балл наполнения желудков составил 1,5 (таблица). В период с августа по октябрь интенсивность питания снижалась от 1,3 в августе до 1,4 балла в сентябре. В октябре средний балл упал до 1,1.

В 2010 г. наименьшая интенсивность питания у тихоокеанского кальмара наблюдалась в июле (таблица). Средний балл наполнения желудков в этот период составил 1,07 балла. В августе интенсивность питания значительно возросла и составила в среднем 1,82 балла. Максимальная интенсивность питания наблюдалась в сентябре, когда средний балл наполнения желудков составил почти 2 балла. В октябре интенсивность питания снизилась, хотя и оставалась на довольно высоком уровне. Средний балл наполнения желудков в нагульный период в зал. Петра Великого составлял 1,5 балла.

В 2011 г. в летне-осенний период наблюдений средняя интенсивность питания тихоокеанского кальмара составила 1,3 балла (таблица).

Средний балл наполнения желудков у тихоокеанского кальмара в зал. Петра Великого в июле-октябре 2009–2011 гг. Average point of stomach fillings by Pacific squid in Peter the Great Bay in July-October in 2009–2011

Месяц	Средний балл наполнения		
	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Июль	1,5	1,07	1,09
Август	1,3	1,82	1,5
Сентябрь	1,4	1,96	1,3
Октябрь	1,1	1,46	1,02

В июле 2009 г. в Амурском зал. в пищевом спектре тихоокеанского кальмара преобладали ракообразные (рис. 1), которые были встречены в желудках кальмаров в 63 % случаев, а в Уссурийском зал. они составили 28 %. В желудках на втором месте в Амурском зал. была рыба (около 32 %), которая в Уссурийском зал. составила 56 %, и 4 % составляла собственная молодь кальмара (каннибализм). В августе количество рыбы в питании кальмаров в Уссурийском зал. увеличилось до 90 %, а доля ракообразных упала до 2 %. В сентябре в Амурском зал. доля рыб в желудках кальмара увеличилась почти до 59 %, а в Уссурийском – до 48 %, ракообразные составили 14 %. В октябре в Уссурийском зал. доля рыб составила 70 %, а доля ракообразных значительно упала (0 %).

Основу питания тихоокеанского кальмара в 2010 г. в зал. Петра Великого в июле-октябре составляли рыбы (рис. 2). В июле встречаемость рыб в желудках кальмаров составляла около 47 %. На втором месте по частоте встречаемости находились кальмары (в том числе собственная молодь), которые составляли около 18,5 %. Встречаемость ракообразных была незначительной и составила менее 2,5 %.

В августе встречаемость рыб в желудках кальмаров значительно возросла и составила более 90 %. Доля кальмаров снизилась до 2 %, доля ракообразных составила 3 %.

В сентябре встречаемость рыб несколько снизилась и составила 75 %. Встречаемость кальмаров увеличилась до 3,5 %, а ракообразные встречались у 1 % особей.

Рис. 1. Состав пищи тихоокеанского кальмара в зал. Петра Великого в июле-октябре 2009 г.
Fig. 1. Food objects Pacific squid in Peter the Great Bay in July-October 2009

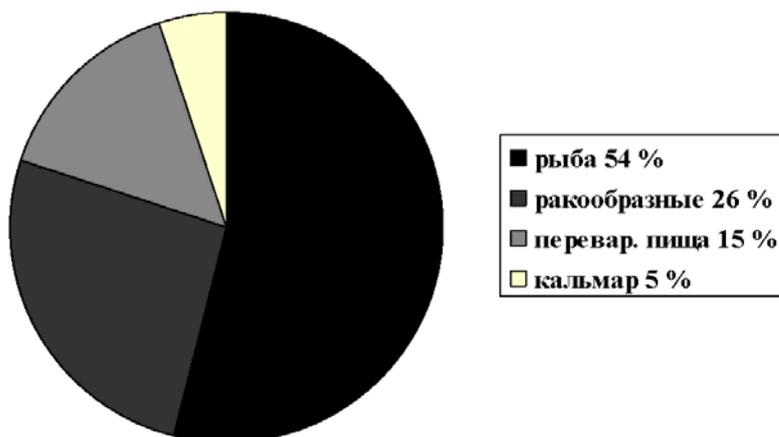
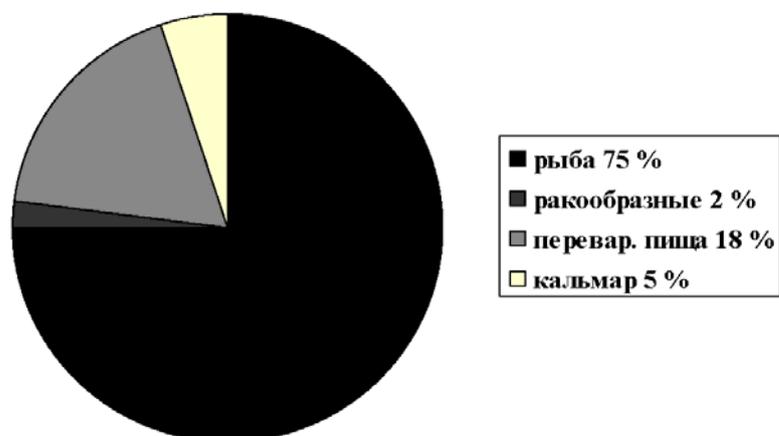


Рис. 2. Состав пищи тихоокеанского кальмара в зал. Петра Великого в июле-октябре 2010 г.
Fig. 2. Food objects Pacific squid in Peter the Great Bay in July-October 2010

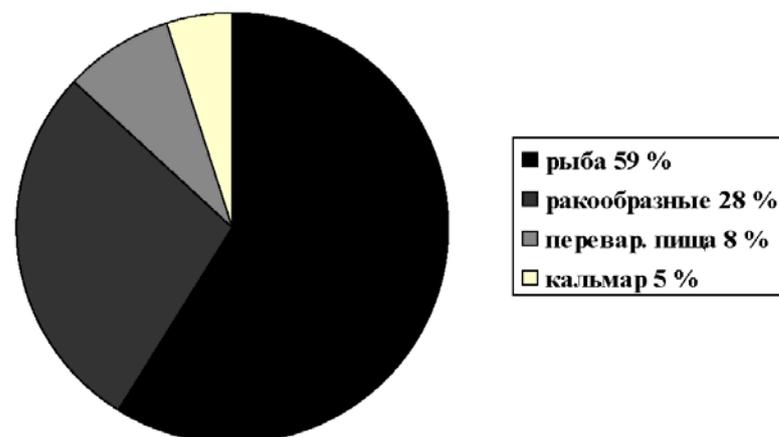


В октябре преобладающим компонентом спектра питания оставались рыбы. Их встречаемость в желудках составила 75 %. Кальмары и ракообразные встречались менее чем у 1 % особей.

В 2011 г. из особенностей питания следует отметить, что если на световых станциях отмечалась сайра или анчоус (рис. 3), то они и являлись основным компонентом питания кальмара. В отдельных районах основу питания кальмара составляли гипериды.

У тихоокеанского кальмара в летне-осенний период существует межгодовая изменчивость в соотношении главных кормовых объектов. Изменение соотношения доминирующих групп кормовых объектов, вероятно, связано с межгодовыми изменениями в структуре планктонных и нектонных сообществ Японского моря [6, 9, 10].

Рис. 3. Состав пищи тихоокеанского кальмара в зал. Петра Великого в июле-октябре 2011 г.
Fig. 3. Food objects Pacific squid in Peter the Great Bay in July-October 2011



Заключение

Таким образом, в питании тихоокеанского кальмара в зал. Петра Великого в 2009–2011 гг. наибольшее значение имели рыбы – сайра и анчоус, которые, как и кальмар, совершают нагульные миграции. Их встречаемость в желудках колебалась от 47 % в июле до 90 % в августе, на втором месте по частоте встречаемости находился кальмар (преобладала собственная молодь), частота встречаемости которого составила от 18,5 % в июле до 1 % в октябре. Доля ракообразных была незначительной и колебалась от 3 % в августе до 0,8 % в октябре. Однако в 2011 г. в отдельных районах их доля составляла основу питания.

Список литературы

1. Шевцов, Г.А. Фауна головоногих моллюсков зоны России Японского моря в летне-осенний период / Г.А. Шевцов, Н.М. Мокрин // Изв. ТИНРО. – 1998. – Т. 123. – С. 191–206.
2. Мокрин, Н.М. Руководство по поиску и промыслу пелагических кальмаров в Японском море и Южно-Курильском районе / Н.М. Мокрин, Е.В. Слободской. – Владивосток: ТИНРО-Центр, 1998. – 39 с.
3. Млынар, Е.В. Тихоокеанский кальмар *Todarodes pacificus* в северо-западной части Татарского пролива / Е.В. Млынар, А.Ю. Немченко // Методические и прикладные аспекты рыбохозяйственных исследований на Дальнем Востоке. – Хабаровск: ХоТИНРО, 2003. – С. 163–169.
4. Долганова, Н.Т. Питание тихоокеанского кальмара *Todarodes pacificus* Steenstrup, 1880 (Cephalopoda, Ommastrephidae) в Японском море в летний период / Н.Т. Долганова, Н.М. Мокрин // Зоол. журн. – 1999. – Т. 78, № 9. – С. 1048–1058.
5. Dolganova N.T., Mokrin N.M. Year-to-year variability of the Japanese flying squid feeding in the Japan Sea (on materials 1997-1998) // PICES Workshop: Abstr. October 8–17, 1999. Vladivostok, Russia. – P. 98.
6. Мокрин, Н.М. Экология и перспективы промысла тихоокеанского кальмара (*Todarodes pacificus*) в Японском море: дис. ... канд. биол. наук / Н.М. Мокрин. – Владивосток, 2006. – 156 с.
7. Шевцов, Г.А. Инструкция по сбору и определению промысловых кальмаров в Тихом океане / Г.А. Шевцов. – Владивосток: ТИНРО, 1971. – 10 с.
8. Филиппова, Ю.А. Методика изучения головоногих моллюсков Мирового океана / Ю.А. Филиппова. – М.: ВНИРО, 1983. – 36 с.
9. Булыгин, В.В. Некоторые черты биологии тихоокеанского кальмара *TODARODES PACIFICUS* STEENSTRUP, 1880 (CERPHALOPODA: OMMASTREPHIDAE) в заливе Петра Великого (Японское море) / В.В. Булыгин, И.Г. Рыбникова // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2016. – № 1. – С. 28–35.
10. Хайруллина, Т.В. Некоторые черты биологии Тихоокеанского кальмара (*Todarodes pacificus*) в заливе Петра Великого (Японское море) в 2012 г. / Т.В. Хайруллина // Материалы Междун. науч.-техн. конф., Владивосток, 22–24 апреля, 2015 г. – Владивосток, 2015. – Ч. 1. – С. 29-32.

Сведения об авторах: Булыгин Владимир Владимирович, аспирант,
e-mail: bulygин_vlad@bk.ru;

Рыбникова Ирина Григорьевна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: berehzok@mail.ru.

УДК 591.69-7

В.Н. КазаченкоДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПАРАЗИТИЧЕСКИХ КОПЕПОДАХ
(CRUSTACEA: COPEPODA) РЫБ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
ТИХОГО ОКЕАНА**

Обследован 21 вид 17 родов 7 семейств рыб северо-западной части Тихого океана; у них зарегистрировано 12 видов 11 родов 7 семейств 2 подотрядов паразитических копепод рыб. Пять видов копепод (*Sarcotaces komai*, *Acanthochondria macrocephala*, *Parapharodes semilunaris*, *Innaprokofevna orientcolae*, *Lepeophtheirus hexagrammi*) являются эндемиками дальневосточных морей, 3 вида (*Haemobaphes diceraus*, *Nectobranchia indivisa*, *Naobranchia occidentalis*) – эндемиками северной части Тихого океана. В новых районах зарегистрированы копеподы: *Innaprokofevna orientcolae* (Япония), *Pseudolepeophtheirus parvicruris* и *Nectobranchia indivisa* (Берингово море). Новыми хозяевами являются для: *Sarcotaces komai* – *Antimora microlepis*; *Lepeophtheirus hexagrammi* – *Oncorhynchus gorbuscha* и *Salvelinus leucomaenis*; *Lepeophtheirus parviventris* – *Boreogadus saida* и *Bothrocara molle*; *Pseudolepeophtheirus parvicruris* – *Pleurogrammus azonus*; *Clavella adunca* – *Pleurogrammus monopterygius*; *Naobranchia occidentalis* – *Bothrocara brunneum* и *Lycodes soldatovi*. Процент зараженности дальневосточных рыб паразитическими копеподами равен 31,0.

Ключевые слова: паразитические копеподы, хозяева, зараженность рыб, северо-западная часть Тихого океана.

V.N. Kazachenko**NEW INFORMATION ON THE PARASITIC COPEPOD
(CRUSTACEA: COPEPODA) OF FISH NORTHWESTERN PACIFIC**

The study included 21 species of 17 genera of 7 families of fish northwestern Pacific; they have recorded 12 species of 11 genera 7 families of 2 suborders parasitic copepod fish. Five species of copepods (*Sarcotaces komai*, *Acanthochondria macrocephala*, *Parapharodes semilunaris*, *Innaprokofevna orientcolae*, *Lepeophtheirus hexagrammi*) are endemic to the Far East seas, 3 species (*Haemobaphes diceraus*, *Nectobranchia indivisa*, *Naobranchia occidentalis*) – endemic to the North Pacific. In new areas account copepods: *Innaprokofevna orientcolae* (Japan), *Pseudolepeophtheirus parvicruris* and *Nectobranchia indivisa* (Bering Sea). The new hosts are to: *Sarcotaces komai* – *Antimora microlepis*; *Lepeophtheirus hexagrammi* – *Oncorhynchus gorbuscha* and *Salvelinus leucomaenis*; *Lepeophtheirus parviventris* – *Boreogadus saida* and *Bothrocara molle*; *Pseudolepeophtheirus parvicruris* – *Pleurogrammus azonus*; *Clavella adunca* – *Pleurogrammus monopterygius*; *Naobranchia occidentalis* – *Bothrocara brunneum* and *Lycodes soldatovi*. Percent of infected fish parasitic copepods is 31.0.

Key words: parasitic copepods, hosts, infection of fish, north-western part of the Pacific Ocean.

Краткий обзор паразитических копепод дальневосточных морей дан В.Н. Казаченко [1]. Материалом для написания статьи явились сборы паразитических копепод дальневосточных морей, проведенные сотрудниками ТИНРО (ныне – ТИНРО-Центр) (таблица), автор принимал участие в сборе копепод. Сбор и обработка материала проводилась по общепринятым методикам [2]. Обследован 21 вид 17 родов 7 семейств рыб (таблица). Общий процент зараженности рыб паразитическими копеподами равен 31,0.

**Количество обследованных и зараженных рыб
Number of examined and infected fis**

№ п/п	Хозяева	Количество, экз.		
		Обследовано	Заражено	% заражения
Семейство Salmonidae				
1	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	2	2	-
2	<i>Salvelinus leucomaenis</i>	2	2	-
Семейство Macrouridae				
3	<i>Coryphaenoides acrolepis</i>	14	1	7,1
Семейство Moridae				
4	<i>Antimora rostrata</i>	117	79	67,5
5	<i>A. microlepis</i>	3	2	-
Семейство Gadidae				
6	<i>Boreogadus saida</i>	2	1	-
7	<i>Gadus macrocephalus</i>	37	10	27,0
8	<i>Theragra chalcogramma</i>	437	82	18,8
Семейство Hexagrammidae				
9	<i>Pleurogrammus azonus</i>	1	1	-
10	<i>P. monopterygius</i>	15	7	46,7
Семейство Zoarcidae				
11	<i>Bothrocara brunneum</i>	1	1	-
12	<i>B. molle</i>	5	1	-
13	<i>B. zestum</i>	15	4	26,7
14	<i>Lycodes soldatovi</i>	2	1	-
Семейство Pleuronectidae				
15	<i>Clidoderma asperrimum</i>	15	6	40,0
16	<i>Lepidopsetta bilineata</i>	33	8	24,2
17	<i>Limanda aspera</i>	58	37	63,8
18	<i>Platichthys stellatus</i>	2	2	-
19	<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	13	5	38,5
20	<i>Pseudopleuronectes yokogamae</i>	4	1	-
21	<i>Reinhardtius hippoglossoides matsuurae</i>	46	2	4,4
Итого		824	255	31,0

Класс Crustacea

1. Подотряд Pоецилостоматоиды

1. Семейство Philichthyidae

I. Sarcotaces komai Shiino, 1953

1–6 экз. в мускулатуре 17 из 25 экз. *Antimora rostrata* у побережья Хоккайдо (42°17N 143°49E) в январе 1973 г.;

1–10 экз. в мускулатуре 14 из 30 экз. *A. rostrata* у тихоокеанского побережья Японии (36°51N 141°30E и 30°08N 147°42E) в феврале 1976 г.;

2–8 экз. в мускулатуре 47 из 60 обследованных *A. rostrata* восточнее о. Хонсю (40°20N 142°23E и 38°47N 142°15E) в декабре 1982 и феврале 1983 гг.;

3 экз. у одного из 2 обследованных *A. rostrata* у тихоокеанского побережья Японии (38°47N 142°18E) в декабре 1984 г.;

1–5 экз. в мускулатуре 2 из 3 обследованных *A. microlepis* у тихоокеанского побережья Японии (41°55N 142°21E) в январе 1981 г.

Копепода *S. komai* известна от *Peristedion amiscus* и *Antimora rostrata* из прибрежных вод Японии [1].

Копепода *S. komai* является эндемиком дальневосточных морей [1].

Antimora microlepis – новый хозяин *S. komai*.

2. Семейство Chondracanthidae

2. *Acanthochondria macrocephala* Gussev, 1951

1 экз. на жабрах одной из 4 обследованных *Pseudopleuronectes yokohamae* в зал. Петра Великого в июле 1981 г.

Вид *A. macrocephala* зарегистрирован на *Liopsetta obscura*, *P. yokohamae* в Японском и Охотском морях [1].

Копепода *A. macrocephala* – эндемик дальневосточных морей [1].

3. *Parapharodes semilunaris* Kabata et Gussev, 1966

2 экз. на жабрах одной из 8 обследованных *Bothrocara zestum* в Беринговом море (61°21N 178°20E) в июле 1982 г.

Копепода *P. semilunaris* – эндемик дальневосточных морей [1].

4. *Lateracanthus quadripedis* Kabata et Gussev, 1966

2 экз. на жаберных крышках одной из 14 обследованных *Coryphaenoides acrolepis* у Северных Курил в мае 1978 г.

Распространение и хозяев *L. quadripedis* см. у Казаченко [1].

2. Подотряд Siphonostomatoidea

3. Семейство Trebiidae

5. *Innaprokofevna orientcolae* Kazatchenko, 2001

1–4 экз. на жаберных дугах и жаберных лепестках 4 из 11 обследованных *Clidoderma asperrimum* у тихоокеанского побережья Японии (36°18N 141°24E) в феврале 1981 г.;

2 экз. на жаберных лепестках у 1 из 3 обследованных *C. asperrimum* у Северных Курил (50°39N 157°45E) в августе 1982 г.;

1 экз. у 1 обследованной *C. asperrimum* у тихоокеанского побережья Японии (39°56N 142°43E) в декабре 1982 г.

Копепода *I. orientcolae* – специфичный паразит *C. asperrimum*; эндемик дальневосточных морей [1]; впервые зарегистрирован у берегов Японии.

4. Семейство Caligidae

6. *Lepeophtheirus hexagrammi* Gussev, 1951

По 1 экз. на жабрах у 2 экз. обследованных *Oncorhynchus gorbusha* в п. Самарга (Приморский край) в августе 2003 г.

По 1 экз. на жабрах у 2 экз. обследованных *Salvelinus leucomaenis* в п. Самарга (Приморский край) в августе 2003 г.

O. gorbuscha и *S. leucomaenis* – новые хозяева *L. hexagrammi*.

Копепода *L. hexagrammi* – эндемик дальневосточных морей [1].

7. *Lepeophtheirus parviventris* Wilson, 1905

1 экз. на поверхности тела одной из 2 обследованных *Boreogadus saida* в Чукотском море (66°43N 170°22W) в сентябре 1973 г.;

1 экз. на поверхности тела одной из 5 обследованных *Gadus macrocephalus* у мыса Поворотного (Японское море: 42°41N 133°40E) в июне 1973 г.;

1 экз. на поверхности тела одной из 3 обследованных *Gadus macrocephalus* в Беринговом море (58°33N 164°03E) в августе 1973 г.;

1 экз. на поверхности тела одной из 3 обследованных *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* в Беринговом море (54°33N 167°05W) в апреле 1971 г.;

1–3 экз. на поверхности тела 60 из 310 обследованных *Theragra chalcogramma* в Беринговом море (56°38N 172°13W; 57°06N 173°15W; 57°04N 172°54W; 56°01N 169°52W; 56°30N 166°30W; 57°06N 173°50W) в апреле и мае 1971 г.;

3 экз. на поверхности тела одной из 5 обследованных *Bothrocara molle* в Беринговом море (56°00N 169°00W) в марте 1972 г.;

1 экз. в желудке одной из 43 обследованных *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* у восточного побережья о. Сахалин в декабре 1986 г. Так как *L. parviventris* был найден в желудке *R. h. matsuurae*, то последнего нельзя считать окончательным хозяином.

L. parviventris зарегистрирован на 25 хозяевах, считая тихоокеанского кальмара [1].

Boreogadus saida и *Bothrocara molle* – новые хозяева *L. parviventris*.

8. *Pseudolepeophtheirus parvicruris* (Fraser, 1920)

1 экз. на жабрах одного обследованного *Pleurogrammus azonus* в п. Самарга (Приморский край) в июле 2003 г.;

1 экз. в жаберной полости одной обследованной *Pleuronectes quadrituberculatus* в Беринговом море (57°05N 172°45W) в апреле 1971 г.;

1–13 экз. в жаберной полости и на жаберных дугах 4 из 12 обследованных *P. quadrituberculatus* в Беринговом море (56°00N 172°00W) в апреле-июне 1972 г.;

20 экз. в ротовой, жаберной полостях и на жабрах одной обследованной *Platichthys stellatus* в Охотском море (51°10N 156°20E) в мае 1971 г.

Копепода *P. parvicruris* известна от *Platichthys stellatus*, *Pleuronectes quadrituberculatus* и *Squalus acanthias* из Чукотского, Охотского и Японского морей, также у побережья Канады [1]; впервые зарегистрирована в Беринговом море.

Pleurogrammus azonus – новый хозяин *P. parvicruris*.

5. Семейство Pennellidae

9. *Haemobaphes diceraus* Wilson, 1917

По 1 экз. на жаберных дугах 2 из 11 обследованных *Gadus macrocephalus* в Беринговом море (58°33N 164°03E; 58°19N 174°15W) в августе 1973 г. и июне 1983 г.;

1–3 экз. на жаберных дугах 22 из 127 обследованных *Theragra chalcogramma* в Беринговом море (58°33N 164°03E) в августе 1973 г.

H. diceraus зарегистрирован у 13 видов хозяев; *H. diceraus* – эндемик северной части Тихого океана [1].

6. Семейство Lernaeopodidae

10. *Clavella adunca* (Strøm, 1762)

1–13 экз. на поверхности тела, жаберных дугах, ротовой полости, жаберных тычинках 6 из 18 обследованных *Gadus macrocephalus* у Восточной Камчатки (51°15N 158°30E), Беринговом море (58°33N 164°03E), у мыса Олюторский (59°52N 170°35E) в сентябре 1972 г., августе 1973 г.;

1–9 экз. на жаберных дугах 7 из 15 обследованных *Pleurogrammus monoptygius* в Беринговом море (53°00N 171°05E) в марте 1972 г.

C. adunca зарегистрирована у 32 видов рыб [1]; *P. monoptygius* – новый хозяин *C. adunca*.

11. *Nectobranchia indivisa* Fraser, 1920

3–7 экз. на жаберных лепестках 4 из 15 обследованных *Lepidopsetta bilineata* у Восточной Камчатки (54°18N 161°17E; 60°56N 173°09E) в августе 1973 г.;

2 экз. на жаберных лепестках одной обследованной *Platichthys stellatus* в Японском море (42°41N 133°48E) в июне 1973 г.;

1–5 на жаберных лепестках 4 из 18 обследованных *L. bilineata* в Беринговом море (56°00N 168°00E; 572°00N 173°00E) в марте-апреле 1972 г.

N. indivisa зарегистрирована на 6 видах хозяев; эндемик северной части Тихого океана [1].

N. indivisa впервые обнаружена в Беринговом море.

7. Семейство Naobranchiidae

12. *Naobranchia occidentalis* Wilson, 1915

1–12 экз. на жаберных лепестках 37 из 58 обследованных *Limanda aspera* в Беринговом море (57°00N 172°15W, 56°07N 165°09W и 56°35N 172°25W) в апреле 1971 г., мае 1972 и марте 1973 г.;

3 экз. на жаберных лепестках 1 обследованной *Bothrocara brunneum* в Беринговом море (59°25N 178°00W) в мае 1972 г.;

1 экз. на жаберных лепестках 1 из 2 обследованных *Lycodes soldatovi* в Беринговом море (61°22N 175°30E) в июле 1982 г.;

1–2 экз. на жаберных лепестках 3 из 7 обследованных *Bothrocara zestum* восточнее Японских о-вов (37°52N 142°03E) в декабре 1982 г.

Копепода *N. occidentalis* – эндемик северной части Тихого океана, зарегистрирована у 29 видов хозяев [1].

B. brunneum и *L. soldatovi* – новые хозяева *N. occidentalis*.

Выводы

1. 5 видов копепод (*Sarcotaces komai*, *Acanthochondria macrocephala*, *Parapharodes semilunaris*, *Innaprokofevna orientcolae*, *Lepeophtheirus hexagrammi*) являются эндемиками дальневосточных морей, 3 вида (*Haemobaphes diceraus*, *Nectobranchia indivisa*, *Naobranchia occidentalis*) – эндемиками северной части Тихого океана.

2. В новых районах зарегистрированы копеподы: *Innaprokofevna orientcolae* (Япония), *Pseudolepeophtheirus parvicruris* и *Nectobranchia indivisa* (Берингово море).

3. Новыми хозяевами являются для: *Sarcotaces komai* – *Antimora microlepis*; *Lepeophtheirus hexagrammi* – *Oncorhynchus gorbusha* и *Salvelinus leucomaenis*; *Lepeophtheirus parviventrus* –

Boreogadus saida и *Bothrocara molle*; *Pseudolepeophtheirus parvicruris* – *Pleurogrammus azonus*; *Clavella adunca* – *Pleurogrammus monoptyerygius*; *Naobranchia occidentalis* – *Bothrocara brunneum* и *Lycodes soldatovi*.

4. Процент зараженности дальневосточных рыб паразитическими копеподами равен 31,0.

Благодарности

Выражаю искреннюю благодарность С.Е. Позднякову, чл.-корр. РАН, доктору биол. наук, зам. ген. директора, зав. научно-исследовательским отделением сырьевой базы прибрежного рыболовства ФГУП «ТИНРО-Центр» и Л.С. Швецовой, канд. биол. наук, зав. сектором прибрежных исследований ФГУП «ТИНРО-Центр» за представленный материал.

Список литературы

1. Казаченко, В.Н. Паразитические копеподы (Crustacea: Copepoda) некоторых рыб северо-западной части Тихого океана / В.Н. Казаченко // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток, 2015. – Т. 35. – С. 29–36.

2. Быховская-Павловская, И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению / И.Е. Быховская-Павловская. – Л.: Наука, 1985. – 121 с.

Сведения об авторе: Казаченко Василий Никитич, доктор биологических наук, профессор, e-mail: vaskaz@hotmail.ru.

ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА

УДК 551.465

Е.Н. Бакланов¹, П.А. Стародубцев², Е.П. Стародубцев², В.В. Карасев¹

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

²Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова,
690006, г. Владивосток, Камский переулок, 6

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОЙ СКОРОСТИ НА ПРОЦЕСС ЗАТУХАНИЯ И РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ ПРОСВЕТНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ИХ В ОКЕАНСКОМ ВОЛНОВОДЕ

Рассматриваются вопросы влияния морских неоднородностей разной природы на эффективность применения акустической томографии океана. В частности, анализируется влияние на поглощение акустических сигналов фазовой скорости распространения звуковой волны. Исследуется зависимость фазовой скорости распространения звука от наличия пузырьков в водной среде.

Ключевые слова: просветная томография, фазовая скорость, морские неоднородности, звуковое давление, акустический сигнал.

E.N. Baklanov, P.A. Starodubtcev, E.P. Starodubtcev, V.V. Karasev EFFECT PHASE VELOCITY ON THE PROCESS OF ATTENUATION AND DISPERSION OF LUMINAL SIGNALS ENERGY DURING THEIR PROPAGATION IN OCEAN WAVEGUIDE

The impact of marine discontinuities of different nature on the effectiveness of ocean acoustic tomography is discussed. In particular, it analyzes the impact on the absorption of the acoustic signals of the phase velocity of propagation of a sound wave. Dependence of the phase velocity of propagation of sound on the presence of bubbles in an aqueous medium.

Key words: luminal tomography, phase velocity, marine heterogeneity, sound pressure, acoustic signal.

Введение

Реализация задач просветной гидроакустики сопряжена с проблемой наличия в водной среде разнообразных морских неоднородностей (МН), осложняющих (и даже делающих невозможным) эффективное наблюдение просветного акустического сигнала (ПАС). Суммарный результат рассеяния и поглощения МН и пузырьками настолько велик, что приводит к заметному затуханию ПАС. Сильное поглощение сопровождается дисперсией, т.е. фазовая скорость распространения звуковой волны становится функцией частоты звука. Целью данной работы является попытка описать влияние фазовой скорости на процесс затухания и рассеяния энергии просветных сигналов.

В волноводе фазовая скорость измеряется вдоль горизонтального направления r . При этом фазовой скоростью считается скорость, с которой поверхность постоянной фазы перемещается вдоль заданного направления.

Основная часть

Обратившись к уравнению, описывающему звуковое давление

$$p = P_1(\omega)r^{-1/2} \exp(i\omega t)[\exp(-\delta_1 r - i\chi_1 r) - \exp(-\delta_2 r - i\chi_2 r)], \quad (1)$$

где $P_1(\omega)$ – зависимость звукового давления от частоты просветного акустического сигнала; δ_1, δ_2 – коэффициенты пространственного затухания просветного акустического сигнала для первой и второй нормальных волн соответственно; χ_1, χ_2 – постоянные распространения сигналов в зависимости от частоты для первых двух нормальных волн, обозначив звуковое давление для нормальной волны номера « m » через p_m , можем записать, что

$$p_m = P_m(\omega)r^{-1/2} \exp[i(\omega t - \chi_m r) - \delta_m r]. \quad (2)$$

Из приведенного выражения видно, что фаза $(\omega t - \chi_m r)$ ПАС движется со скоростью ω / χ_m . Фазовую скорость вдоль направления r обозначим v_r . Поскольку фазовая скорость зависит от номера нормальной волны, то имеем [1]

$$v_{r,m} = \omega / \chi_m. \quad (3)$$

Фазовую скорость легко определить из графика собственных значений (рис. 1), поскольку $v_{r,m} = \omega / \chi_m$.

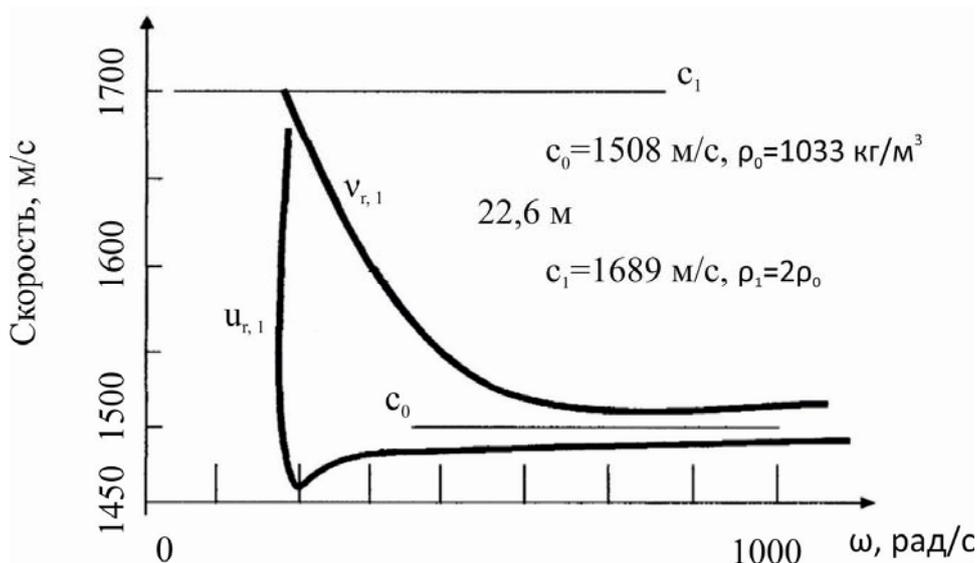


Рис. 1. Фазовая и групповая скорости для первой нормальной волны
Fig. 1. The phase and group velocity for the first normal wave

Максимальное значение $v_{r,m}$ равно c_1 – значению скорости в осадках, а минимальное равно c_0 – значению скорости в воде. Дисперсия в океанском волноводе является результатом геометрии и параметров волновода.

Для рис. 1 волновод представляет слой воды, лежащий на слое осадков. Геометрическая дисперсия, в отличие от внутренней, обуславливается такими свойствами среды, как релаксационные явления, или свойства жидкостей, содержащих пузырьки. На рис. 2 приведена частотная зависимость $\nu_{r,m}$ [1].

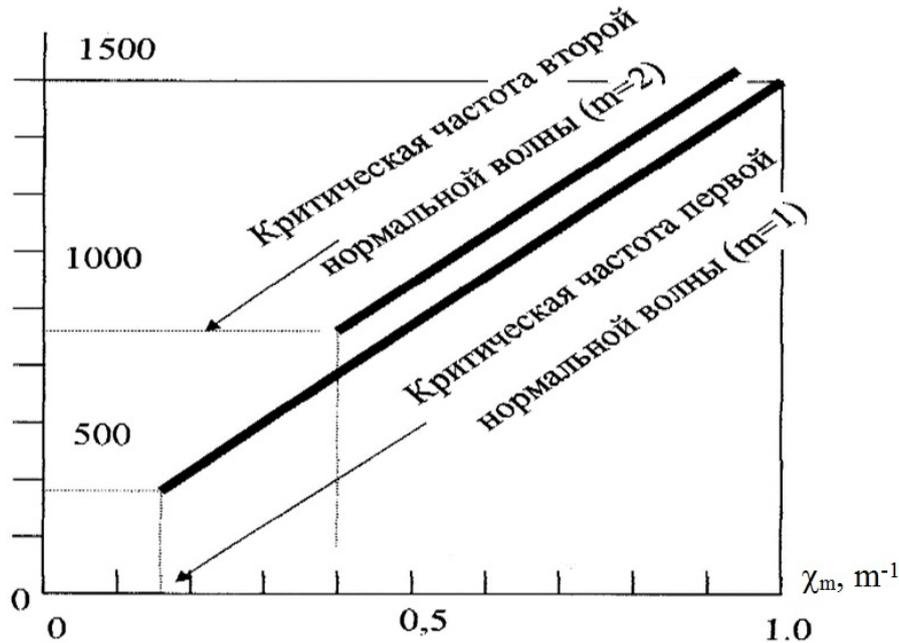


Рис. 2. Постоянные распространения χ_m в зависимости от частоты для двух нормальных волн
Fig. 2. The propagation constants χ_m versus frequency for two normal waves

Релаксационные процессы в воде возникают из-за инерции реакции среды на изменение давления или возвращение его в первоначальное состояние. На рис. 2 волновод представляет собой слой воды, лежащий на бесконечном полупространстве осадков. Существующие модели акустических релаксационных процессов бывают нескольких видов: тепловая релаксация в газах описывается с точки зрения активизации колебательных или вращательных мод многоатомных молекул, так что удельные теплоемкости ничтожно мало изменяются в течение времени прохождения звуковой волны; структурная релаксация имеет место при условии, что звуковая волна вызывает изменение структуры жидкости; химическая релаксация включает диссоциацию ионов, которая периодически увеличивается и уменьшается благодаря сжатию и расширению, обусловленным звуковой волной. Подробности механической релаксации в воде все еще активно обсуждаются специалистами по физической акустике и физической химии во многих трудах [1–4].

Мы это явление рассмотрим с целью учета его влияния на процесс распространения просветных акустических сигналов.

Релаксационные процессы являются причиной поглощения и дисперсии. Для получения частотной зависимости, обусловленной эффектом релаксации, добавим в закон Гука зависящий от времени член:

$$\Delta p = c^2 \Delta \rho + b \frac{d(\Delta \rho)}{dt}, \quad (4)$$

где b – постоянная. Чтобы получить «время релаксации», предположим, что давление $\Delta\rho$ прикладывается в течение некоторого времени до момента $t = 0$. Начиная с момента $t = 0$, $\Delta\rho = 0$ и

$$\frac{d(\Delta\rho)}{\Delta\rho} = -\frac{c^2}{b} dt. \quad (5)$$

Это выражение после интегрирования и введения обозначения $\Delta\rho \equiv \Delta\rho_0$ в момент времени $t = 0$ дает

$$\Delta\rho = \Delta\rho_0 \exp(-t/\tau_r), \quad (6)$$

где $\tau_r \equiv b/c^2$ есть время релаксации процесса. Значение $\Delta\rho$ зависит от числа активно участвующих в процессе релаксации молекул и является функцией температуры и давления. Предположим для простоты, что все молекулы активно участвуют в процессе релаксации.

Для того чтобы определить влияние релаксационного процесса на распространение звука, воспользуемся при выводе волнового уравнения модифицированным законом Гука. Подстановка выражения (5) в соотношение (6) и учет того, что $\partial/\partial t \approx d/dt$, дают [3]

$$\frac{\partial^2(\Delta\rho)}{\partial x^2} + \tau_r \frac{\partial^3(\Delta\rho)}{\partial x^2 \partial t} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2(\Delta\rho)}{\partial t^2}. \quad (7)$$

Будем рассматривать гармоническую зависимость от времени $\exp(i\omega t)$ и пространственную зависимость ρ_S : $\Delta\rho = \rho_S e^{i\omega t}$.

Волновое уравнение будет

$$\frac{\partial^2 \rho_S}{\partial x^2} (1 + i\omega\tau_r) + \frac{\omega^2}{c^2} \rho_S = 0, \quad \frac{\partial^2 \rho_S}{\partial x^2} + (1 - i\omega\tau_r)(1 + \omega^2\tau_r^2)^{-1} \frac{\omega^2}{c^2} \rho_S = 0. \quad (8)$$

Предположим, что решение данного уравнения имеет вид

$$\rho_S \sim \exp[-(ik + \alpha_e)x], \quad (9)$$

где волновое число k и экспоненциальный коэффициент поглощения α_e должны быть определены. Подстановка этого решения в волновое уравнение дает

$$-(k^2 - \alpha_e^2) + \frac{\omega^2}{c^2} (1 + \omega^2\tau_r^2)^{-1} - i \left[2k\alpha_e - \frac{\omega^3\tau_r}{c^2} (1 + \omega^2\tau_r^2)^{-1} \right] = 0. \quad (10)$$

При равенстве комплексных переменных действительные части равны между собой. Таким образом,

$$k^2 - \alpha_e^2 = \frac{\omega^2}{c^2} (1 + \omega^2\tau_r^2)^{-1}, \quad 2k\alpha_e = \frac{\omega^3\tau_r}{c^2} (1 + \omega^2\tau_r^2)^{-1}. \quad (11)$$

Волновое число k определяется из соотношения для фазовой скорости $v_r \equiv \omega/k$, которая является фазовой скоростью перемещения волнового фронта в направлении распространения. Совместное решение уравнений (8) и (9) после подстановки k , τ_r и небольших алгебраических преобразований дает [5]

$$a_e = \frac{w^2 \tau_r c_p}{2c^2(1+w^2 \tau_r^2)} \quad \text{и} \quad v_r = (c\sqrt{2})(1+\omega^2 \tau_r^2)^{1/2} \left[(1+\omega^2 \tau_r^2)^{1/2} + 1 \right]^{-1/2}. \quad (12)$$

Фазовая скорость зависит от звуковой частоты и частоты релаксации, следовательно, обладает дисперсией. Результаты изучения механизмов акустической релаксации в воде свидетельствуют о том, что v_r отличается от скорости звука в воде c менее чем на 1 %.

Обратимся к затуханию, используя приближение, $v_r \approx c$, определим частоту релаксации $f_r \equiv \frac{1}{2\pi\tau_r}$ и получим характеристическую формулу релаксационного процесса, в котором участвуют все молекулы [4]:

$$a_e = \frac{(\pi f_r / c) f^2}{f_r^2 + f^2} \text{ Нп/расстояние}. \quad (13)$$

Если только часть молекул F принимает участие в этом процессе, следует умножить выражение (12) на F . Чтобы получить затухание в децибелах на единицу расстояния, нужно учесть, что 1 Нп = 8,68 дБ.

Таким образом, коэффициент поглощения, обусловленный релаксационным процессом, будет

$$a_r = \frac{A \cdot f_r f^2}{f^2 + f_r^2} \text{ дБ/расстояние}, \quad (14)$$

где $A = 8,68(\pi / c)$, а F обозначает часть молекул, принимающих участие в процессе релаксации. Это выражение упрощается до следующих: $a_r = A \cdot f_r$ при $f \gg f_r$, $a_r = \frac{A}{f_r} f^2$ при $f \ll f_r$.

Заметим, что коэффициент поглощения a_r пропорционален f^2 на частотах ниже f_r и стремится к постоянной величине на частотах выше f_r . Это характерно для релаксационного процесса.

Другое характерное проявление релаксационного процесса обнаружится, если переписать выражение (14) таким образом, чтобы выявилась величина потерь за период:

$$a_r / f = \frac{A f_r f}{f^2 + f_r^2}. \quad (15)$$

При $f \ll f_r$, $a_r / f = A \cdot f / f_r \ll 1$ и $f \gg f_r$, $a_r / f = A \cdot f_r / f \ll 1$. Наблюдается максимум при $f = f_r$, когда $a_r / f = A/2$. На рис. 3 приведен график выражения (15).

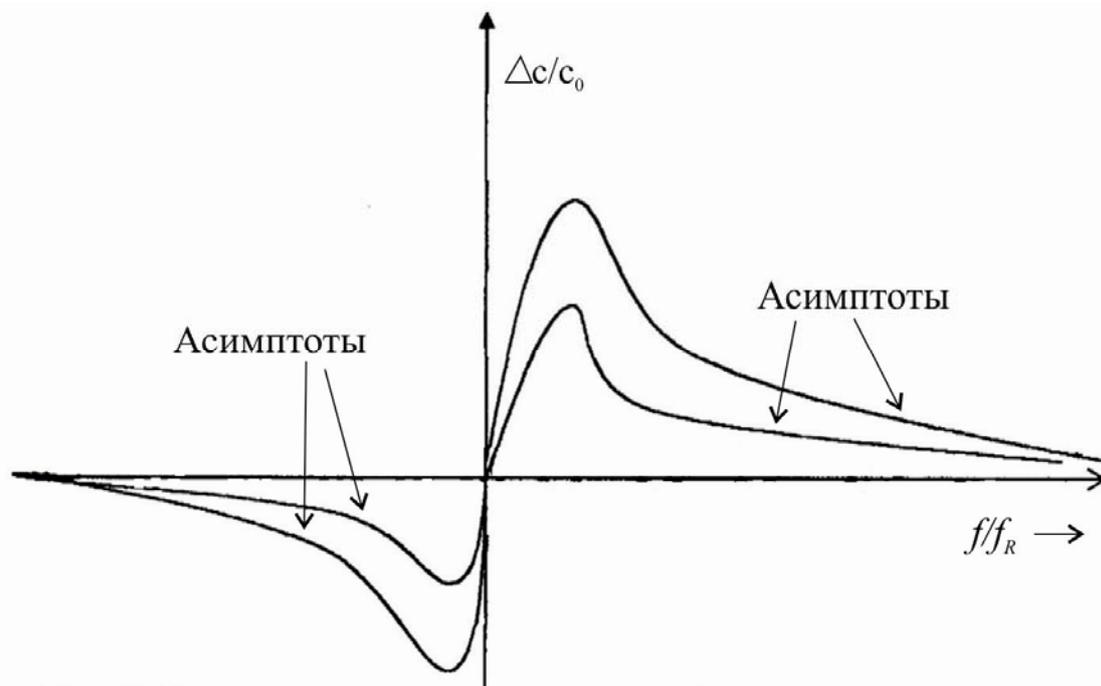


Рис. 3. Дисперсионные кривые для фазовой скорости звука в воде с пузырьками одного радиуса
 Fig. 3. The dispersion curves for phase velocity of sound in water with bubbles of same radius

Физический смысл процесса состоит в следующем: при возмущении среды звуковой волной, период которой много меньше τ_r , внутренние изменения не успевают произойти, следовательно, среда не возбуждается. В другом крайнем случае, когда период звуковой волны много больше времени релаксации, внутренние перестройки успевают следовать за звуковым полем. В обоих крайних случаях нет значительных потерь энергии за период. Однако, если период звуковой волны приблизительно равен времени релаксации, энергия может поглощаться в течение фазы сжатия и переходить в тепловое движение в период разрежения, и эти действия вызывают значительные потери энергии за период.

Зависимость скорости звука в воде от сжимаемости и плотности описывается выражением

$$c^2 = 1 / \rho_A \cdot K^S, \quad (16)$$

где K^S обратно пропорционально объемной упругости E . Сжимаемость состоит из части, обусловленной сжимаемостью воды пузырьков K^{S_0} , и из комплексной части, относящейся к сжимаемости собственно пузырьков K^{S_1} :

$$K^S = K^{S_0} + K^{S_1}. \quad (17)$$

Сжимаемость K^{S_0} выражается через скорость звука в воде без пузырьков c_0 и через плотность окружающей среды ρ_A :

$$K^{S_0} = 1 / \rho_A \cdot c_0^2. \quad (18)$$

Комплексная сжимаемость, связанная с собственно пузырьками, находится путем радиального смещения

$$K^S_1 = \frac{n \cdot S \cdot \xi}{P_p e^{i\omega t}} = \frac{n \cdot S^2}{m\omega^2 \left[\left(-1 + \omega_R^2 / \omega^2 \right) + iR_M / (\omega_M) \right]}, \quad (19)$$

где n – число пузырьков в единице объема; ξ – радиальное смещение поверхности пузырька; S – поверхность каждого пузырька; R_M – постоянная механического затухания, обусловленная потерями энергии сигнала из-за рассеяния, сдвиговой вязкости и теплопроводности среды. Для простоты используем $\delta = R_M / (\omega_M)$ и введем отношение частот

$$Y = f_R / f = \omega_R / \omega.$$

Тогда

$$K^S_1 = \frac{n\pi a [Y^2 - 1 - i\delta]}{\rho_A \omega^2 [(Y^2 - 1)^2 + \delta^2]}. \quad (20)$$

Скорость звука в среде с воздушными пузырьками может быть теперь записана в виде

$$c = \left(\frac{1}{\rho_A K} \right)^{1/2} = \frac{c_0}{(1 + A - iB)^{1/2}}, \quad (21)$$

где

$$A = \frac{Y^2 - 1}{(Y^2 - 1)^2 + \delta^2} \cdot \frac{4\pi a n c_0^2}{\omega^2} \quad \text{и} \quad B = \frac{\delta}{(Y^2 - 1)^2 + \delta^2} \cdot \frac{4\pi a n c_0^2}{\omega^2}. \quad (22)$$

Смысл комплексной скорости становится ясным, если рассмотреть комплексное волновое число

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{\omega(1 + A - iB)^{1/2}}{c_0}. \quad (23)$$

Поскольку A и B в океане весьма малы, то выражение в скобках, из которого извлекается квадратный корень, имеет вид ($1 + \text{малая величина}$). Следовательно, разлагая k в ряд Тейлора и ограничиваясь первым членом разложения, получаем $k \approx k_0 \left(1 + \frac{A}{2} - \frac{iB}{2} \right)$, где $k_0 = \omega / c_0$.

Выражение для плоской волны, распространяющейся через среду с пузырьками, записывается в виде

$$p_p = P_p \exp[i(\omega t - kx)] = P_p \exp(-k_{im}x) \exp[(\omega t - k_{re}x)], \quad (24)$$

где

$$k_{im} = k_0 \frac{B}{2}, k_{re} = k_0 \left(1 + \frac{A}{2} \right).$$

При такой записи ясно, что мнимая часть комплексного волнового числа соответствует ослаблению звуковой волны при распространении через область с пузырьками. Это ослабление описывается коэффициентом α_b и определяется $\alpha_b = 4,34 \cdot \sigma_e \cdot n$ дБ/длина,

где $\sigma_e \cdot n$ – сечение рассеяния единицей объема.

Действительная часть волнового числа k_{re} описывается распространением поверхностей постоянной фазы. Отношение ω/k_{er} представляет собой фазовую скорость, которую мы записываем в виде $\text{Re}\{c\}$. Фазовая скорость зависит от частоты, и такую среду называют диспергирующей:

$$\text{Re}\{c\} = c_0 \left[1 - \frac{2\pi \cdot a \cdot n c_0^2}{\omega^2} \cdot \frac{Y^2 - 1}{(Y^2 - 1)^2 + \delta^2} \right]. \quad (25)$$

Полезно выразить фазовую скорость через объем газа в пузырьках: $v_r = n \cdot \left(\frac{4}{3} \pi a^3 \right)$. Име-

$$\text{ем } \text{Re}\{c\} = c_0 \left[1 - \frac{3v_r Y^2}{2a^2 k_R^2} \frac{Y^2 - 1}{(Y^2 - 1)^2 + \delta^2} \right],$$

где $k_R = \omega_R / c_0$ – величина k_0 при резонансе.

Рассмотрим два частных случая. При низкой частоте, $f \ll f_R$, скорость равна

$$c_{hf} = c_0 \left(1 - \frac{3v_r}{2a^2 k_R^2} \right). \quad (26)$$

Поскольку величина ak_R является постоянной для данного газа на данной глубине, то асимптотическое значение скорости при низкой частоте зависит только от полного объема газа V . В пределе для высокой частоты, т.е. для $f \gg f_R$, имеем

$$c_{hf} = c_0 \left[1 + \frac{3VY^2}{2a^2 k_R^2 (1 + \delta^2)} \right] \rightarrow c_0. \quad (27)$$

Выводы

Таким образом, пузырьки не влияют на фазовую скорость распространения звука, если частота звука достаточно велика. Измерители скорости звука, работающие в мегагерцовом диапазоне частот, дают значения $c = c_0$ даже в воде с пузырьками, поскольку для реально существующих в море пузырьков $f \gg f_R$. Относительное изменение скорости пропорционально n -концентрации пузырьков. При высокой частоте кривые асимптотически приближаются к нулю. При низкой частоте параметры асимптот пропорциональны полному объему газа пузырьков $V(n_2(a) > n_1(a))$. Обобщение на среду с пузырьками случайных радиусов требует в вышеуказанных формулах замены n на $n(a)da$ и V на $v(a)da$.

Поскольку все вклады в сжимаемость среды представляют собой очень малые величины, они складываются линейно, и скорость звука в среде с пузырьками можно выразить через интеграл по всем радиусам пузырьков:

$$\operatorname{Re}\{c\} = c_0 \left[1 - \frac{3}{2} \int_a \frac{v(a)Y^2(Y^2-1)da}{a^2 k_R^2 [(Y^2-1)^2 + \delta_R^2]} \right]. \quad (28)$$

Наличие пузырьков различного размера размывает дисперсионную кривую. Величина отклонения от кривой, относящейся к среде без пузырьков, увеличивается, при этом увеличивается также частотный интервал между пиком и минимумом кривой.

Данные теоретические исследования позволяют в дальнейших морских экспериментах и численном моделировании учитывать влияние фазовой скорости на процесс затухания и рассеяния энергии просветных сигналов при распространении их в океанском волноводе.

Список литературы

1. Клей, К. Акустическая океанография / К. Клей, Г. Медвин / под ред. Э.В. Житковской и Р.Ю. Поповой; пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 580 с.
2. Урик, Р.Д. Отражение и рассеяние звука гидроакустическими целями / Р.Д. Урик // Основы гидроакустики; пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1978. – 334 с.
3. Агеева, Н.С. Звуковое поле сосредоточенного источника в океане / Н.С. Агеева // Акустика океана. – М., 1974. – С. 169–229.
4. Флате, С.М. Распространение звука во флюктуирующем океане / С.М. Флате. – М.: Мир, 1982. – 150 с.
5. Ольшевский, В.В. Статистические методы в гидролокации / В.В. Ольшевский. – Л.: Судостроение, 1973. – 184 с.
6. Стародубцев, П.А. Результаты численного моделирования и экспериментальных исследований рассеяния звуковых волн на стационарной трассе о. Сахалин – о. Итуруп / П.А. Стародубцев // Наука делает мир лучшим: сб. материалов регион. науч.-техн. конф. 19–20 ноября 2003 г. – Владивосток: МГУ им. Г.И. Невельского, 2003. – С. 11–14.
7. Стародубцев, П.А. Морское приборостроение для комплексного мониторинга Мирового океана / П.А. Стародубцев, М.В. Мироненко, А.Е. Малашенко, Ю.И. Недорез // Экологические системы и приборы. Раздел «Экологический мониторинг». – М., 2003. – № 7. – С. 3–12.

Сведения об авторах: Бакланов Евгений Николаевич, доцент,

e-mail: baklanoven@mail.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор,

e-mail: spa1958@mail.ru;

Стародубцев Евгений Павлович, e-mail: spa1958@mail.ru;

Карасев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент,

e-mail: karasevvv@list.ru.

УДК 551.465

П.А. Стародубцев¹, М.В. Мироненко¹, Е.Н. Бакланов², С.В. Шостак³

¹Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова,
690006, г. Владивосток, Камский переулок, 6

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

³Дальневосточный федеральный университет,
690600, г. Владивосток, о. Русский, кампус ДВФУ, корпус А

РАДИОГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И ПЕРЕДАЧИ ИЗМЕРЯЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ В МОРСКОЙ СРЕДЕ

Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований для формирования просветных систем контроля обстановки и мониторинга пространственно-временных характеристик гидрофизических полей протяженных морских акваторий. Рассмотрены закономерности нелинейного взаимодействия и параметрического преобразования просветных акустических волн с измеряемыми информационными волнами различной физической природы. Обоснованы практические пути дальнейшей передачи измеряемых информационных волн и сигналов связи в гидроакустических системах мониторинга и контроля морских акваторий, формируемых на основе технологий нелинейной просветной гидроакустики и средств морского приборостроения.

Ключевые слова: нелинейная просветная гидроакустика, система мониторинга, нелинейное взаимодействие волн, пространственно-временные характеристики измеряемых волн, параметрическое преобразование волн различной физической природы, дальний параметрический прием, передача информации в морской среде.

P.A. Starodubtcev, M.V. Mironenko, E.N. Baklanov, S.V. Shostak RADIOHYDROACOUSTIC SYSTEM FOR CONTROL HYDROPHYSICAL FIELDS AND TRANSFER DATA MEASURED IN THE MARINE ENVIRONMENT

The article presents the results of theoretical and experimental studies for formation of luminal environment control systems and monitoring of spatial and temporal characteristics of the hydrophysical fields of extended sea areas. Regularities of nonlinear interaction of luminal and parametric conversion of acoustic waves with measurable information waves of different physical nature are shown. Grounded practical ways of measuring long-distance transmission of information waves and communication signals in sonar systems for monitoring and control of marine areas formed on the basis of non-linear luminal hydroacoustic technologies and means of maritime engineering.

Key words: luminal nonlinear hydroacoustic, monitoring system, nonlinear interaction of the waves, spatial-temporal characteristics of the measured wave, parametric conversion waves of different physical nature, further parametric reception, transmission of information in the marine environment.

Введение

В отличие от классических высокочастотных параметрических устройств излучения и приема сигналов, просветная система контроля морских акваторий, основанная на реализации закономерностей нелинейной акустики, представляет собой многоканальную широкомасштабную параметрическую антенну с низкочастотной подсветкой (накачкой) среды. Параметрическое взаимодействие просветных и информационных сигналов, а также преобразование их полями (или специальными излучениями) объектов происходит на всем пути их распространения в водной среде. Наиболее эффективное параметрическое взаимодействие осуществляется в сопутствующей движущимся объектам нелинейной области, которая имеет достаточно большие величины, например, в случае возмущения среды кильватерным следом она может составлять единицы кубических километров [1–3].

Цель исследования

Данная работа решает задачу представления просветной гидроакустической системы мониторинга и контроля морских акваторий как протяженной параметрической, обеспечивающей дальний и сверхдальний параметрический прием и передачу информационных волн в морской среде.

Совместное распространение в нелинейной морской среде просветной звуковой волны с информационными волнами «малых амплитуд» сопровождается их взаимодействием и параметрическим преобразованием. Следует отметить также, что преобразование просветных акустических волн может осуществляться излучениями (волнами) различной физической природы (акустическими, электромагнитными, гидродинамическими). Результатом параметрического преобразования взаимодействующих волн является их взаимная амплитудно-фазовая модуляция. Сформированные в результате преобразования просветных волн параметрические составляющие суммарной и разностной частоты при обработке эффективно выделяются как признаки фазовой модуляции, что обосновано математическими зависимостями и подтверждено результатами морских экспериментов [4, 5].

«Тройное» взаимодействие волн различной физической природы в нелинейной морской среде. Известно, что характеристики гидрофизических полей морской среды различной физической природы, в которой распространяется гидроакустическая волна, влияют на ее параметры. Это связано с тем, что влияние гидрофизических полей осуществляется через изменение плотности и коэффициента упругости среды. По своей физической сущности изменение плотности водной среды в рабочей зоне параметрического приема является следствием воздействия на неё информационными полями. Изменения плотности среды при постоянной температуре приводит к изменению фазовой скорости звуковой волны в зоне взаимодействия электромагнитной волны с упругой морской. В отличие от классических уравнений гидродинамики для идеальной жидкости, которые используются в теории нелинейных параметрических излучателей, в уравнениях для нелинейной модулированной среды фазовая скорость упругой волны изменяется во времени и пространстве по закону изменения электромагнитной волны. Таким образом, если в рабочей зоне просветной параметрической системы распространяется электромагнитная волна гармонической частоты $\Omega_{ЭМ}$, то фазовая скорость упругой (просветной акустической) волны $C_{(t)}$ также будет меняться с той же частотой $\Omega_{ЗВ} = \Omega_{ЭМ}$. Количественные характеристики глубины модуляции можно получить, используя инженерные модели реализации способа.

В работах [1–3] показано и экспериментально подтверждено, что любые низкочастотные волны, сформированные морскими источниками или стихийными явлениями, например, землетрясениями или цунами будут надежно зарегистрированы.

Морскими экспериментальными исследованиями обоснованы закономерность и эффективность «тройного» взаимодействия акустических просветных волн с акустическими и электромагнитными полями источников морской среды. Аналитический вид такого преобразования представляется следующим образом:

$$P^*(t) = 0,5P^2 \left\{ \begin{array}{l} J_0(m_p) \cos 2\omega_1 t + J_1(m_p) [\cos(2\omega_1 - \Omega)t - \cos(2\omega_1 + \Omega)t] + \\ + J_2\left(\frac{2A}{P}\right) [\cos(2\omega_1 - 2\Omega)t + \cos(2\omega_1 + 2\Omega)t] + \\ + J_3\left(\frac{2A}{P}\right) [\cos(2\omega_1 - 3\Omega)t - \cos(2\omega_1 + 3\Omega)t] + \dots \end{array} \right\},$$

где $P^*(t)$, $P(t)$ – результирующее модулированное и мгновенное значения просветной акустической волны; ω_1 , ω_2 – круговая частота акустической просветной и электромагнитной объектных волн; Ω – низкочастотная акустическая волна от объекта; φ – начальная фаза просветной волны; t – текущее время; J_n – функции Бесселя n -го порядка; A_0 , A_m – амплитуды исходной и модулированных волн; m – коэффициент модуляции. Анализ этого выражения показывает, что спектр колебаний взаимодействующих волн состоит из бесконечного числа составляющих, расположенных симметрично относительно удвоенной центральной частоты 2ω (равной $\omega_1 + \omega_2$), значения частот которых отличаются от 2ω на $n\Omega$, где n – любое целое число. Амплитуды n -х боковых составляющих будут определяться выражением $J_n(2A_m/P) \cdot 0,5P^2$.

Из него следует, что вклад различных боковых составляющих в суммарную мощность модулированного колебания определяется величиной $2A_m/P$. Причем при малых значениях коэффициента модуляции m_p спектр колебания состоит приблизительно из гармоник центральной частоты 2ω (суммарной) и двух боковых частот: верхней ($2\omega + \Omega$) и нижней ($2\omega - \Omega$).

Создаваемая просветная система мониторинга и передачи информации в морской среде формируется на основе технологий нелинейной гидроакустики и радиогидроакустических средств морского приборостроения, в этой связи она представлена как радиогидроакустическая [1]. Общий вид и состав контрольно-измерительного радиогидроакустического комплекса, используемого в системах контроля морских акваторий, показаны на рис. 1.

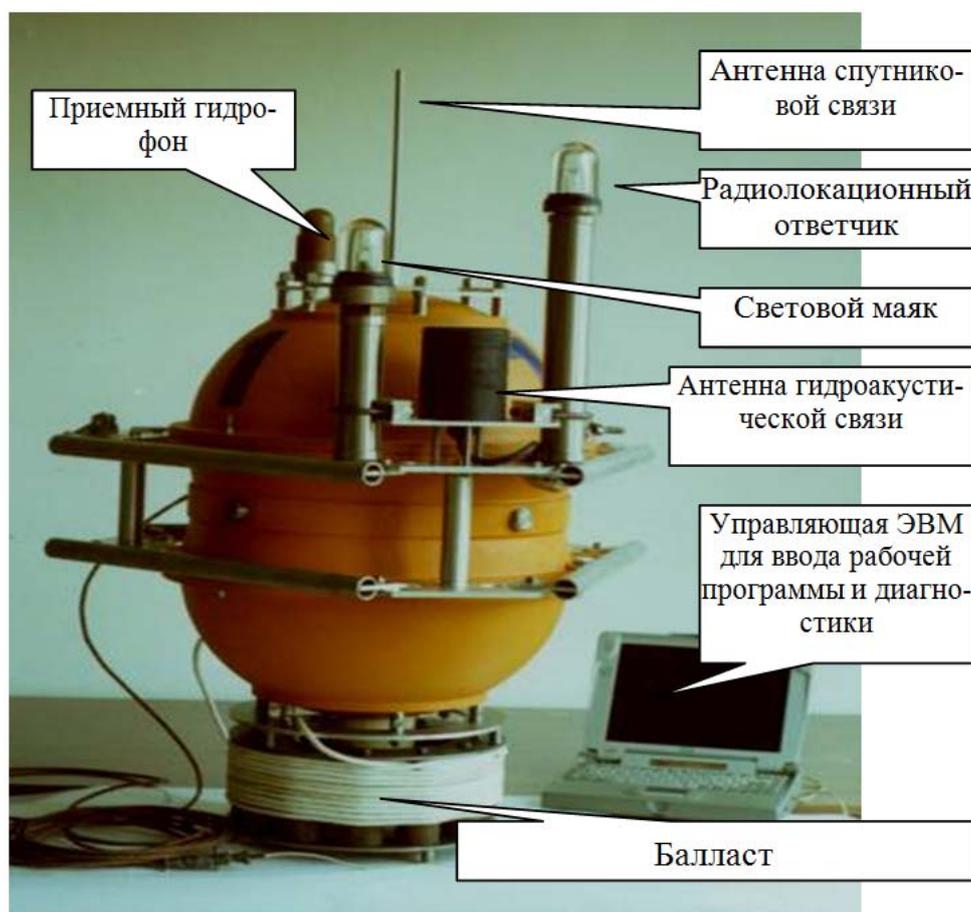


Рис. 1. Общий вид контрольно-измерительного радиогидроакустического комплекса
Fig. 1. General view of monitoring-measuring radio-sonar system

Экспериментальные исследования были проведены в Татарском проливе Японского моря. В качестве приемной базы использовались радиогидроакустические буи (РГБ), связанные по радиоканалу с лабораторией судна. В качестве излучающей базы использовался излучатель, буксируемый другим судном, который озвучивал среду сигналами стабильной частоты 400 Гц. В этом эксперименте выполнены измерения спектральных характеристик шумов на шельфовой зоне, формируемых техническими объектами, расположенными в береговой зоне о. Сахалин. Протяженность просветной линии составляла около 350 км. Спектрограмма шумов и их усредненная амплитудная характеристика по трассе измерения приведены на рис. 2 и 3.

Экспериментальными исследованиями просветных параметрических систем подтверждена их эффективность. Информационные волны различной физической природы в диапазоне частот сотни – десятки – единицы – доли герца надежно принимаются и передаются на большие дистанции. На рис. 3 представлены акустические сигналы, формируемые возмущениями среды, создаваемыми корпусом движущегося судна, выделенные из принимаемого спектра частот на фоне гидродинамических излучений. Это доказывает, что морские источники могут быть обнаружены по признакам преобразования просветных акустических волн излучаемыми ими электромагнитными и упругими (акустическими и гидродинамическими) полями.

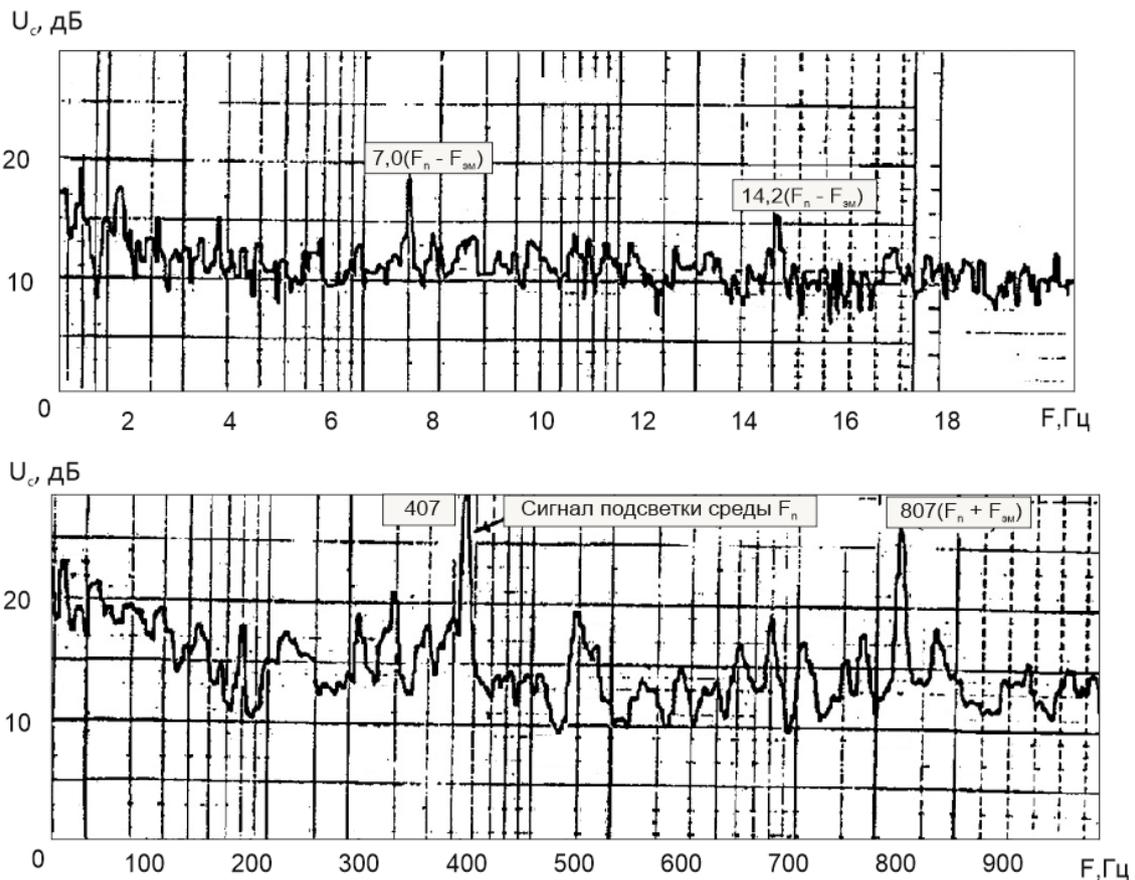


Рис. 2. Спектр электромагнитных излучений морского судна.
 Параметрические измерения на трассе протяженностью около 350 км
 Fig. 2. The spectrum of electromagnetic radiation of a marine vessel.
 Parametric measurements on the 350 km track

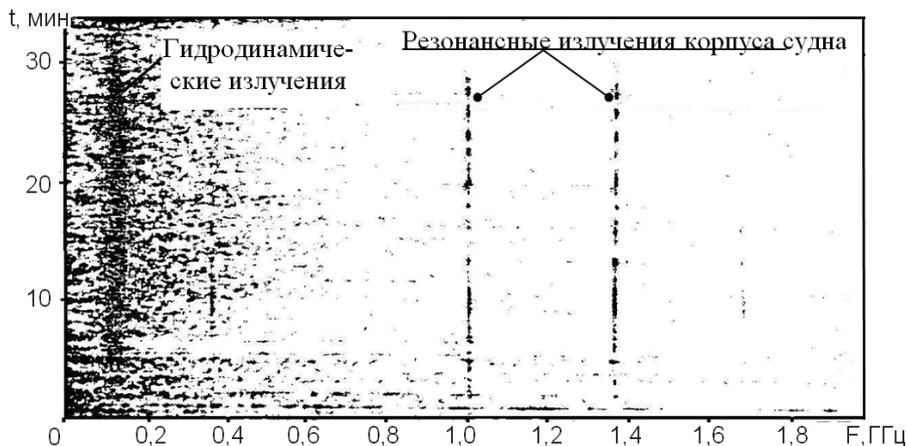


Рис. 3. Спектр шумового излучения морского судна. Параметрические измерения гидродинамических и акустических волн
 Fig. 3. Spectrum of the noise emission of a marine vessel. Parametric measurements of hydrodynamic and acoustic waves

Морские эксперименты подтверждают эффективность просветного метода, построенного на использовании многолучевой параметрической антенны, соизмеримой с протяженностью контролируемой акватории. Параметрический приём акустических и электромагнитных полей судна (рис. 4) позволяет выделить информационные сигналы обнаруживаемых объектов на дистанциях в десятки и сотни километров.

Пример дальней передачи информационных сообщений (например, сигналов бедствия) в морской среде посредством акустических и электромагнитных излучений показан на рис. 5.

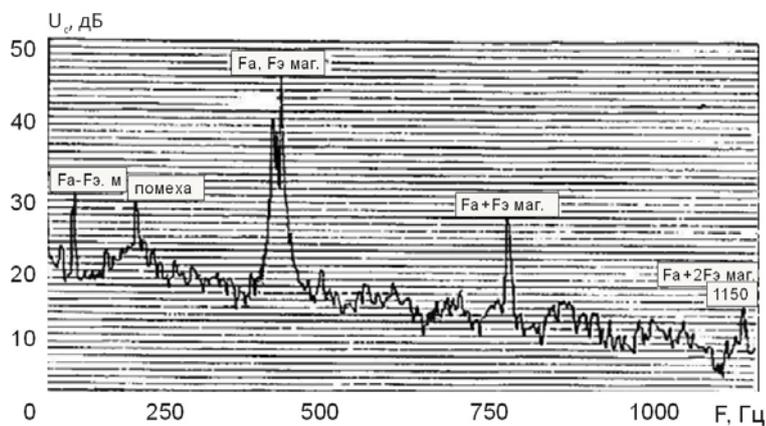


Рис. 4. Спектр просветных волн, модулированных электромагнитными излучениями морского судна
 Fig. 4. Spectrum luminal waves modulated electromagnetic radiation of a sea ship

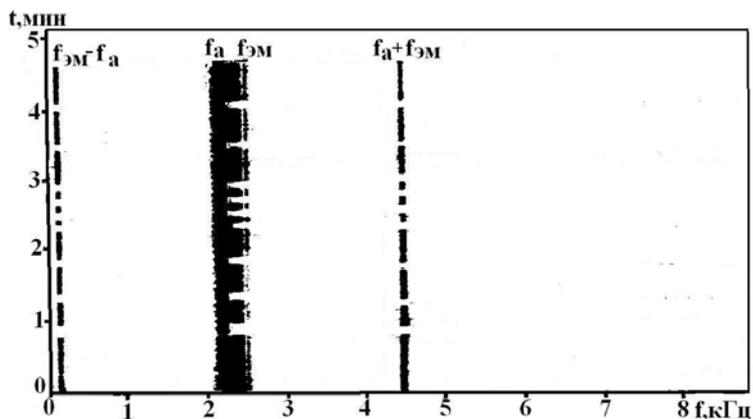


Рис. 5. Пример дальней передачи информационных электромагнитных волн в морской среде методом просветной гидроакустики (передача сигналов «SOS»)
 Fig. 5. Example of long-distance transmission of information of electromagnetic waves in the marine environment by luminal hydroacoustics (signaling «SOS»)

Выводы

Таким образом, можно заключить, что применение просветных приемопередающих параметрических систем, сформированных с использованием закономерностей и измерительных технологий нелинейной просветной гидроакустики, является обоснованным и эффективным при мониторинге морской среды и передаче информации. Макеты просветных параметрических систем приема и передачи информационных сообщений прошли испытания и подтверждают эффективность дальнего параметрического приема-передачи информационных волн различной физической природы на дистанциях до сотен километров в диапазоне сотни – десятки – единицы – доли герца.

Список литературы

1. Стародубцев, П.А. Теоретические основы формирования просветных систем и перспективы развития морского приборостроения на Дальнем Востоке: монография / П.А. Стародубцев, М.В. Мироненко и др. – Владивосток: МГУ им. Г.И. Невельского, 2006. – 180 с.
2. Мироненко, М.В. Закономерности взаимодействия упругих и электромагнитных волн в морской воде / М.В. Мироненко, В.И. Короченцев // Международный симпозиум «Подводные технологии – 2000». Япония, Токио, май 2000. – С. 105–109.
3. Стародубцев, П.А. Научно-технические пути построения и эксплуатации широкомасштабных систем томографического наблюдения пространственно-временных характеристик гидрофизических полей морской среды: монография / П.А. Стародубцев, М.В. Мироненко, В.В. Карасев – Владивосток: МГУ им. Г. И. Невельского, 2010. – 273 с.
4. Пат. РФ RU 2453930 С1 от 11.10.2010. Способ параметрического приема волн различной физической природы в морской среде / Мироненко М.В., Малашенко А.Е., Карачун Л.Э., Василенко А.М..
5. Пат. РФ RU 2472236 С1 от 15.06.2011. Способ передачи информационных волн в морской среде / Мироненко М.В., Малашенко А.Е., Карачун Л.Э., Корытко А.С.

Сведения об авторах: Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: spa1958@mail.ru;

Мироненко Михаил Владимирович, доктор технических наук, профессор, e-mail: professor@mail.primorye.ru;

Бакланов Евгений Николаевич, доцент, e-mail: baklanoven@mail.ru;

Шостак Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: servash@mail.ru.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ

УДК 621.431.74–729.3

С.П. Бойко

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТОНКОСТИ ОТСЕВА ТКАНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СЕТОК СУДОВЫХ САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩИХСЯ ОЧИСТИТЕЛЕЙ ТОПЛИВА И МАСЛА

Приведена упрощенная методика расчета тонкости отсева тканых фильтровальных сеток полотняного переплетения. Проведено сравнение результатов расчета этого показателя по усложненной и разработанной методике. Дан анализ показателей эффективности различных сеток, используемых в саморегенерирующихся фильтрах топлива и масла.

Ключевые слова: самоочищающийся фильтр, регенерация фильтра, очистка топлива и масла, фильтровальные сетки.

S.P. Boyko

METHODS AND RESULTS OF CALCULATION TONKOSTI DROPOUT NONWOVEN FILTER GRIDS SHIP CLEANERS SELF-RECOVERING FUEL AND OIL

A simplified method of calculation of thickness and completeness of screening woven filter's mesh plain weaves is presented. Made a comparison of the results of these indicators through the new complicated method. The analysis of effectiveness of various nets used in the self-recovering of fuel and oil filters is given.

Key words: self-cleaning filter, regeneration of the filter, cleaning of fuel and oil, filter mesh.

В последнее время на судах для очистки горюче-смазочных материалов большое распространение получили саморегенерирующиеся фильтры (СРФ) [6]. Эти очистители с высокой автономностью работы способны функционировать в топливных и смазочных системах ДВС в течение 2–5 тыс. ч без вскрытия для проведения профилактических процедур, замены поврежденных фильтрующих элементов (ФЭ) и их химической чистки [1].

Необходимость автоматизации процесса регенерации ФЭ в СРФ выдвинуло более жесткие требования к фильтровальным материалам (ФМ) этих очистителей. При высокой пропускной способности и эффективности отсева они должны хорошо регенерироваться, не забиваться отложениями на тяжелых режимах функционирования, иметь длительный ресурс работы между химическими чистками ФЭ. Таким фильтровальным материалом все чаще становятся тканые фильтровальные сетки (ТФС) полотняного переплетения [3, 4].

Применение этих материалов в саморегенерирующихся фильтрах вызвано их способностью успешно работать при жестких режимах фильтрования. Они обладают высокими прочностными характеристиками и хорошей регенерируемостью, что весьма важно для эффективной промывки тканых фильтровальных материалов (ТФМ) обратным потоком фильтруемой жидкости. При этом промывной поток движется через поровую структуру ТФС при смывке отложений со скоростью в 2–30 раз более высокой, чем при фильтровании [6].

Геометрия ТФС оптимизирована для достижения высокой регенерируемости при тонкости и полноте отсева, требуемой для эффективной очистки топлив и моторных масел (ММ) в судовых дизелях [5]. Разработка новых ТФС полотняного переплетения с расположением проволок утка вплотную (рис. 1) и регулированием параметров геометрии сеток выбором оптимальных диаметров проволок утка и основы, шага основы дала возможность получить ФМ с высокими функциональными свойствами [3, 5].

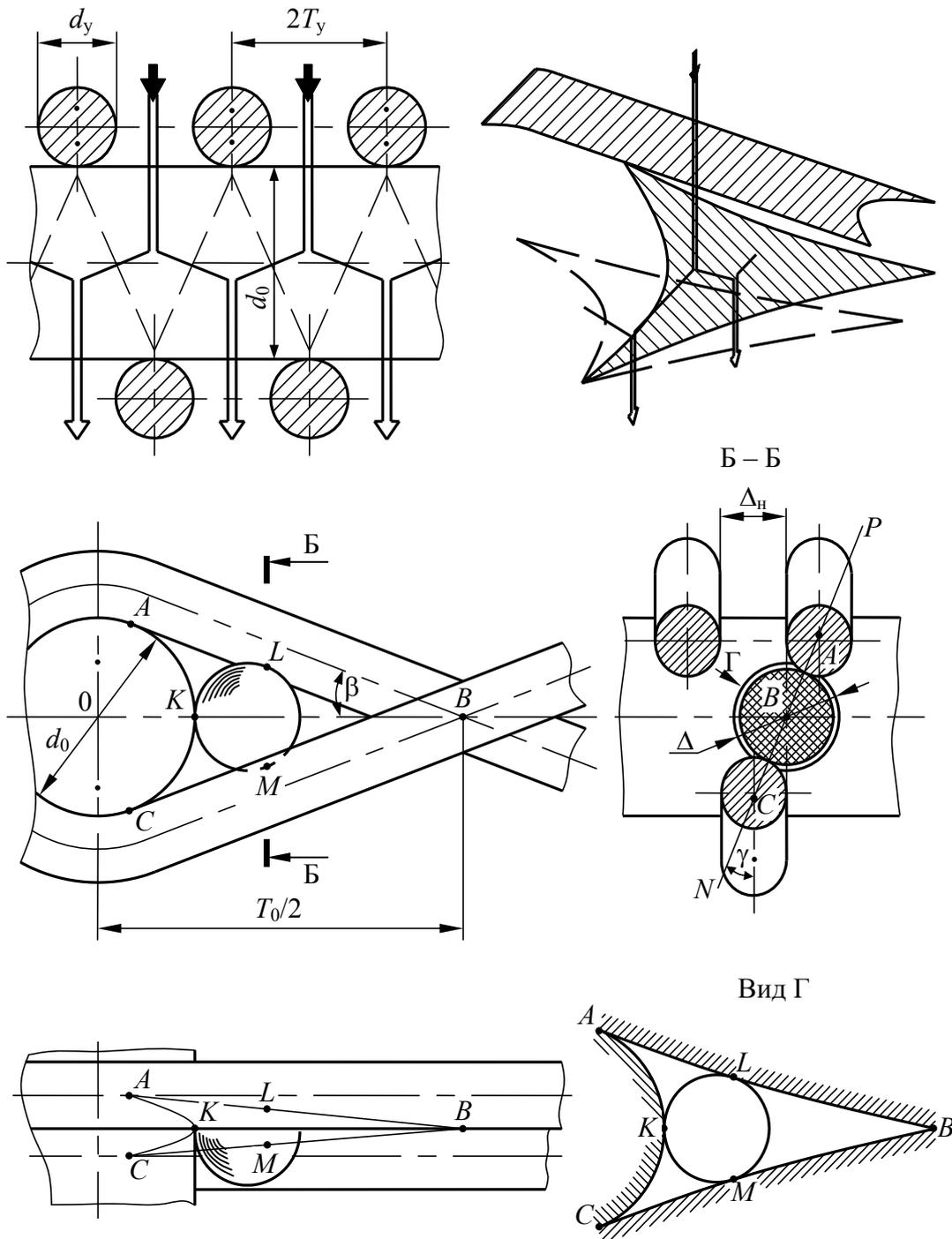


Рис. 1. Геометрия сеток полотняного переплетения
Fig. 1. Geometry of plain weave mesh

Существующие расчетные методы оценки очистительной способности (тонкости отсева и полноты отсева) ТФС очень трудоемки и требуют численных методов расчета [2]. В статье изложена упрощенная методика оценки разделительной способности сеток полотняного переплетения. Реализуемые в работе [5] подходы к идентификации самого узкого сечения ТФС в форме косоугольного треугольника трансформированы на нахождение тонкости отсева через параметры прямолинейного треугольника. Для этой цели предлагается найти поправки к криволинейному треугольнику для преобразования его в объект, имеющий с ним одинаковое проходное сечение, идентифицируемое вписанной окружностью одного и того же диаметра.

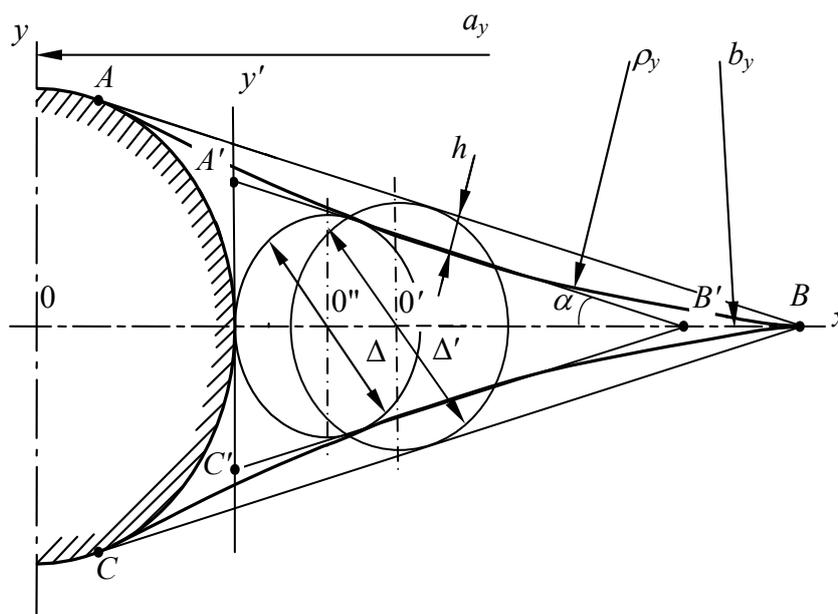


Рис. 2. Схема идентификации функциональных показателей сеток
Fig. 2. Driving identify functional indicators plain

Тонкость отсева ТФС, которую можно назвать условной, определяется по каналам в форме треугольника ABC с прямолинейными сторонами (рис. 2). Она соответствует величине

$$\Delta' = d_0 \left[\frac{\cos \beta}{\cos \gamma} - (1 - \sin \beta) \operatorname{tg} \alpha \right] \operatorname{tg} \left(\frac{90 - \alpha}{2} \right). \quad (1)$$

Для более точного вычисления показателя тонкости отсева использовали поправку

$$\delta \Delta = 2h \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{90 - \alpha}{2} \right)}{\cos \alpha}.$$

В итоге тонкость отсева внутреннего фильтровального канала ТФС в самом узком его сечении в форме криволинейного треугольника ABC составляет

$$\Delta = \Delta' - \delta \Delta = d_0 \left[\frac{\cos \beta}{\cos \gamma} - (1 - \sin \beta) \operatorname{tg} \alpha \right] \operatorname{tg} \left(\frac{90 - \alpha}{2} \right) - 2h \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{90 - \alpha}{2} \right)}{\cos \alpha}. \quad (2)$$

Расчет угла γ осуществляется по координатам точек касания шара проволок утка и основы с использованием половинного угла β в пересечениях нитей (проволок) утка:

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{d_y}{d_o \cos \beta}\right), \quad \beta = \arcsin\left(\frac{d_o + d_y}{T_o}\right),$$

где d_o, d_y, T_o – диаметр нитей основы и утка, шаг основы, мкм.

Выделенный фильтровальный участок наглядно представлен на рис. 1 [2]. Внутренний задерживающий канал идентифицируется поперечным сечением нитей основы под углом γ плоскостью PBN . Преобразование криволинейного треугольника ABC в равноценный ему по тонкости отсева равнобедренный $\Delta A'B'C'$ с прямолинейными сторонами осуществляется несколькими приемами (см. рис. 2).

Вписанный в криволинейный ΔABC равнобедренный треугольник $A'B'C'$ имеет в вершине B' угол 2α , половинная величина которого определяется на основе геометрии криволинейной внутренней поры:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left[\frac{\cos \beta}{\cos \gamma \left(\frac{T_o}{d_o} - \sin \beta\right)}\right].$$

Самый простейший метод определения абсолютной тонкости отсева состоит в учете выпуклости сторон криволинейного треугольника, которая сужает условный просвет прямолинейного ΔABC . Вписанная в него окружность определяет условную тонкость отсева Δ' без учета кривизны сторон треугольника. Поправку h на выпуклость линии AB находим по известному соотношению [2] между диаметром $2\rho_y$ окружности (дуги $\overset{\cup}{AB}$) и полухордами $S_{AB}/2$:

$$h = \rho_y - \sqrt{\rho_y^2 - \left(\frac{S_{AB}}{2}\right)^2}, \quad (3)$$

где $S_{AB} = \frac{d_o \cos \beta}{2 \cos \gamma \sin \alpha}$, $\rho_y = \frac{d_y}{2} + \frac{2T_o^2 \cos^2 \beta}{\pi^2 d_y}$.

Другой подход к идентификации тонкости отсева ТФС состоит в нахождении точек касания K, L, M цилиндров основы и утка шаром наибольшего диаметра, проходящего через криволинейный треугольник ABC (см. рис. 1) и попадающего в фильтр. Точки, образующие наименьшее сечение канала, через который пройдет шар с $d = \Delta$, лежат в плоскости KLM . Исходя из геометрии фильтровальных сеток полотняного переплетения, целесообразно рассмотрение задерживающей способности внутреннего канала в самом узком его сечении, образованном криволинейным треугольником ABC в плоскости PBN (см. рис. 1).

Тонкость отсева равна диаметру вписанной в криволинейный треугольник ABC окружности. При этом сторона AC рассматривается как часть эллипса, образованного сечением цилиндра основы плоскостью PBN под углом γ . При размещении начала координат в точке пересечения плоскости с осью цилиндра основы уравнение отрезка AC можно записать следующим образом:

$$x^2 + y^2 \cos^2 \gamma - \left(\frac{d_0}{2}\right)^2 = 0. \quad (4)$$

Для описания кривых AB и BC используется уравнение окружности. Привязка их к принятой системе координат позволяет описывать данные кривые следующим уравнением:

$$x^2 + y^2 - 2a_y x - 2b_y y + a_y^2 + b_y^2 - \rho_y^2 = 0, \quad (5)$$

где $a_y, \pm b_y$ – координаты центров кривизны кривых AB и BC ; ρ_y – радиус кривизны.

Учитывая, что рассматривается четвертая часть витка винтовой линии, можно допустить равенство радиуса винтовой линии и дуги, образуемой сечением цилиндра утка плоскостью PBN . В таком случае стороны криволинейного треугольника, примыкающего к проволокам утка, являются дугами окружности радиуса ρ_y . Расположение точек A, B и C известны. Они лежат на соответствующих окружностях. Координаты a_y и b_y находим совместным решением двух уравнений, полученных из (5) при подстановке вместо x и y соответствующих значений координат x_A, y_A и $x_B, y_B = 0$ точек A и B . Совместное рассмотрение их и преобразование позволяет исключить параметр b_y и получить квадратичное уравнение, решение которого относительно a_y приводит к результату:

$$a_y = \frac{\frac{T_0}{2} + \frac{\left(T_0^2 - d_0^2 \sin^2 \beta - \frac{d_y^2}{\sin^2 \gamma}\right)(T_0 - d_0 \sin \beta)}{\frac{4d_y^2}{\sin^2 \gamma}} + \sqrt{\left[\frac{\frac{T_0}{2} + \frac{\left(T_0^2 - d_0^2 \sin^2 \beta - \frac{d_y^2}{\sin^2 \gamma}\right)(T_0 - d_0 \sin \beta)}{\frac{4d_y^2}{\sin^2 \gamma}}\right]^2 - \left[1 + \frac{T_0 - d_0 \sin \beta}{\frac{d_y}{\sin \gamma}}\right]^2 \left[\left(\frac{T_0^2 - d_0^2 \sin^2 \beta - \frac{d_y^2}{\sin^2 \gamma}}{\frac{4d_y}{\sin \gamma}}\right)^2 + \frac{T_0^2}{4} - \rho_y^2\right]}}{1 + \frac{T_0 - d_0 \sin \beta}{\frac{d_y}{\sin \gamma}}}$$

Переход от a_y к параметру b_y осуществляется путем раскрытия их связи, полученной при начальном рассмотрении вариантов уравнения (5), реализованных через координаты точек A и B . Ординату центра окружностей с дугами AB и BC находим по выражению

$$b_y = \frac{\frac{d_0}{4} \sin^2 \beta - \frac{T_0^4}{4} + \frac{d_y^2}{4 \sin^2 \gamma}}{\frac{d_y}{\sin \gamma}}.$$

Из условий решения уравнения (5) для окружности с удлинненным на $\Delta/2$ радиусом, проходящей через центр O'' с координатами $x_{0''} = \frac{d_0}{2} + \Delta$, $y_{0''} = 0$, получаем формулу для расчета тонкости отсева тканых сеток через параметры их геометрии:

$$\Delta = \frac{a_y^2 + b_y^2 - \rho_y^2 - a_y d_0 + 0,25d_0^2}{\rho_y + a_y + 0,5d_0}. \quad (6)$$

Сравнение различных методик расчета тонкости отсева проводилось на отечественных и зарубежных ТФС прямого и обратного полотняного переплетения (таблица) с широкой гаммой фильтровальных показателей. Сетки обратного полотняного переплетения характеризуются тем, что у них тонкость отсева внутреннего задерживающего участка выше наружного¹. Следовательно, у этих сеток рассматриваемые показатели находятся в соотношении $\Delta < \Delta_n$.

Сетки с наружным расположением самого узкого сечения фильтровального канала, формируемого размером $d_y = \Delta_n$, чаще всего имеют тонкость отсева наружного фильтровального участка, близкую к значению внутреннего ($\Delta = 1,1\Delta_n$). Хотя имеются ТФС этого класса, у которых показатель Δ внутреннего участка значительно выше Δ_n наружного.

В таблице приведены экспериментальные Δ_3 и расчетные значения тонкости отсева Δ_1 , Δ_2 внутреннего задерживающего участка сеток, рассчитанные соответственно по формулам (2), (6). Показатель Δ_3 получен численным моделированием тонкости отсева по модели [2].

Результаты расчета тонкости отсева сеток полотняного переплетения
The results of calculation of the subtleties of dropouts plain weave plain

				Показатели тонкости отсева, мкм				
	d_0	d_y	T_0	Δ_3	Δ_n	Δ_1	Δ_2	Δ_3
Россия								
ОПВ-465	90	90	215	30	90	28,8	29,8	29,58
ОПВ-280	150	150	360	50	150	48,8	50,2	49,1
ПН-400	60	30	250	30	30	32,8	34,4	32,8
ПН-240	100	50	418	50	50	54,7	59	54,1
ПНМ-330	77	30	450	30	30	49,3	46,1	49,7
ПНМ-130	128	50	750	50	50	80,6	89,3	92,3
Н-300	60	60	370	40	60	42,8	46	42,8
П200	180	120	500	72	120	70,3	71,4	70,58
Англия								
280/70	210	90	363	42	90	39,2	44	41,9
Германия								
В35	110	35	250	37	35	35,5	36	36,1
В50	186	80	373	50	80	47,4	49,6	48,5
Франция								
280/1200	40	23,5	91	13	23,5	11,1	12,4	12,4
200/1000	40	28	127	18	28	17,7	21	17,7
100/700	70	40	254	35	40	33,6	35,2	35,5
80/560	90	50	317	44	50	42	44,3	43,6
60/400	120	60	423	60	60	56,2	59,5	59

¹ Рассматривается абсолютная тонкость отсева. Показатель Δ , характеризующий ее, соответствует диаметру частиц, задерживаемых с вероятностью 98 % при фильтровании суспензии через ТФС. Тонкость отсева и показатель Δ противоположно направлены. Поэтому с повышением тонкости отсева величина Δ уменьшается.

Если за эталон принять экспериментальное значение тонкости отсева (для сеток с внутренним задерживающим участком) и Δ_3 (для ТФС с внешним расположением самого узкого сечения фильтровального канала), то отклонение от него рассматриваемых показателей составляет 0,3–14,9 %.

В большинстве случаев расчетное значение тонкости отсева находится в поле рассеивания $\delta\Delta = 2\text{--}5$ мкм экспериментальных данных, определенных с доверительной вероятностью 95 %. Наибольшую погрешность расчета Δ по предлагаемой методике получены для сеток ПНМ-330 и ПНМ-130 с большим отношением (T_0 / d_0) шага нитей (проволок) от основы к ее диаметру. По точности расчета сравниваемые модели равноценны. Менее трудоемкий и самый простой расчет Δ реализуется по зависимости (2). Наибольшую точность дает модель, нацеленная на расчет показателя Δ_3 .

Выводы

1. Проведено исследование геометрии сеток полотняного переплетения, позволившее найти новые соотношения между параметрами прямо- и криволинейной поверхностей их поровых структур, которые позволяют значительно упростить идентификацию разделительной (отсеивающей) способности этих материалов.

2. Сопоставление расчетных, полученных по упрощенным моделям, и экспериментальных данных по тонкости отсева ТФС полотняного переплетения показало хорошую сходимость результатов определения разделительной способности этих ФМ. Расхождение показателей не превышает 15 %. Наиболее проста в реализации модель, полученная на базе трансформации поперечного сечения фильтровального канала в форме прямолинейного треугольника в криволинейный.

Список литературы

1. Кича, Г.П. Оптимизация и выбор параметров тканых сеток топливных и масляных самоочищающихся фильтров / Г.П. Кича, А.К. Артемьев, А.В. Надежкин // Двигателестроение. – 1984. – № 11. – С. 28–31.

2. Кича, Г.П. Идентификация разделительной способности тканых регенерируемых фильтровальных материалов нового поколения / Г.П. Кича, С.П. Бойко // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 3. – С. 132–139.

3. Кича, Г.П. Тканые сетки оптимизированной структуры саморегенерирующихся фильтров для систем тонкой очистки моторного масла судовых дизелей / Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, А.О. Варфоломеев // Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта: сб. науч. тр. – Владивосток: ДВГТУ, 2010. – Вып. 48. – С. 164–176.

4. Кича, Г.П. Новые тканые материалы для саморегенерирующихся фильтров систем топливо- и маслоочистки судовых энергетических установок / Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, В.В. Тарасов // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2009. – № 2. – С. 209–231.

5. Кича, Г.П. Оптимизация поровой структуры фильтровальных сеток для очистки горюче-смазочных материалов на судах / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Г.Г. Галстян // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 1. – С. 159–165.

6. Кича, Г.П. Новые инженерные решения в конструкциях саморегенерирующихся фильтров для очистки топлив и смазочных материалов на судах / Г.П. Кича, Н.К. Пак // Морские интеллектуальные технологии. – 2013. – № 1. – С. 56–61.

Сведения об авторе: Бойко Сергей Петрович, аспирант, e-mail: boykoland@mail.ru.

УДК 621.182.3:629.2–843.9

Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

**ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ И РАСХОДА ТОПЛИВА ГЛАВНЫМ
ДИЗЕЛЕМ 5ДКРН50/110-2 ТАНКЕРА ТИПА «КАЛИНИНГРАДНЕФТЬ»
С ГИДРАВЛИЧЕСКИ ОБЛЕГЧЕННЫМ ГРЕБНЫМ ВИНТОМ**

Приводятся уравнения винтовой и топливных характеристик, полигоны распределений мощности главного дизеля на режимах «переход» и «работа на промысле». Даются рекомендации по оптимизации мощности и расхода топлива главным дизелем в эксплуатации с гидравлически облегченным винтом.

Ключевые слова: *главный дизель, полигоны распределения мощности на режимах «переход» и «работа на промысле», топливные характеристики.*

L.K. Kapran, V.V. Manyisyn, Z.P. Starovoytova

**OPTIMIZATION OF POWER AND FUEL CONSUMPTION
MAIN DIESEL 5DKRN50 / 110-2 TANKERS «KALININGRADNEFT»
WITH HYDRAULIC RELIEF PROPELLER**

The equations screw and fuel characteristics, the main power distribution ranges on diesel mode "transition" and "work in the fishery." Are the recommendations of the optimization of power and fuel consumption, the main engine operation for hydraulic lightweight rotor.

Key words: *main diesel engine, screw, fuel characteristics, specific fuel consumption.*

Введение

Проблема повышения эффективности технической эксплуатации главных дизелей (ГД) до настоящего времени является предметом исследований научно-исследовательских и проектных организаций и относится к весьма актуальным. Решение этой проблемы предусматривает исследования, направленные на сокращение затрат на горюче-смазочные материалы за счет оптимизации режимов работы ГД.

Цель оптимизации мощности и расхода топлива главным дизелем 5ДКРН 50/110-2 – повышение эффективности его эксплуатации.

Общие сведения

Танкер «Калининграднефть» является головным судном, построенным в Финляндии, который предназначен для перевозки горюче-смазочных материалов в районы промысла и снабжения ими добывающих и обрабатывающих судов.

Основные характеристики судна:

Наибольшая длина, м 115,5;
Ширина, м 17;
Дедвейт, т 5873;
Водоизмещение полное, т 8913;
Скорость судна, м/с (уз) 7,56 (14);
Экипаж, чел. 32.

На танкере типа «Калининграднефть» в качестве главного дизеля установлен малооборотный дизель типа 5ДКРН 50/110-2, двухтактный, крейцкопфный, реверсивный с наддувом при постоянном давлении газов перед турбиной.

Номинальная мощность ГД 2574 кВт, номинальная частота вращения 170 мин⁻¹, удельный расход топлива 224,4 г/(кВт·ч). Топливная система ГД позволяет ему работать на тяжелом топливе.

На головном танкере «Калининграднефть» был установлен 4-лопастной винт фиксированного шага с номинальным диаметром $D = 3,7$ м и шагом $S = 2,94$ м, который оказался «тяжелым» в эксплуатации, поэтому на танкерах последней постройки «Лукоморье», «Усть-Ижма» финская фирма «Раума-Репола» установила гребные винты гидравлически облегченные за счет уменьшения шага винта на 0,11 м ($D = 3,7$ м, $S = 2,83$ м). Шаг винта – это расстояние, на которое перемещается винт за один оборот.

В этой статье приведены результаты исследования по сокращению расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2 с гидравлически облегченным винтом за счет уменьшения шага гребного винта с $S = 2,94$ м до $S = 2,83$ м.

Определение текущей мощности ГД в эксплуатации

В связи с тем, что ГД 5ДКРН 50/110-2 с прямой передачей крутящего момента на винт фиксированного шага не обеспечен приборами автоматической регистрации мощности, оценка ее производится по косвенным показателям, которые фиксируются по истечении каждого часа в вахтенном машинном журнале. В качестве косвенного показателя принята частота вращения коленчатого вала дизеля. Для перехода от частоты вращения коленчатого вала ГД к его мощности используется их зависимость. Такая зависимость называется винтовой характеристикой дизеля.

Винтовая характеристика дизеля в аналитической форме с достаточной точностью рассчитывается в виде кубической параболы $\overline{N_e} = c \cdot n^3$, где $\overline{N_e} = \frac{N_e}{N_{ном}}$, n – частота вращения коленчатого вала; c – коэффициент пропорциональности, который определяется по результатам стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2 на тяжелом топливе (флотский мазут Ф-5), приведенных в табл. 1.

Используя данные стендовых испытаний (табл. 1) и метод наименьших квадратов, получен коэффициент $c = 2,03 \cdot 10^{-7}$. Тогда

$$\overline{N_e} = 2,03 \cdot 10^{-7} n^3.$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,48 % и показывает хорошее соответствие эмпирических и теоретических данных.

Таблица 1

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2

Table 1

Results of bench tests of the ME 5 ДКРН 50/110 – 2

Эффективная мощность, кВт	257,4	514,8	772,2	1030	1287	1544,4	1802	2059	2317	2574
Относительная мощность $\overline{N_e}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Частота вращения коленчатого вала n , мин ⁻¹	80	100	115	126	135	143	150	158	165	170

Графики эмпирической и теоретической $\overline{N_e} = 2,03 \cdot 10^{-7} n^3$ зависимостей относительной мощности $\overline{N_e}$ ГД от частоты вращения коленчатого вала n представлены на рис. 1.

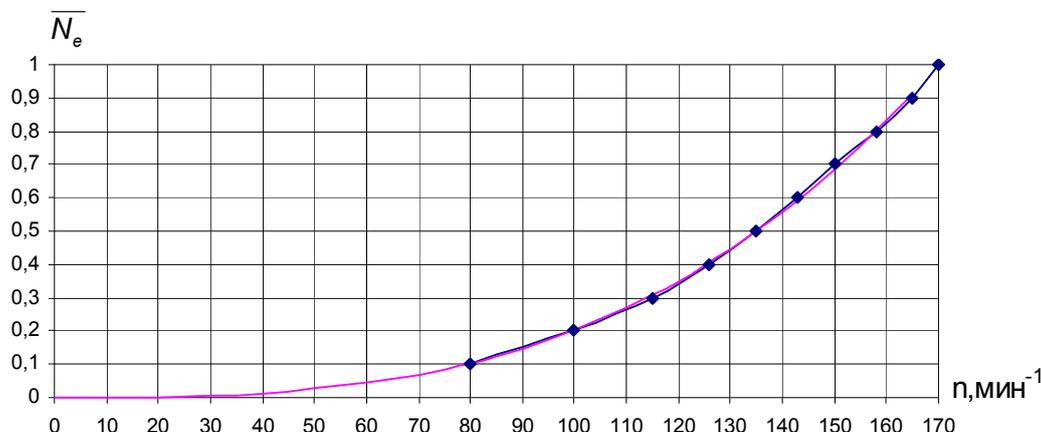


Рис. 1. Винтовая характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2
Fig. 1. Propeller characteristics of main engine 5DKRN 50/110-2

Режимы эксплуатации танкера и расчет параметров распределения мощности ГД на этих режимах

Характерными режимами эксплуатации танкера являются «переход в район промысла», «работа на промысле», «переход в порт». Параметры распределения мощности ГД для указанных режимов эксплуатации получены для танкеров, имеющих гидравлически облегченные винты. При этом статистические данные по мощности ГД для режимов «переход на промысел» и «переход в порт» объединены в одну группу.

Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 с гидравлически облегченным винтом танкеров «Приморье» и «Усть-Илимск» на режиме «переход» приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 с гидравлически облегченным винтом на режиме «переход»

Table 2

Statistical data on the distribution of power DG 5DKRN 50 / 110-2 with hydraulic screw lightweight mode to «transition»

Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	Продолжительность работы ГД t , ч	Относительная продолжительность работы ГД \bar{t}
0–0,10	0,05	6	0,0008
0,10–0,20	0,15	42	0,0058
0,20–0,30	0,25	0	0,0000
0,30–0,40	0,35	60	0,0083
0,40–0,50	0,45	96	0,0133
0,50–0,60	0,55	2080	0,2878
0,60–0,70	0,65	3570	0,4939
0,70–0,80	0,75	1374	0,1901
0,80–0,90	0,85	0	0
0,90–1,00	0,95	0	0
Итого:		7228	1,000

По данным табл. 2 построен полигон распределения мощности ГД с гидравлически облегченным винтом на режиме «переход» (рис. 2).

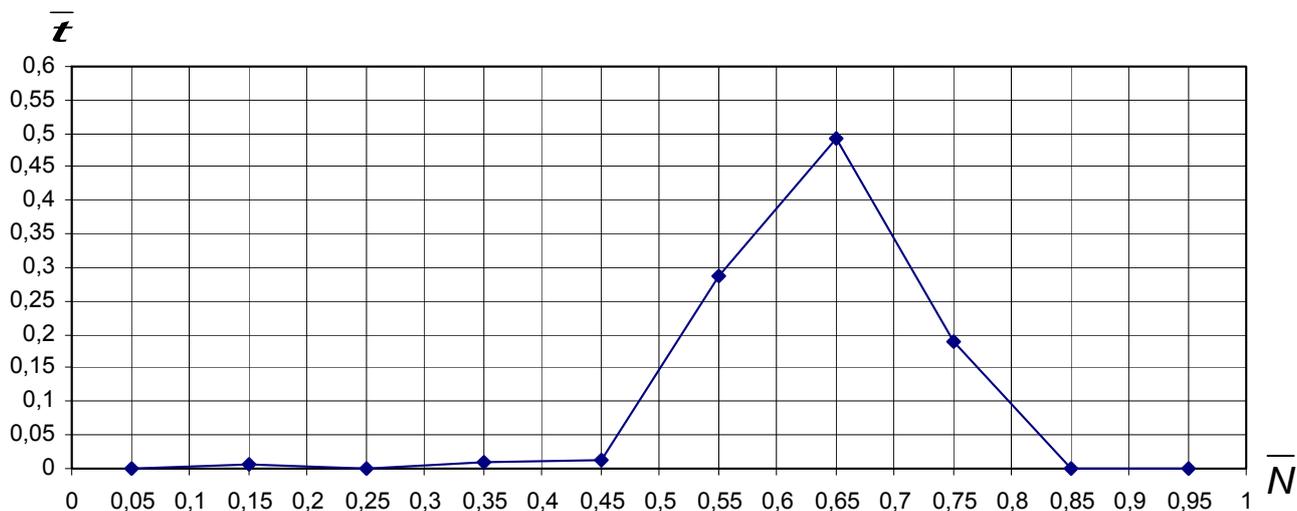


Рис. 2. Полигон распределения мощности ГД с гидравлически облегченным винтом на режиме «переход»
 Fig. 2. Polygon power distribution DG hydraulically lightweight screw on regime «transition»

На режиме «переход» ГД 99 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся от 0,45 до 0,75 от номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $\bar{N}_c = 0,63$ и среднеквадратическим отклонением $\bar{\sigma} = 0,087$. Характер распределения мощности ГД, как видно из полигона распределения, одномодальный. Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «переход» составляет от 1403,7 кВт до 1850,26 кВт.

$$((\bar{N}_c - \sigma) \cdot N_{ном}; (\bar{N}_c + \sigma) \cdot N_{ном}).$$

Опыт эксплуатации танкеров с гидравлически облегченным гребным винтом ($D = 3,7$ м, $S = 2,83$ м) и расчет параметров распределения мощности дизеля показали, что такой винт не позволяет использовать полностью мощность ГД на режиме «переход».

Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН50/110-2 танкеров «Лукоморье» и «Усть-Ижма» с гидравлически облегченным винтом на режиме «работа на промысле» приведены в табл. 3.

По данным табл. 3 построен полигон распределения мощности ГД с гидравлически облегченным винтом на режиме «работа на промысле» (рис. 3).

Режим «работа на промысле» характеризуется малой мощностью ГД и имеет двухмодальное распределение. ГД 58 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся в интервале от 0,05 до 0,20 и 24 % времени – в интервале от 0,45 до 0,75. При этом среднее значение относительной мощности $\bar{N}_c = 0,28$ и среднее квадратическое отклонение $\bar{\sigma} = 0,25$.

Интервал отклонения мощности на режиме «работа на промысле» от ее среднего значения составляет от 77,22 до 1364,22 кВт.

Такое отклонение объясняется спецификой работы танкеров, которые не только производят выгрузку топлива промышленным судам на малых ходах, но и совершают переходы в районе промысла.

Таблица 3

**Статистические данные по распределению мощности ГД
на режиме «работа на промысле»**

Table 3

Statistical data on distribution of capacity of GD on a mode «work on trade»

Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	Продолжительность работы ГД t , ч	Относительная продолжи- тельность работы ГД \bar{t}
0,00–0,10	0,05	1339	0,3870
0,10–0,20	0,15	667	0,1928
0,20–0,30	0,25	91	0,0263
0,30–0,40	0,35	144	0,0416
0,40–0,50	0,45	236	0,0682
0,50–0,60	0,55	398	0,1150
0,60–0,70	0,65	417	0,1205
0,70–0,80	0,75	168	0,0486
Итого:	-	3460	1,000

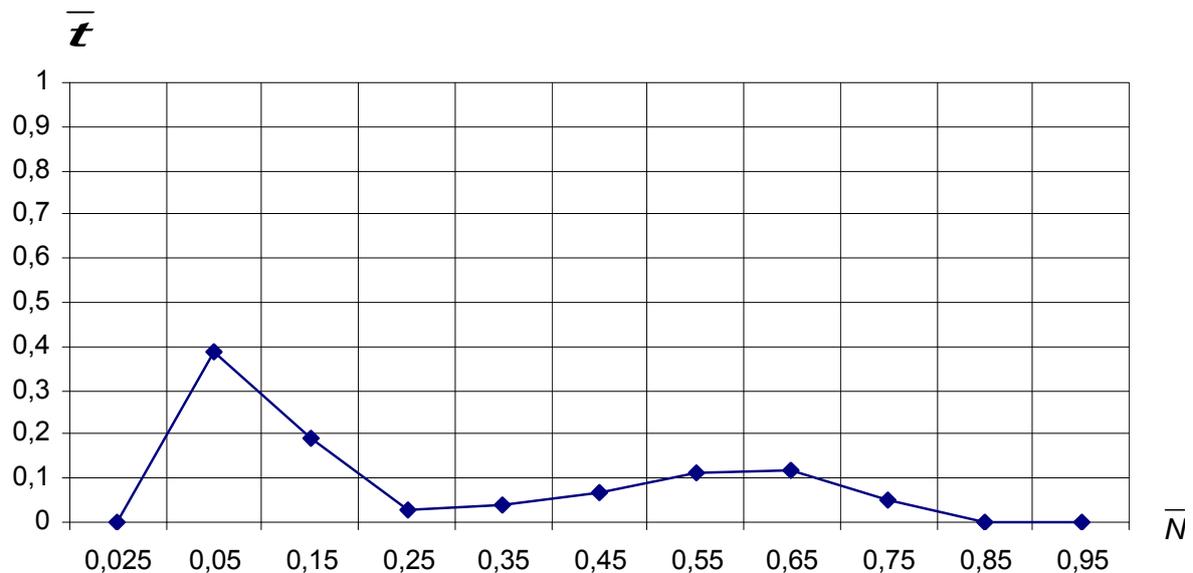


Рис. 3. Полигон распределения мощности ГД на режиме «работа на промысле»
Fig. 3. The range of distribution of capacity of GD on a mode «work on trade»

Расчет расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2

В эксплуатации текущая эффективная мощность ГД носит случайный характер. Она изменяется во времени в зависимости от режима эксплуатации, от условий внешних факторов и от состояния пропульсивного комплекса. Поэтому в основу расчета расхода топлива положен вероятностно-статистический метод обработки фактической мощности ГД. Этот метод наиболее полно учитывает многообразие внешних факторов, влияющих на элементы судового комплекса.

Для расчета расхода топлива необходима топливная характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2. Топливная характеристика дизеля – это зависимость часового расхода топлива от его мощности, определяется по результатам стендовых испытаний.

Для расчета коэффициентов топливной характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2 использовались результаты стендовых испытаний, которые приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2

Table 4

Results of bench tests of the ME 5ДКРН 50/110-2

Эффективная мощность N_e , кВт	Относительная мощность \bar{N}	Часовой расход топлива G_T , кг/ч	Относительный часовой расход топлива \bar{G}	Удельный расход топлива g_e , кг/(кВт·ч)
334,62	0,13	119,6	0,207	0,3574
1055,34	0,41	272,7	0,472	0,2585
1673,1	0,65	387,3	0,670	0,2315
2213,64	0,86	478,4	0,828	0,2161
2496,78	0,97	551,4	0,955	0,2208
2574	1,00	577,5	1,00	0,2244

$N_n = 2574$ кВт – номинальная мощность ГД; $G_n = 577,5$ кг/ч – номинальный часовой расход топлива ГД; $\bar{G} = \frac{G_T}{G_n}$ – относительный часовой расход топлива дизеля; $\bar{N} = \frac{N_e}{N_n}$ – относительная мощность дизеля; $g_e = \frac{G}{N_e}$ – удельный расход топлива ГД.

Зависимость относительного часового расхода топлива от относительной мощности можно представить графически (рис. 4) или в аналитической форме в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов, используя данные табл. 4.

$$\bar{G} = 0,02\bar{N}^2 + 0,86\bar{N} + 0,1.$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,97 %, что говорит о хорошем приближении эмпирических данных к теоретическим. На рис. 4 изображены эмпирическая и теоретическая линии топливной характеристики ГД, и они практически совпали.

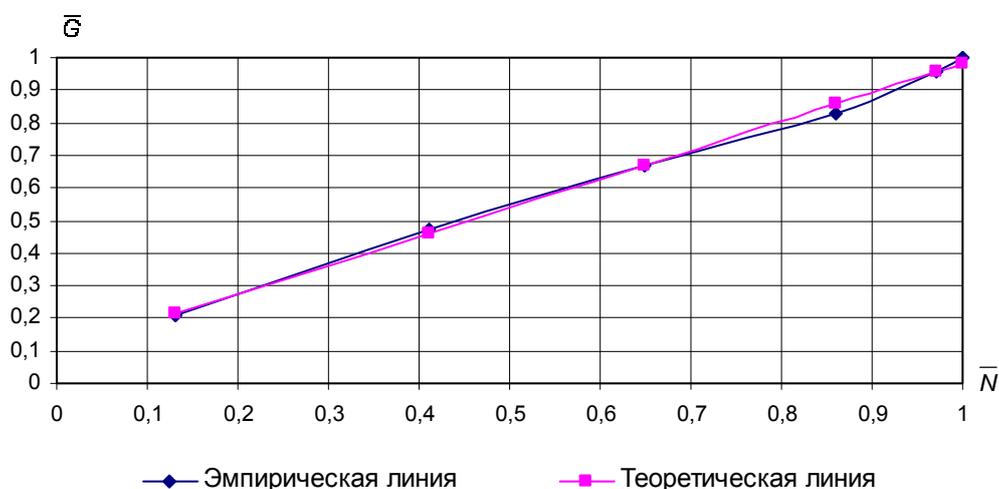


Рис. 4. Топливная характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2
Fig.4. Main engine fuel oil characteristics ME 5ДКРН 50/110-2

На основании топливной характеристики ГД и параметров распределения мощности на основных режимах эксплуатации танкера «Калининграднефть» с гидравлически облегченным винтом определен расход топлива. Результаты расчета параметров мощности и расхода топлива для ГД 5ДКРН 50/110-2 на режимах «переход» и «работа на промысле» приведены в табл. 5.

Экономия топлива в сравнении с плановым расходом достигается за счет фактической мощности ГД на основных режимах работы танкера.

Таблица 5

**Параметры мощности и расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110–2
на режимах «переход» и «работа на промысле»**

Table 5

**Power rating and fuel oil consumption of the ME 5 ДКРН 50/110–2
in the «passage» and «fishing» modes**

Наименование	Режим «переход»	Режим «работа на промысле»
Число наблюдений, ч	7228	3460
Средняя относительная мощность	0,63	0,28
Среднеквадратическое отклонение	0,087	0,25
Средний часовой расход топлива, кг/ч	376,9	178,57
Средний суточный расход топлива, т/сут	9,05	4,29

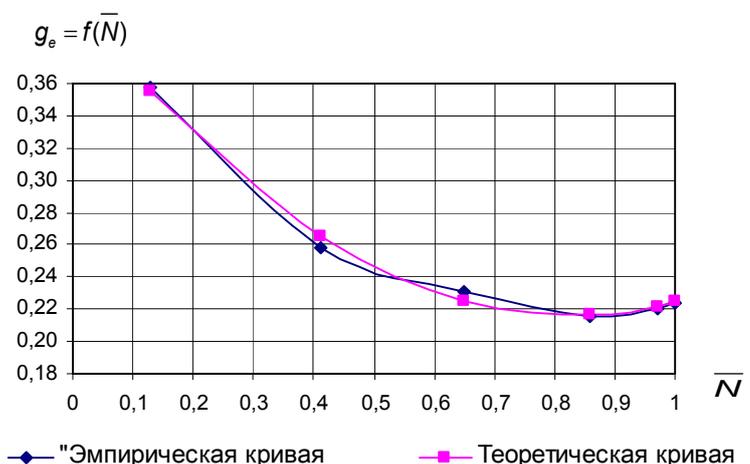
Определение предпочтительной мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 по минимальному удельному расходу топлива

Повышением эффективности технической эксплуатации ГД танкера является оптимизация эксплуатационной мощности и расхода топлива, что приведет к снижению часового расхода топлива, зависящего от его удельного расхода и мощности, развиваемой ГД.

Зависимость удельного расхода топлива от относительной мощности ГД найдена по данным стендовых испытаний (см. табл. 4), построив график эмпирической кривой (рис. 5), теоретическую зависимость находим в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов.

$$g_e(\bar{N}) = 0,29\bar{N}^2 - 0,48\bar{N} + 0,4.$$

Рис. 5. Графики зависимости удельного расхода топлива от относительной мощности
Fig. 5. Curve of relative power dependence on specific fuel oil consumption for main engine



Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,18 %, что говорит о хорошем приближении.

Условием минимума функции $g_e(\bar{N})$ являются равенство нулю ее производной. Решением уравнения $g'_e(\bar{N}) = 0,58\bar{N} - 0,48 = 0$ является $\bar{N} = 0,83$, а удельный расход топлива при этом 0,2014 кг/(кВт·ч) – это минимальное значение функции.

Если принять значение функции, описывающей удельный расход топлива, равное 0,22 кг/(кВт·ч), т.е. $g_e(\bar{N}) = 0,22$, то область изменения предпочтительной относительной мощности ГД будет находиться в пределах мощности от 0,7 до 0,9 номинальной мощности. Эффективная мощность при этих значениях будет изменяться от 1478 до 2574 кВт при соответствующих параметрах гребного винта, а минимальные значения удельного расхода топлива будут составлять от 0,2014 до 0,22 кг/(кВт·ч). Эффективная мощность при этом изменится от 1802 до 2316,6 кВт.

Список литературы

1. Определение индивидуальных технически обоснованных норм расхода ГСМ СЭУ танкера типа «Оханефть»: отчет о НИР (промежуточ.) / Дальрыбвтуз; рук. Маницын В.В.; Музалевский Н.В. – Владивосток, 1986. – 82 с. – № ГР 01860044670. – Инв. № 0287.0016466.

2. Наливные суда флота рыбной промышленности. – Клайпеда: Клайпедское отделение Гипрорыбфлота, 1987. – 281 с.

Сведения об авторах: Маницын Владимир Викторович, профессор;
Капран Людмила Кузьминична, доцент;
Старовойтова Зоя Павловна, доцент.

УДК 629.12.066–52

В.В. Кирюха

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТОУПРУГИХ И ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Рассматриваются вопросы контроля деформаций, возникающих в конструкциях, испытывающих значительные силовые воздействия (строительные конструкции, элементы корпуса судна). Контроль производится с помощью датчиков с использованием магнитоупругих и тензорезисторных преобразователей. Предлагаются конструкции датчиков, позволяющие с достаточно высокой точностью оценивать влияние этого явления на прочность сооружений. Дается оценка эффективности использования датчиков в конкретных системах на основе лабораторных модельных исследований.

Ключевые слова: деформация, сила, воздействие, датчик, тензорезистор, магнитоупругий преобразователь.

V.V. Kiryuha

MONITORING AND MEASURING DEFORMATION AND STRAIN USE MAGNETOELASTIC CONVERTERS

The article deals with the control of deformations occurring in structures experiencing significant force (building construction, hull elements). Control is done with the help of sensors using magneto and strain gauge transducers. Available sensor design, enabling a high accuracy to assess the impact of this phenomenon on the strength of structures. The evaluation of the effectiveness of the use of sensors in specific systems based on laboratory model studies.

Key words: deformation, strength, impact sensor, gage, magnetoelastic transducer.

При модельных испытаниях и эксплуатации конструкций, испытывающих значительные деформирующие воздействия (строительные конструкции, мосты, элементы корпуса судна), представляют интерес вопросы контроля и измерения деформации с помощью измерительных преобразователей. Целью настоящей работы является анализ использования для цепей контроля магнитоупругих и тензорезистивных преобразователей и выработка рекомендаций по оптимальному построению датчиков на основе таких преобразователей.

Работа магнитоупругого преобразователя основана на магнитоупругом эффекте. Магнитоупругий эффект заключается в изменении магнитной индукции в ферромагнитных материалах при воздействии на них внешней силой. Если на намагниченный образец ферромагнитного тела воздействовать механической силой, то тело деформируется, и индукция в материале изменяется. Явление имеет упругий характер. Если прекратить внешнее силовое воздействие, то индукция примет прежнее значение. Поскольку магнитная проницаемость вещества определяется по формуле

$$\mu_{\alpha} = \mu_2 \cdot \mu_0 = \frac{B}{H}, \quad (1)$$

то при заданной напряженности поля H изменение индукции B эквивалентно изменению магнитной проницаемости.

Это свойство ферромагнитных тел применяется для преобразования механической силы в электрическую величину.

На основе магнитоупругого эффекта построены магнитоупругие преобразователи. Схематично возможные конструкции таких преобразователей показаны на рис. 1.

На рис. 1, б показана схематическая конструкция трансформаторного магнитоупругого преобразователя. При воздействии силы F вследствие изменения магнитной проницаемости изменяется взаимная индуктивность между обмотками, что приводит к изменению ЭДС вторичной обмотки. Изменение магнитной проницаемости при воздействии внешней силы носит нелинейный характер. Однако при небольших механических напряжениях можно считать, что относительное изменение магнитной проницаемости пропорционально внешнему воздействию:

$$\eta = \frac{\Delta\mu}{\mu_{2ном}} = S_\mu \cdot \tau, \quad (2)$$

где $\Delta\mu = \mu_2 - \mu_{2ном}$, μ_2 – значение магнитной проницаемости при внешней вынуждающей силе σ , $\mu_{2ном}$ – номинальная магнитная проницаемость при механическом напряжении $\sigma = 0$ (при отсутствии внешнего воздействия); σ – механическое напряжение (соответствует внешней силе); S_μ – чувствительность материала.

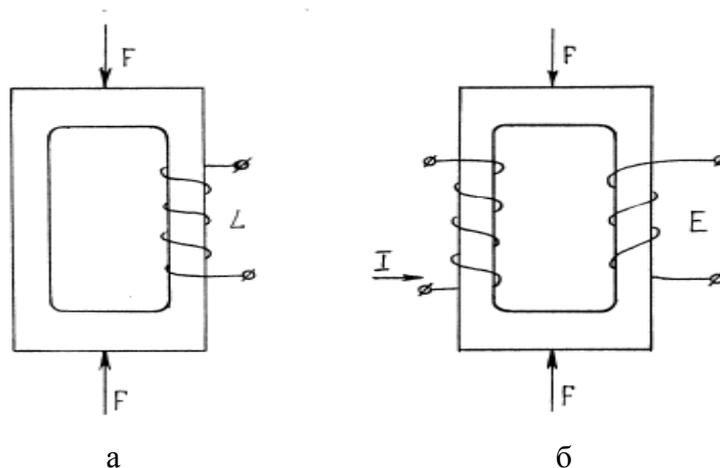


Рис. 1. Магнитоупругие преобразователи: а – простой; б – трансформаторный
 Fig. 1. Magnetoelastic Converters: a – simple; б – transformer

Магнитная проницаемость $\mu_{2ном}$ зависит от напряженности поля H . Для увеличения $\Delta\mu$ магнитоупругие преобразователи используются при таких значениях напряженности поля, при каких значение $\mu_{2ном}$ максимально.

Для использования в магнитоупругих преобразователях используются материалы и сплавы, имеющие большое значение чувствительности S_μ . Наибольшую чувствительность имеют железоникелевые сплавы, меньшую – железокобальтовые и кремниевые стали. Чувствительность наиболее часто применяемых материалов лежит в пределах $(8 \div 1) \cdot 10^{-9}$ м²/Н. Для увеличения чувствительности магнитоупругих датчиков их магнитопроводы изготавливаются из цельного материала без воздушных зазоров, так как воздушные зазоры резко увеличивают полное магнитное сопротивление сердечника и уменьшают чувствительность преобразователя.

Магнитоупругие преобразователи наиболее целесообразно включать в мостовые измерительные цепи для снижения погрешностей. В плечо, смежное с измерительным преобразователем, включается такой же преобразователь для компенсации аддитивных погрешностей.

Функция преобразования магнитоупругих преобразователей нелинейная. Для уменьшения нелинейности применяют магнитоанизотропные материалы, имеющие различную магнитную проницаемость в различных направлениях. Такие материалы получают в результате специальной технологической обработки –ковки, протяжки, прокатки. Применение этих мер позволяет уменьшить погрешность от нелинейности до 1,5–2 %.

Магнитоупругие преобразователи имеют функцию преобразования, схожую с петлей гистерезиса, т.е. функция преобразования при увеличении нагрузки отличается от функции преобразования при снижении нагрузки. Для уменьшения этой погрешности применяют материалы с малой петлей магнитного гистерезиса. Погрешность, обусловленная гистерезисом, уменьшается после «тренировки» преобразователя. Тренировка производится многократным (до 10 раз и более) нагружением преобразователя силой, соответствующей пределу изменения преобразователя.

Магнитоупругим преобразователям свойственно старение. При этом изменяется и магнитная проницаемость и внутреннее напряжение в материале преобразователя. Старение приводит к изменению электрических параметров и к снижению чувствительности преобразователя. Изменение характеристик замедляется после естественного (в течение нескольких месяцев) или ускоренного искусственного старения. Характеристики также стабилизируются после термической обработки магнитопровода.

Погрешность, вызванную изменением параметров, можно уменьшить применением дифференциальных схем включения. Таким образом, погрешность, обусловленную старением, можно уменьшить до величины в 0,5 %.

Работа тензорезисторных преобразователей основана на свойстве проводников изменять свое сопротивление при деформации сжатия-растяжения.

Тензорезистивными свойствами обладают все проводники. Практическое применение находят только те элементы и материалы, у которых это свойство выражено достаточно сильно. Наиболее часто применяются константановые тензорезисторы и полупроводниковые тензорезисторы на основе монокристаллов кремния или германия.

Тензорезисторы выполняются в виде пленок или тонких пластинок, содержащих тензорезистивный элемент. Внешний вид тензорезистора показан на рис. 2.

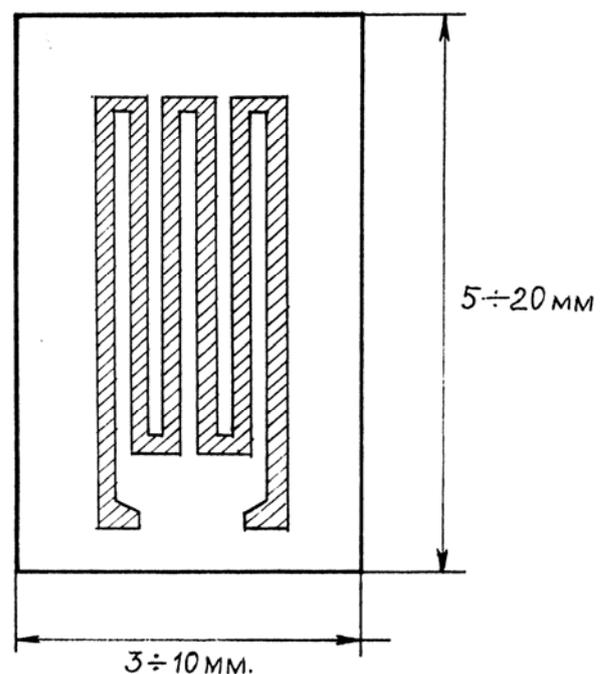


Рис. 2. Тензорезистор
Fig. 2. GAUGE This gauge

Толщина элементов решетки тензорезистора составляет от 4–5 мкм у пленочных до 20–50 мкм у проволочных тензопреобразователей. Полупроводниковые тензорезисторы имеют толщину 0,2–0,8 мм.

Зависимость сопротивления тензорезистора от величины внешней деформирующей силы описывается уравнением

$$R = R_o (1 + S_m \cdot k), \quad (3)$$

где R_o – сопротивление тензорезистора при отсутствии деформирующей силы; k – величина деформирующей силы; S_m – тензочувствительность материала тензорезистора.

Тензочувствительность различных материалов, применяемых для изготовления тензорезисторов, отличается в широких пределах. Тензочувствительность константана 2,0–2,1. Тензочувствительность германия 80,0–120,0. Однако у полупроводниковых тензоэлементов чувствительность сильно зависит от температуры.

Тензорезисторы выпускаются сопротивлением в десятки и сотни ом. В схему тензорезисторы включаются подобно другим резистивным элементам-датчикам. Наиболее удобно применять схему неравновесного моста. Принципиальная схема такого включения тензорезисторов показана на рис. 3.

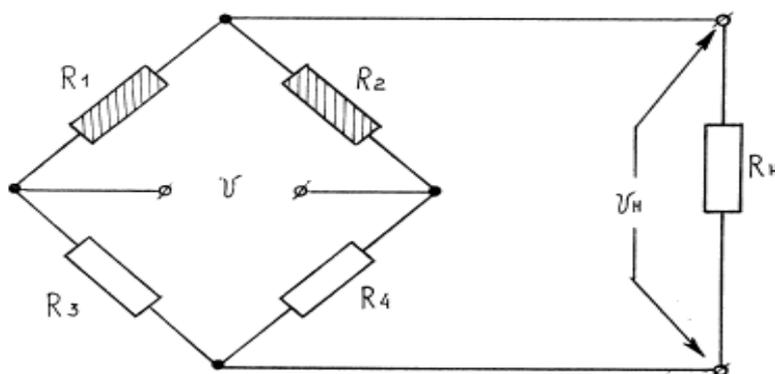


Рис. 3. Схема включения тензорезисторных преобразователей
Fig. 3. The scheme of inclusion of strain gauge transducers

При режимах, близких к холостому ходу (когда сопротивление нагрузки значительно превышает значение сопротивлений плеч моста), выходное напряжение может быть определено по формуле

$$U_H = \frac{UR_1}{R_1 + R_2} - \frac{UR_3}{R_3 + R_4} = U \left[\frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \right], \quad (4)$$

где R_1 и R_2 – сопротивление включенных тензорезисторов; R_3 и R_4 – сопротивление балластных резисторов моста.

При воздействии деформирующих сил сопротивление тензорезисторов R_1 и R_2 изменяется и выходное напряжение моста определяется формулой

$$U_H = \frac{U}{2} \cdot \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5)$$

Мостовая цепь является дифференциальной, поэтому в ней компенсируются аддитивные погрешности.

Тензорезистивные преобразователи применяются для измерения механических деформаций деталей и конструкций. Как правило, они приклеиваются к этим деталям и испытывают деформирующие усилия, такие же, как и сами детали. Кроме того, тензорезисторные преобразователи применяются для измерения механических величин, таких, как сила, давление, ускорение, при которых деформация является промежуточной величиной преобразования.

Недостатком тензорезисторных преобразователей является большой разброс параметров и характеристик, зависимость характеристик от внешних воздействий (температура, давление).

Растягивающее и сжимающее напряжение определяется как сила, действующая на единицу площади поперечного сечения материала, которая приводит к увеличению или уменьшению длины. Деформация определяется как изменение длины на единицу длины. Единицей изменения напряжения является паскаль (Па), а деформация не имеет размерности. Обычно делаются измерения деформации, а напряжение выводится из них.

В качестве чувствительного элемента можно с успехом использовать тензорезистор.

Тензорезистор приклеивается к поверхности испытываемого материала так, что при деформации его поверхности тензодатчик подвергается той же деформации. Эта деформация приводит к изменению сопротивления δR тензодатчика:

$$\frac{\delta R}{R} = G \times \text{деформация}, \quad (6)$$

где R – начальное сопротивление тензорезистора; G – постоянная величина для данного датчика, называемая тензометрическим коэффициентом.

Для большинства металлических проволочек или фольги, используемых для изготовления тензорезисторов, этот коэффициент примерно равен 2. Он определяется производителем тензорезисторов по калибровке, проведенной на партии тензорезисторов. Такая калибровка может включать наклейку тензорезисторов на испытываемый образец, подвергаемый растяжению, с определением деформации с помощью экстензометра. Другой метод заключается в использовании четырехточечного изгиба балки, к которой приклеены тензометры. При этом определяется радиус кривизны R балки по измерениям ее прогиба в средней точке и расстоянию y от тензорезистора до нейтральной оси балки. Важно при этом учесть толщину подложки тензорезистора и клеевого слоя. Тогда

$$\text{Деформация} = \frac{y}{R}. \quad (7)$$

Изменения температуры могут создать такие же измерения сопротивления тензорезистора, что и деформация. Эффекты влияния температуры можно компенсировать применением холостого датчика, который представляет собой этот тензорезистор, смонтированный на таком же материале и который не подвергается деформации, а просто расположен вблизи активного тензорезистора так, что на него действуют те же температурные изменения. Активный и холостой датчики включены в соседние плечи моста Уитстона. Таким образом, компенсируются эффекты температурных изменений.

Для некоторых материалов возможна температурная самокомпенсация. Материал датчика выбирается так, чтобы изменения его сопротивления с температурой компенсировали эффекты термического расширения материала, на котором этот датчик смонтирован.

Датчики деформации измеряют деформацию в направлении длины проволочного или фольгового элемента датчика. Если существуют одноосные напряжения, тензорезистор располагают вдоль этих осей.

Тогда

$$\text{Напряжение} = E \times \text{деформация}, \quad (8)$$

где E – модуль упругости материала, к которому прикреплен датчик.

Однако тензорезистор, расположенный на поверхности под прямым углом к этим одноосным напряжениям, также показал бы деформацию вопреки, казалось бы, отсутствию напряжений в этом направлении, величина которой была бы равна:

$$\text{Поперечная деформация} = -\nu \times \text{продольная деформация}, \quad (9)$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Если напряжение на поверхности является двухосным, действуют главные напряжения одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В этом случае требуется установка двух тензорезисторов под прямым углом друг к другу и ориентированных по направлениям главных напряжений:

$$\text{Напряжение в направлении } x = \frac{E(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y)}{1 - \nu^2}. \quad (10)$$

$$\text{Напряжение в направлении } y = \frac{E(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x)}{1 - \nu^2}, \quad (11)$$

где ε_x – деформация в направлении x ; ε_y – деформация в направлении y ; E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона.

Если направления главных напряжений неизвестны, необходимо использовать три тензорезистора, расположенных розеткой (рис. 4). Если датчики ориентированы под углом 45° и 90° друг к другу, то главные деформации ε_x и ε_y связаны с деформациями ε_1 , ε_2 , ε_3 , измеряемыми тремя датчиками как:

$$\varepsilon_1 = \left(\frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \right) + \left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right) \cos 2\theta, \quad (12)$$

где θ – угол между направлениями ε_1 и ε_y .

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \right) + \left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right) \cos 2(\theta + 45^\circ). \quad (13)$$

$$\varepsilon_3 = \left(\frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \right) + \left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right) \cos 2(\theta + 90^\circ). \quad (14)$$

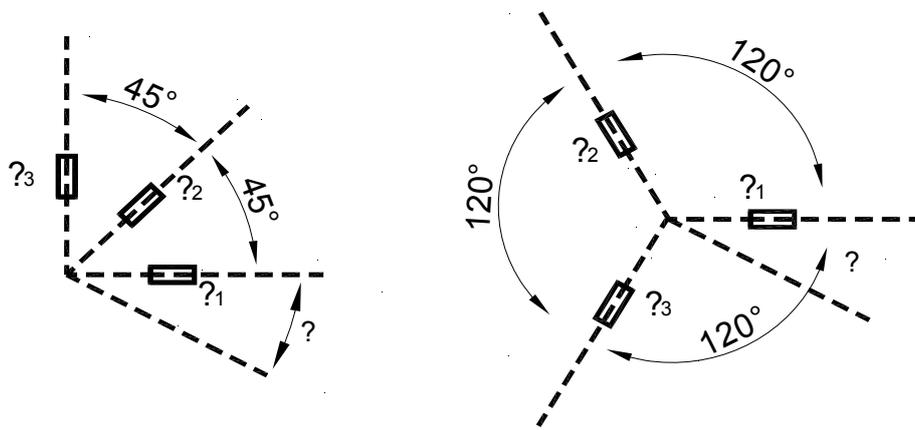


Рис. 4. Розетки расположения датчиков деформации
Fig. 4. The location of the strain gauges Sockets

Если углы между датчиками составляют 120° , то

$$\varepsilon_1 = \left(\frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \right) + \left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right) \cos 2\theta. \quad (15)$$

$$\varepsilon_2 = \left(\frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \right) + \left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right) \cos 2(\theta + 120^\circ). \quad (16)$$

$$\varepsilon_3 = \left(\frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \right) + \left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \right) \cos 2(\theta + 240^\circ). \quad (17)$$

Главные напряжения могут быть потом рассчитаны по этим главным деформациям и уравнениям, приведенным ранее.

Иногда целесообразно использовать параллелограммные упругие элементы с тензодатчиками. Такие измерительные элементы используются в высокочувствительной технике. Датчик давления на параллелограммных упругих элементах показан на рис. 5.

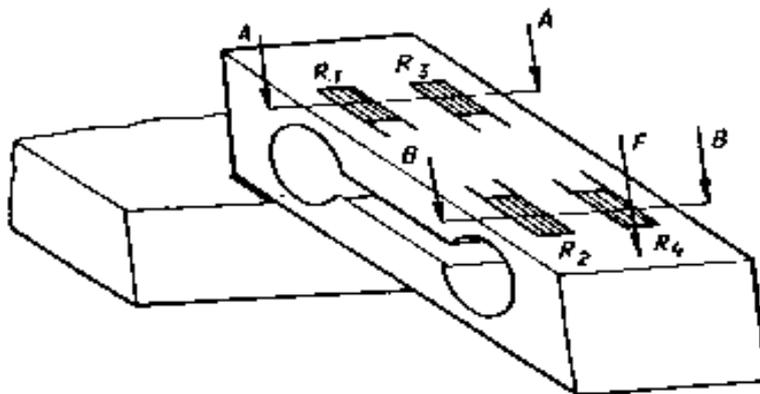


Рис. 5. Датчик давления на параллелограммных упругих элементах
Fig. 5. The pressure sensor on parallelogram elastic elements

При действии силы F в ослабленных сечениях А–А и В–В появляются упругие деформации: в сечении А–А – деформация растяжения, в сечении В–В – сжатия. Деформация упругого элемента с помощью тензорезисторов преобразуется в электрический сигнал. Тензорезисторы $R_1 - R_4$ включаются в мостовую цепь. Применение четырех наклеенных на один упругий чувствительный элемент тензорезисторов увеличивает чувствительность моста и уменьшает температурную погрешность прибора. Достоинством параллелограмного упругого элемента является его хорошая защищенность от поперечных сил, внецентренного приложения силы, изгибающих и вращающих моментов.

Если необходимо измерять и контролировать крутящий момент вала, то непосредственное измерение напряжений в материале можно проводить также с помощью тензорезисторов. Тензорезисторы наклеивают на вал. Крутящий момент выражается через измерение напряжения, как

$$M_{кр} = \tau \times W_p, \quad (18)$$

где τ – измеренное напряжение; $W_p = \frac{\pi r^3}{2}$ – полярный момент сопротивления сплошного круглого вала.

Для измерения больших крутящих моментов (при τ до 3×10^7 Па) целесообразно использовать магнитоупругие датчики с магнитным снятием информационного сигнала.

Список литературы

Кирюха, В.В. Анализ преобразователей неэлектрических величин и рекомендации по их использованию в судовых автоматических системах / В.В. Кирюха, Ю.М. Горбенко, В.С. Яблокова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2015. – Т. 34. – С. 69–74.

Сведение об авторе: Кирюха Владимир Витальевич, доцент; e-mail: vkiryuha@list.ru.

УДК 621.3

В.В. Кирюха¹, Ю.М. Горбенко², В.С. Яблокова²

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

²Дальневосточный федеральный университет,
690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОД НАГРУЗКОЙ

Рассматриваются вопросы диагностики трансформаторов при работе под нагрузкой с целью выявления дефектов и возможных отказов. Основными задачами диагностики трансформаторного оборудования являются: выявление дефектов и повреждений; оценка функциональной исправности оборудования; определение возможности продления эксплуатации без проведения ремонтных работ; выработка рекомендаций по определению срока службы. В качестве диагностических параметров предлагается использовать электромагнитные параметры, т.е. параметры их схемы замещения. Цель работы – исследование однофазных трансформаторов с позиции организации диагностики трансформатора под нагрузкой при наличии измерений с учетом погрешностей. Предлагается методика диагностирования.

Ключевые слова: силовой трансформатор, диагностика, мониторинг, электромагнитные параметры, метод наименьших квадратов.

**V.V. Kiryuha, Yu.M. Gorbenko, V.S. Yablokova
DIAGNOSIS OF TRANSFORMERS LOAD**

The article deals with questions of diagnostics of transformers under load in order to detect possible defects and failures. The main objectives of diagnosis transformer equipment are: detection of defects and damage; Functional assessment of serviceability of the equipment; the possibility of extending the definition of operation without repairs; development of recommendations on the definition of life. As diagnostic parameters proposed to use electron-magnitnye parameters, ie, the parameters of the equivalent circuit. Objective – research, of the single-phase transformers with the position of the transformer diagnostic organization under stress in the presence of measurement error into account. The technique di agnostirovaniya.

Key words: a power transformer, diagnostics, monitoring of electromagnetic parameters, the method of least squares.

Введение

В последние годы обострилась задача обеспечения надежной эксплуатации силовых трансформаторов. Это связано с ростом количества трансформаторов, выработавших свой нормативный срок эксплуатации, и снижением объема финансирования ремонтных и испытательных работ.

Наиболее актуальной задачей электроэнергетики становится обеспечение продолжения надежной эксплуатации старого парка. Но это важно и для трансформаторного оборудования, не выработавшего свой ресурс, так как имеет место несоответствие предписанных режимов эксплуатации реальным, что может и привести к ускорению расходования ресурса. Эта проблема может быть решена с помощью диагностического контроля.

Анализ дефектов, возникающих в силовых трансформаторах, показывает, что их можно разделить на три группы по времени развития:

- медленно развивающиеся дефекты со временем развития более года;

- быстро развивающиеся дефекты со временем развития менее года;
- внезапные отказы со временем развития от долей секунд до нескольких часов.

Вероятность внезапных отказов увеличивается по мере длительной эксплуатации трансформаторов. Увеличение количества быстро развивающихся и внезапных отказов приводит к необходимости уменьшения интервалов между проводимыми обследованиями, а следовательно, требуется осуществлять непрерывный контроль в рабочем режиме. В этой связи разработка методов непрерывной диагностики является очень важной задачей электроэнергетики.

Наибольшее количество отказов происходит именно в период нормальной эксплуатации, и основное количество трансформаторов не дотягивает до сроков капитального ремонта. Причиной высокой аварийности трансформаторов в период нормальной эксплуатации является большая периодичность капитальных ремонтов (на 12-м и 24-м году эксплуатации). Именно поэтому столь остро для силовых трансформаторов встала проблема перехода от режимов по сроку эксплуатации к ремонту по состоянию. В связи с этим актуальны работы по созданию систем мониторинга трансформаторов, т.е. определение их состояния в рабочем режиме.

Основными задачами диагностики трансформаторного оборудования являются выявление дефектов и повреждений, оценка функциональной исправности оборудования, определение возможности продления срока эксплуатации без проведения ремонтных работ, определение объема ремонта, при его необходимости оценка остаточного срока службы, а также выработка рекомендаций по определению срока службы. Кроме того, применение диагностических методов дает возможность оценить состояние целых трансформаторных парков, позволяя тем самым производить ранжирование трансформаторов по состоянию, что, в свою очередь, позволяет снижать затраты на эксплуатацию и ремонт.

Именно мониторинг силовых трансформаторов является наиболее эффективным решением проблемы эксплуатации трансформаторов, выработавших свой нормативный срок или находящихся в длительной эксплуатации. Сегодня мониторингу уделяется большое внимание: разрабатываются такие методы обследования трансформаторов, как анализ масла, измерение частичных разрядов, виброакустический анализ, измерение температуры, регистрация электромагнитного излучения. Все эти методы желательно использовать совместно при комплексном обследовании трансформаторов. В этом плане все более широкое распространение в электроэнергетике приобретает создание оперативно-измерительных комплексов.

Цель исследования – разработка алгоритма диагностики однофазного трансформатора под нагрузкой при наличии погрешностей в измерительной информации.

В качестве диагностических параметров при организации мониторинга трансформаторов можно использовать электромагнитные параметры, т.е. параметры их схемы замещения. По изменению активного сопротивления обмоток можно судить о целостности электрических цепей и состоянии контактных соединений. Изменение индуктивного сопротивления рассеяния обмоток указывает на наличие деформаций и повреждений в обмотках.

Кроме параметров схемы замещения, в качестве диагностических параметров представляют интерес потери в магнитопроводе трансформатора и его намагничивающая мощность, которая позволяет оценить состояние магнитной системы трансформатора.

Электромагнитные диагностические параметры имеют то неоспоримое преимущество, что отражают процессы, происходящие в трансформаторе практически мгновенно. Из этого следует, что методы, основанные на их контроле, могут служить защитой при внезапных отказах и быстроразвивающихся дефектах.

В таблице приведена взаимосвязь между дефектами и электромагнитными параметрами трансформатора применительно к T-образной схеме замещения (рис. 1).

Связь между дефектами трансформатора и его параметрами The connection between the transformer and its defect parameters

Дефект	Изменение параметра
Межвитковое замыкание	Уменьшение R_1, X_1, R_2 и X_2
Деформация обмотки после короткого замыкания	Увеличение L_1, L_2
Ухудшение контактных соединений	Увеличение R_1, R_2
Замкнутый контур в магнитопроводе	Увеличение P_0, Q_0
Изменение свойств ферромагнитного материала	Изменение R_0, X_0
Процессы нагрева, выделения газов, разрушение изоляции и т.п.	Увеличение P_0, P_1, P_2

В схеме замещения трансформатора приняты следующие обозначения:

R_1 – активное сопротивление провода первичной обмотки;

X_1 – индуктивное сопротивление рассеяния первичной обмотки;

X_0 – индуктивное сопротивление намагничивания;

R_0 – сопротивление, учитывающее магнитные потери;

$R'_2 = K^2 R_2$ – приведенное активное сопротивление вторичной обмотки;

$X'_2 = K^2 X_2$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния вторичной обмотки;

$K = w_2 / w_1$ – коэффициент трансформации.

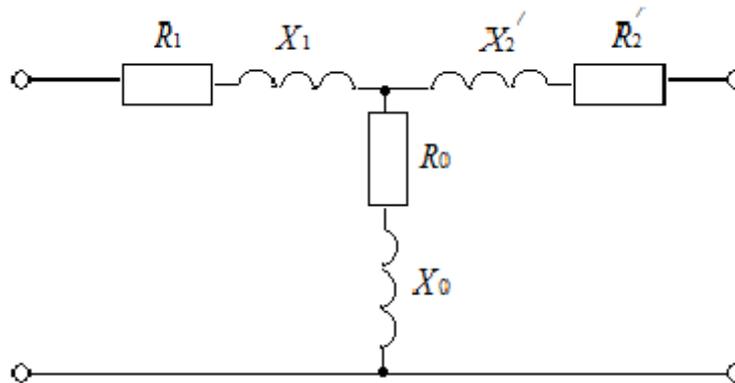


Рис. 1. Т-образная схема замещения однофазного трансформатора
Fig. 1. T-equivalent circuit of single-phase transformer

Рассмотрим алгоритм диагностики однофазного трансформатора под нагрузкой применительно к Г-образной схеме замещения (рис. 2). Несмотря на то, что количество однофазных трансформаторов, используемых в электроэнергетических системах, весьма мало, алгоритм определения электромагнитных параметров целесообразно рассмотреть именно на них. Эти исследования можно рассматривать как предварительный этап, применив их в дальнейшем и для оценки состояния трехфазных трансформаторов, находящихся в рабочем режиме.

Цель рассматриваемой работы – исследовать однофазные трансформаторы с позиции возможности организации диагностики трансформатора под нагрузкой (мониторинг состояния) при наличии измерений с учетом погрешностей.

Уравнения состояния трансформатора, как любого четырехполюсника, можно выразить через Z -, Y - или A -параметры, из которых затем определяются диагностические электромагнитные параметры [1]. Для конкретности остановимся на A -параметрах.

Целью задачи диагностики трансформатора является определение A -параметров.

Уравнения системы трансформатора нелинейны, так как содержат произведения неизвестных $A\dot{U}_2$, $B\dot{I}_2$, $C\dot{U}_2$, $D\dot{I}_2$. В связи с неточностью измерений величины \dot{U}_1 , \dot{I}_1 , \dot{U}_2 , \dot{I}_2 тоже являются неизвестными. С целью использования разработанных алгоритмов на основе метода наименьших квадратов [2] для решения поставленной задачи необходимо произвести их линеаризацию.

Линеаризация может быть реализована путем исключения переменных \dot{U}_1 , \dot{I}_1 , \dot{U}_2 , \dot{I}_2 .

Неточность измерительной информации предлагается учитывать детерминированным образом, т.е. в результате диагностического эксперимента получены интервальные значения измеренных величин: $U_{1\alpha} \leq U_1 \leq U_{1\beta}$, $\psi_{U1\alpha} \leq \psi_{U1} \leq \psi_{U1\beta}$, $I_{1\alpha} \leq I_1 \leq I_{1\beta}$, $\psi_{I1\alpha} \leq \psi_{I1} \leq \psi_{I1\beta}$, $U_{2\alpha} \leq U_2 \leq U_{2\beta}$, $\psi_{U2\alpha} \leq \psi_{U2} \leq \psi_{U2\beta}$, $I_{2\alpha} \leq I_2 \leq I_{2\beta}$, $\psi_{I2\alpha} \leq \psi_{I2} \leq \psi_{I2\beta}$. Здесь индексы α и β определяют нижнюю и верхнюю границу интервалов измерений действующих значений напряжений и токов и их начальных фаз. Для каждой из переменных для линеаризации будем использовать несовместные уравнения:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 = \dot{U}_{1\alpha} = U_{1\alpha} \angle \psi_{U1\alpha}, \quad \dot{U}_1 = \dot{U}_{1\beta} = U_{1\alpha} \angle \psi_{U1\beta}, \quad \dot{U}_1 = \dot{U}_{1\gamma} = U_{1\beta} \angle \psi_{U1\alpha}, \\ \dot{U}_1 = \dot{U}_{1\theta} = U_{1\beta} \angle \psi_{U1\beta}, \quad \dot{U}_2 = \dot{U}_{2\alpha} = U_{2\alpha} \angle \psi_{U2\alpha}, \quad \dot{U}_2 = \dot{U}_{2\beta} = U_{2\alpha} \angle \psi_{U2\beta}, \\ \dot{U}_2 = \dot{U}_{2\gamma} = U_{2\beta} \angle \psi_{U2\alpha}, \quad \dot{U}_2 = \dot{U}_{2\theta} = U_{2\beta} \angle \psi_{U2\beta}, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_{1\alpha} = I_{1\alpha} \angle \psi_{I1\alpha}, \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_{1\beta} = I_{1\alpha} \angle \psi_{I1\beta}, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_{1\gamma} = I_{1\alpha} \angle \psi_{I1\alpha}, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_{1\theta} = I_{1\beta} \angle \psi_{I1\beta}, \\ \dot{I}_2 = \dot{I}_{2\alpha} = I_{2\alpha} \angle \psi_{I2\alpha}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{2\beta} = I_{2\alpha} \angle \psi_{I2\beta}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{2\gamma} = I_{2\beta} \angle \psi_{I2\alpha}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{2\theta} = I_{2\beta} \angle \psi_{I2\beta}. \end{aligned} \quad (1)$$

Количество линеаризованных уравнений системы при этом получается равным 128, а несовместное ядро переопределенной системы составит 144 уравнения с количеством неизвестных, равным 4. Точные уравнения в этом случае отсутствуют.

Использование разработанной методики применения метода наименьших квадратов к диагностике электрических цепей предполагает наличие компонентных уравнений [2]. В данном случае формирование компонентных уравнений требует введения дополнительных переменных $\dot{V}_1 = A\dot{U}_2$, $\dot{V}_2 = B\dot{I}_2$, $\dot{V}_3 = C\dot{U}_2$, $\dot{V}_4 = D\dot{I}_2$. Тогда система уравнений преобразуется к виду

$$\dot{U}_1 = \dot{V}_1 + \dot{V}_2, \quad \dot{I}_1 = \dot{V}_3 + \dot{V}_4, \quad \dot{V}_1 = A\dot{U}_2, \quad \dot{V}_2 = B\dot{I}_2, \quad \dot{V}_3 = C\dot{U}_2, \quad \dot{V}_4 = D\dot{I}_2. \quad (2)$$

В этом случае переопределенная система состоит из двух точных уравнений и несовместного ядра из 32 уравнений.

Формирование несовместной системы уравнений может быть произведено и по законам Кирхгофа. Применительно к Г-образной схеме замещения (рис. 2) составляются точные уравнения

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_k + \dot{U}_2, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2, \quad (3)$$

а затем несовместные

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 = \dot{U}_{1\alpha}, \quad \dot{U}_1 = \dot{U}_{1\beta}, \quad \dot{U}_1 = \dot{U}_{1\gamma}, \quad \dot{U}_1 = \dot{U}_{1\theta}, \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_{1\alpha}, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_{1\beta}, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_{1\gamma}, \quad \dot{I}_1 = \dot{I}_{1\theta}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 = \dot{U}_{2\alpha}, \quad \dot{U}_2 = \dot{U}_{2\beta}, \quad \dot{U}_2 = \dot{U}_{2\gamma}, \quad \dot{U}_2 = \dot{U}_{2\theta}, \\ \dot{I}_2 = \dot{I}_{2\alpha}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{2\beta}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{2\gamma}, \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_{2\theta}. \end{aligned} \quad (4)$$

Запишем эти уравнения в матричной форме и разобьем на блоки (разбиение на блоки отмечено утолщенными линиями):

1		-1		-1	
	1		-1		-1
1					
1					
1					
1					
	1				
	1				
	1				
	1				
		1			
		1			
		1			
		1			
			1		
			1		
			1		
			1		

×

\dot{U}_1
\dot{I}_1
\dot{U}_2
\dot{I}_2
\dot{U}_κ
\dot{I}_0

=

$\dot{U}_{1\alpha}$
$\dot{U}_{1\beta}$
$\dot{U}_{1\gamma}$
$\dot{U}_{1\theta}$
$\dot{I}_{1\alpha}$
$\dot{I}_{1\beta}$
$\dot{I}_{1\gamma}$
$\dot{I}_{1\theta}$
$\dot{U}_{2\alpha}$
$\dot{U}_{2\beta}$
$\dot{U}_{2\gamma}$
$\dot{U}_{2\theta}$
$\dot{I}_{2\alpha}$
$\dot{I}_{2\beta}$
$\dot{I}_{2\gamma}$
$\dot{I}_{2\theta}$

Приведем компактную блочную форму записи:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ F \end{bmatrix}.$$

Связи, обусловленные уравнением, запишем в виде двух уравнений:

$$X_2 = -A_{12}^{-1} \cdot A_{11} \cdot X_1, \quad (5)$$

$$A \cdot X_1 = F, \quad (6)$$

где $A = A_{21} - A_{22} \cdot A_{12}^{-1} \cdot A_{11}$.

Единственное решение по методу наименьших квадратов определяем выражением

$$X_1 = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot F. \quad (7)$$

Оценив вектор

$$X_1 = \begin{bmatrix} \dot{U}_1 & \dot{I}_1 & \dot{U}_2 & \dot{I}_2 \end{bmatrix}^T, \text{ а затем } X_2 = \begin{bmatrix} \dot{U}_K & \dot{I}_0 \end{bmatrix}^T,$$

определяют диагностические параметры схемы замещения (R_0, X_0, R_K, X_K).

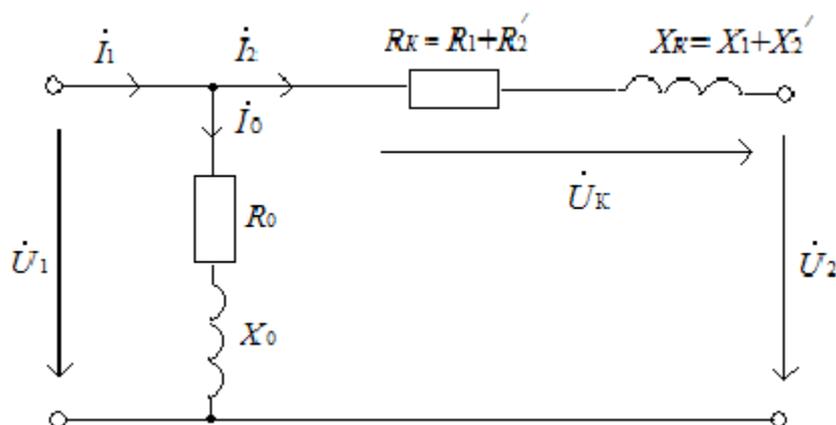


Рис. 2. Г-образная схема замещения однофазного трансформатора
Fig. 2. Г-shaped equivalent circuit of single-phase transformer

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что предложенный алгоритм диагностирования трансформатора под нагрузкой позволяет при решении задачи учитывать погрешности измерений детерминированным образом. Диагностирование осуществляется по электромагнитным параметрам, наиболее достоверно отражающим появление дефектов, а также динамику их развития.

Список литературы

1. Бутырин, П.А. Диагностика силовых трансформаторов под нагрузкой / П.А. Бутырин, М.Е. Алпатов // Изв. РАН. Энергетика, 1996. – № 1. – С. 74 – 81.
2. Горбенко, Ю. Корректировка решения задачи диагностики электрических цепей (формирование несовместной переопределенной системы уравнений) / Ю. Горбенко, В. Яблокова, В. Кирюха / LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 63 с.

Сведения об авторах: Кирюха Владимир Витальевич, доцент;
Горбенко Юрий Михайлович, кандидат технических наук, доцент;
Яблокова Виктория Сергеевна, кандидат технических наук, доцент.

УДК 532.526 + 629.12:620.1

В.А. Плоткина¹, П.А. Стародубцев²

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

²Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова,
690062, г. Владивосток, Камский переулок, 6

СОПРОТИВЛЕНИЕ ФОРМЫ СУДОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ В МОРСКОЙ СРЕДЕ

Объектом исследования является корпус морского судна. Рассматриваются факторы, влияющие на характер течения вблизи морского судна. Раскрывается актуальность исследовательских процессов в области теории пограничного слоя, а также приводится аналитический метод оптимизации формы корпуса судна. Результат исследований раскрывает пути решения проблемы сопротивления формы судов при движении в морской среде.

Ключевые слова: пограничный слой, морское судно, сопротивление жидкости.

V.A. Plotkina, P.A. Starodubtcev RESISTANCE FORMS OF VESSELS WHEN DRIVING IN THE MARINE ENVIRONMENT

The object of study is the hull of a marine vessel. This article discusses the factors affecting the nature of the flow near a ship. Reveals the relevance of the research processes in the field of boundary layer theory and provides an analytical method of optimization of the hull form. The result of this research reveals the ways of solving the problem of resistance to forms of ships when moving in the marine environment.

Key words: boundary layer, a ship, the resistance of the liquid.

Введение

Современные представления о механизме сопротивления при движении жидкости основываются на теории пограничного слоя.

В большинстве задач прикладной газовой динамики приходится иметь дело с маловязкими жидкостями, движущимися с относительно большими скоростями. Характерной особенностью таких течений является относительно большое число Рейнольдса (числа Re).

Как показывают опыты, при больших числах Рейнольдса влияние вязкости существенно проявляется лишь в области течения, непосредственно прилегающей к поверхности обтекаемого тела (внешняя задача) или стенки канала (внутренняя задача). Эта область имеет малую по сравнению с длиной судна протяженность в направлении нормали к поверхности, т.е. представляет собой достаточно тонкий слой жидкости возле поверхности, и называется пограничным слоем.

В пограничном слое скорость течения возрастает от нуля на поверхности до своего конечного значения во внешней (по отношению к пограничному слою) области течения. Ввиду малой толщины пограничного слоя поперечный градиент скорости $\partial v/\partial y$ в нем очень велик и сколь бы малой ни была вязкость жидкости, напряжения трения, возникающие в пограничном слое, будут оказывать существенное влияние на движение жидкости. Наоборот, в области вне пограничного слоя силы инерции во много раз превосходят по величине бесконечно малые силы вязкого трения (большие числа Re), здесь жидкость можно рассматривать как идеальную, а течение – как квазипотенциальное, т.е. безвихревое и при отсутствии сил трения.

Сопротивление трения существенно зависит от режима течения в пограничном слое. Течение в пограничном слое может быть ламинарным, переходным и турбулентным, независи-

мо от режима течения невозмущенного потока вне пограничного слоя. Как показывают эксперименты, переход ламинарного течения в пограничном слое в турбулентное определяется критическим числом Рейнольдса.

В направлении течения вдоль поверхности толщина пограничного слоя δ увеличивается, и режим течения в пограничном слое изменяется. На начальном участке течения толщина пограничного слоя мала ($\delta < \delta_{кр}$), и в пограничном слое сохраняется устойчивое ламинарное течение с молекулярным механизмом переноса. При увеличении толщины ламинарного пограничного слоя до критической величины $\delta_{кр}$ устойчивость ламинарного течения нарушается, и на небольшом участке возникает переходный режим. За переходным участком развивается устойчивый турбулентный пограничный слой с турбулентным механизмом переноса.

Переходный режим сопровождается хаотическим чередованием во времени ламинарного и турбулентного режимов течения. Поскольку течение на переходном участке исследовано недостаточно, обычно в расчетах принимают, что ламинарный пограничный слой в критическом сечении сразу переходит в турбулентный.

Существенное влияние на переход (положение критического сечения) оказывает степень турбулентности невозмущенного потока, продольный градиент давления $\partial p / \partial x > 0$ и шероховатость поверхности.

Закон изменения скорости по нормали к поверхности и, соответственно, завихренность и механизм переноса различны для ламинарного и турбулентного режимов течения в пограничном слое.

Турбулентный пограничный слой имеет более полный (более наполненный) профиль скорости. При одинаковых числах Рейнольдса сопротивление трения в турбулентном пограничном слое существенно выше, чем в ламинарном пограничном слое, и эта разница возрастает с увеличением числа Re. Поэтому для уменьшения сопротивления трения корпуса морского судна или канала следует «затягивать» ламинарный пограничный слой, сдвигая как можно дальше по потоку критическое сечение, т.е. осуществлять искусственную ламинаризацию пограничного слоя, которая заключается в уменьшении толщины δ , интенсивности турбулентности невозмущенного потока, продольного градиента давления $\partial p / \partial x > 0$ и шероховатости.

Объект и методы исследований

В результате на характер течения жидкости и пограничного слоя (ламинарный или турбулентный) определяющее влияние оказывает не только число Рейнольдса, но и изменение давления вдоль потока, зависящее, в свою очередь, от формы обтекаемой поверхности.

Сопротивление формы зависит от конфигурации движущегося в жидкости тела. Как и сопротивление трения, оно обусловлено вязкостью жидкости.

Посмотрим на вид сверху двух типов судов, при этом один из которых – длинный и узкий, с плавными формообразованиями; второй имеет полные формообразования и широкую корму (рис. 1).

Частицы воды, находящиеся в слоях, ближайших к поверхности корпуса морского судна, движутся по отношению к нему с очень малой скоростью и, следовательно, приобретают небольшую кинетическую энергию. Двигаясь от носа к корме, где давление больше, чем в средней части, частицы, потеряв из-за вязкости воды часть своей кинетической энергии, не в состоянии преодолеть повышенное давление в кормовой оконечности судна. Израсходовав всю энергию, частицы останавливаются, а затем под воздействием повышенного встречного давления начинают двигаться назад, навстречу потоку, отрывая пограничный слой от поверхности корпуса. За точкой, в которой происходит отрыв пограничного слоя, зарождаются и образуются вихри – добавочное сопротивление (рис. 2).

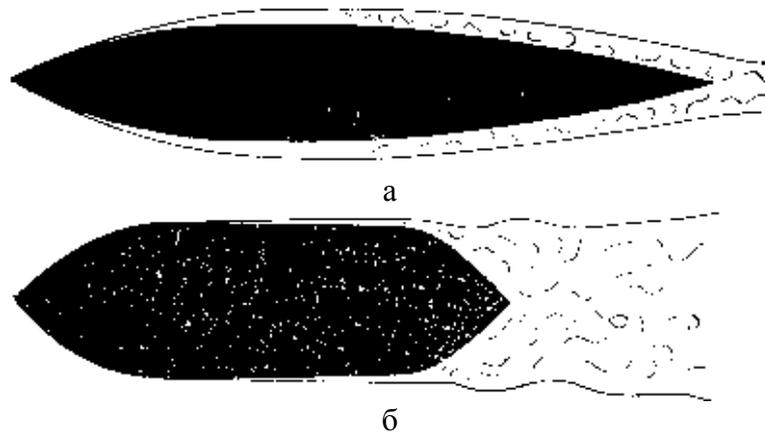


Рис. 1. Вид сверху: а – форма корпуса судна узкая с плавными формообразованиями;
б – форма корпуса судна широкая с полными формообразованиями

Fig. 1. Top view: а – shape of the hull are narrow with smooth morphogenesis;
б – the hull shape is wide with full formation

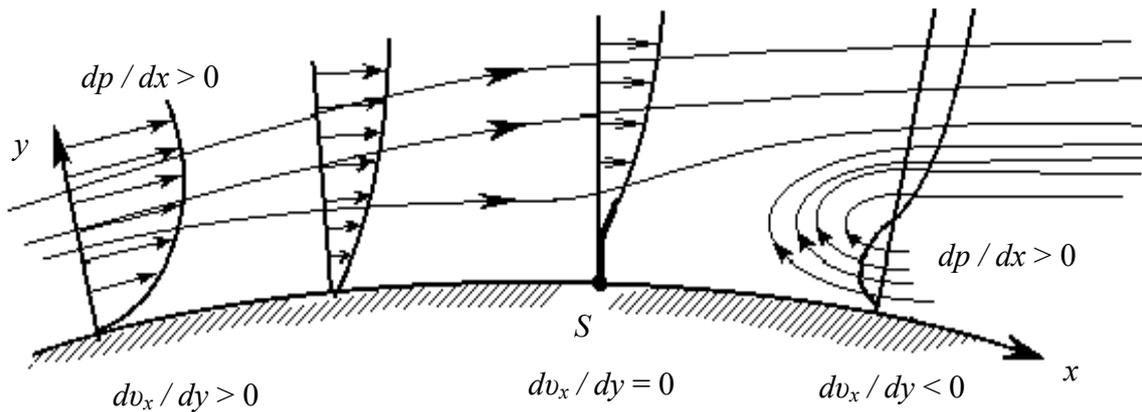


Рис. 2. Отрыв пограничного слоя (точка S – точка отрыва)

Fig. 2. Separation of the boundary layer (point S – the point of separation)

У первого судна (см. рис. 1, а) пограничный слой простирается вдоль бортов с плавным переходом в попутный поток, у второго (см. рис. 1, б) – как бы отрывается от корпуса, образуя широкий след. В зоне отрыва обтекающие корпус потоки резко срываются и превращаются в завихрения. Происходит отрыв пограничного слоя (см. рис. 2).

Именно этим объясняется интенсивный отрыв пограничного слоя у морских судов с тупой кормовой оконечностью, и наоборот, незначительный отрыв, а порой и полное его отсутствие у судов с большим отношением длины к ширине и узкой кормой. У некоторых типов судов, а особенно у барж, сопротивление формы может составлять около 50 % полного.

При этом полное сопротивление включает в себя следующие составляющие: сопротивление трения; добавочное сопротивление шероховатостей; сопротивление формы и волновое сопротивление [1].

Результаты и их обсуждение

Каждому типу судна соответствует особая форма корпуса, зависящая от многих факторов: назначения судна, условий его эксплуатации, скорости хода, качества судна и др.

Корпуса движущихся судов представляют собой удлиненное тело, ограниченное кривыми поверхностями, создающими обтекаемую форму, уменьшающую сопротивление воды и воздуха его движению. Корпуса таких судов имеют заостренные оконечности и плавные переходы боковых поверхностей в днищевые плоскости. Корпуса стояночных судов или судов, скорость транспортировки которых не имеет большого значения, наоборот, делают для упрощения технологии постройки прямоугольными или плоскостной формы с резко выраженными гранями.

Корма судна имеет более сложную конфигурацию, чем носовая оконечность, так как в кормовой оконечности размещаются различные устройства, обеспечивающие маневренность судна (гребные винты, рули и т.д.), которым необходимо обеспечить наилучшие условия работы.

Для того чтобы судно, идущее по сильно взволнованной водной поверхности, не зарывалось оконечностями в волну, борта корпуса в носовой оконечности по высоте расширяют (разваливают).

В итоге формы обводов современных судовых корпусов созданы в результате долголетней отработки с учетом сопротивления жидкости.

Появление опытовых бассейнов позволило обеспечить выбор оптимальной формы корпуса судна на научной основе при использовании метода моделирования сопротивления движению морского судна.

В результате появились характерные формы миделевых обводов судов разных типов, в том числе, посредством теории пограничного слоя. Из них наиболее характерны:

- а) морские транспортные суда – с вертикальным бортом и с подъемом днища;
- б) морские быстроходные суда – с хорошо обтекаемыми обводами, большим углом подъема днища и большим скуловым закруглением;
- в) ледокольные суда со скругленными бортами и развалом в подводной части и завалом в надводной части. Такая форма поперечного сечения увеличивает поперечную жесткость корпуса, и в случае сжатия судна в ледяных полях лед вдвигается по наклонным бортам или под судно, выжимая его из воды, или поднимается вверх;
- г) быстроходные суда малого водоизмещения (или катера), в большинстве случаев имеющие прямые с развалом борта, переходящие под углом в днище с большим подъемом слегка изогнутой формы;
- д) быстроходные суда внутреннего плавания – с плоскодонным днищем, с циркульной скулой, переходящей в борта с развалом. Такие образования увеличивают площадь палубы и помещения в надводной части корпуса;
- е) речные плоскодонные суда – с горизонтальным днищем, с вертикальными бортами и с малым радиусом закругления скулы. Такой профиль поперечного сечения обеспечивает максимальный объем корпуса и предусматривается на тихоходных судах с минимальной осадкой.

Эффективность морских коммуникаций и океанского рыболовства в северных широтах Тихого океана обеспечивается целевым проектированием океанских судов, специально оптимизированных для сложных условий работы в штормовых и ледовых условиях дальневосточных морей России [2].

Оптимизация в морской технике опирается также на основах эффективности использования аналитических данных по преодолению сопротивления движению жидкости морского судна.

В результате для построения оптимизированной формы корпуса с учетом общинженерных и навигационных требований перспективному кораблю повышенной мореходности необходимо исключение отрыва пограничного слоя в районе руля и движителей. Данное усло-

вие достигается за счет крейсерской кормы с плавными кормовыми рыбинами на теоретическом чертеже, способствующими малости градиентов и завихренности потока в зоне действия движителей, а также с помощью ламинизации пограничного слоя с использованием соответствующих методов управления.

В итоге на обводы корпуса судна влияет и способ ламинизации пограничного слоя вблизи корпуса морского судна. Возможным способом ламинизирования пограничного слоя является создание воздушной прослойки («воздушной смазки») между корпусом и забортной текучей средой (рис. 3).

Суть идеи состоит в создании между обшивкой корпуса и текучей средой тонкой воздушной прослойки с замкнутой циркуляцией воздуха. За головной частью корпуса через щель отсасывается вода, чтобы не допустить формирование турбулентного пограничного слоя. Через следующую щель подается воздух для образования воздушной прослойки. Этой же цели служат и щели, расположенные на днище. Внутри прослойки воздух перемещается вверх, что влечет за собой неравномерное распределение толщины прослойки по обводам корпуса. Чтобы помешать перетеканию воздуха, на боковой поверхности имеются выступы, не соприкасающиеся с водой. Таким образом, вся средняя часть корпуса обтекается тонким слоем. Когда рой пузырьков быстро поступает из небольших отверстий в днище судна, образуется слой толщиной 1–2 см, покрывающий днище (рис. 3), что снижает сопротивление, поскольку воздух обладает в 850 раз меньшей плотностью в сравнении с водой.

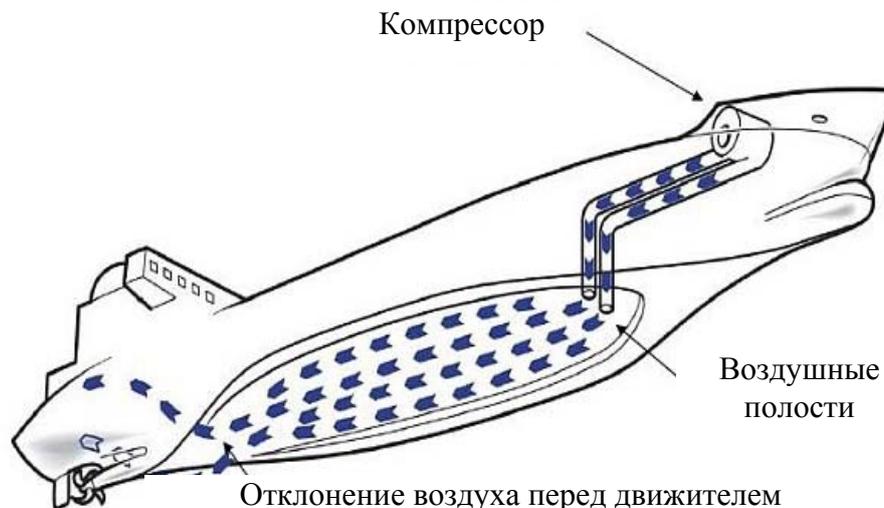


Рис. 3. Создание «воздушной прослойки» между корпусом и забортной текучей средой
Fig. 3. The creation of the «air gap» between the body and outboard the fluid

Выводы

Причиной низкой популярности системы воздушной смазки является настороженность, присущая морякам.

Море – суровая стихия, и некоторые люди опасаются, что полости (их площадь покрывает примерно две трети днища) будут оказывать негативное воздействие на управляемость судном. Это так: и в чем-то даже к лучшему, поскольку полости являются своеобразными поглотителями ударов, снижающими бортовую и килевую качку. Однако при сильном шторме это может оказаться проблемой. Если в полость вместо воздуха попадет вода, судно действительно будет испытывать усиленную качку.

Для обхода подобного явления нужно применить новые технологии, например, использовать систему лазерных датчиков для определения места, куда в следующий момент ударит волна, с таким расчетом, чтобы подать в эти полости большой объем воздуха для компенсации удара.

Следуя данной тенденции, в недалеком будущем применение системы воздушной смазки, возможно, будет более распространенным.

Вследствие указанных выше аспектов на сопротивление движения судна в первую очередь влияют сущность режима движения жидкости внутри пограничного слоя и особенности распределения давления по поверхности судна.

В результате проблему сопротивления формы судов при движении в морской среде обязательно решать с помощью активных методов при проектировании судна.

Успешное внедрение современных технологий в судостроительную отрасль позволяет совместить методы управления пограничным слоем с основами проектирования судов различного назначения с целью оптимизации формы обводов судна. Интересен уже сам факт обращения специалистов не только к гидродинамике в более широком смысле, но и к смежным областям науки, в том числе к теории пограничного слоя, в поисках решения проблемы сопротивления судов при движении в морской среде.

Список литературы

1. Плоткина, В.А. Теория пограничного слоя: монография / В.А. Плоткина. – Владивосток: ТОВВМУ им. С.О. Макарова, 2015. – 120 с.
2. Храмушин, В.Н. Концептуальные проекты рыболовных, спасательных и патрульных судов для Сахалина и Курильских островов / В.Н. Храмушин // Мореходство и морские науки. – 2011. – С. 64–81.

Сведения об авторах: Плоткина Виктория Александровна, старший преподаватель, соискатель, e-mail: vika_plotkina@mail.ru;

Стародубцев Павел Анатольевич, доктор технических наук, профессор.

УДК 621.431.74.016

Б.И. Руднев, О.В. Повалихина

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Рассмотрена зональная модель для расчета радиационного теплообмена в камере сгорания судового дизельного двигателя. Приведены интегральные уравнения математической модели радиационного теплообмена. Выполнена оценка роли эффективного потока излучения.

Ключевые слова: зональная модель, математическая модель, судовой дизельный двигатель, камера сгорания, интегральные уравнения.

B.I. Rudnev, O.V. Povalikhina

MATHEMATICAL SIMULATION OF LOCAL RADIANT HEAT TRANSFER IN MARINE DIESEL ENGINE COMBUSTION CHAMBER

Zonal model for calculation radiant heat transfer in marine diesel engine combustion chamber is considered. Integral equations of mathematical model radiant heat transfer are given. Estimation of effectual radiant heat flux is accomplished.

Key words: zonal model, mathematical model, marine diesel engine, combustion chamber, integral equations.

Несовершенство ММ радиационно-конвективного теплообмена в КС дизельных двигателей в значительной степени затрудняет достоверное определение локальных тепловых потоков, передаваемых от рабочего тела к стенкам деталей цилиндропоршневой группы на стадии проектирования. Это заставляет разработчиков перспективных моделей решать ряд вопросов экспериментальным путем и увеличивает сроки создания новых дизельных двигателей. В связи с отмеченным совершенствованием существующих и создание новых ММ локального радиационно-конвективного теплообмена в КС по-прежнему остается весьма актуальной проблемой, особенно для современных высокофорсированных дизельных двигателей, к которым предъявляются повышенные требования по эффективным и экологическим характеристикам их работы.

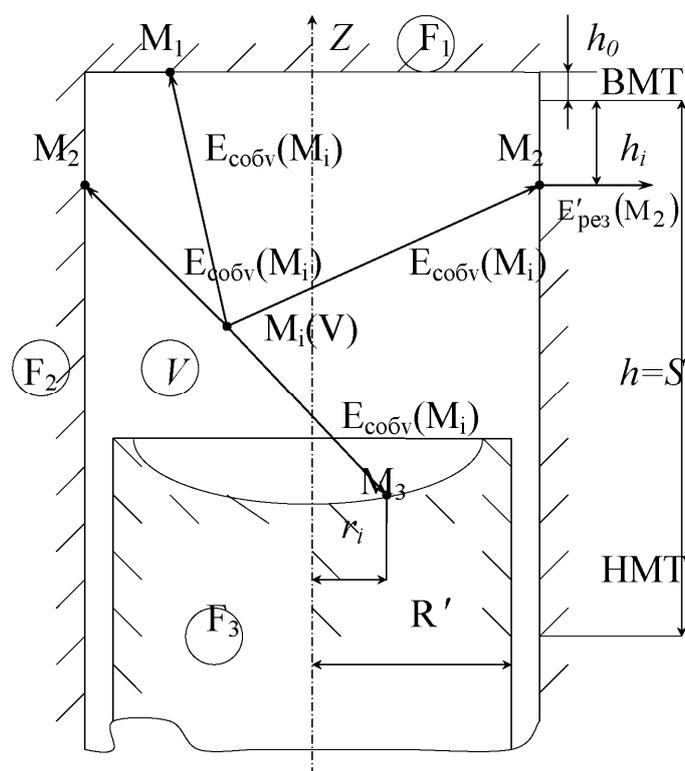
Процесс локального радиационного теплообмена в цилиндре судового дизеля с открытой КС на установившемся режиме работы рассматривается нами на адекватной физической модели, представленной на рисунке. Она представляет собой замкнутую осесимметричную цилиндрическую излучающую систему.

Первая особенность этой системы в том, что она состоит из трех граничных (поверхностных) зон: F_1 – крышка цилиндра, F_2 – боковая поверхность втулки цилиндра, F_3 – днище поршня и объемной зоны V .

Вторая особенность излучающей системы заключается в нестационарном положении зоны F_3 вдоль координаты Z . Это обуславливает нестационарность всех угловых коэффициентов излучения, характеризующих взаимодействие потоков излучения в КС и значительно усложняет решение задачи. Вместе с тем необходимо отметить, что поскольку время распространения электромагнитной волны излучения при ее скорости, равной $3 \cdot 10^8$ м/с, намного меньше времени перемещения зоны F_3 , обусловленной скоростью движения поршня, то условия квазистационарности (характерное время рабочего процесса, t_r – время распростране-

ния электромагнитной волны излучения) гарантированно выполняется. Последнее позволяет решать задачу локального радиационного теплообмена в КС судового дизеля применительно к непрерывно-дискретному случаю как квазистационарную для фиксированного момента времени.

При этом предлагается, что все оптические и энергетические характеристики излучающей системы в течение времени Δt неизменны и изменяются скачком при переходе к следующему интервалу времени. Объемная зона V представляет собой сферу переменного по углу поворота коленчатого вала радиуса R_V . Вначале процесса сгорания радиус сферы (объемной зоны V) составляет примерно 0,25 радиуса цилиндра R' , к концу процесса сгорания выполняется условие $R_V = R'$.



Зональная модель излучающей системы в цилиндре судового дизеля с открытой камерой сгорания
Zonal model radiant system in cylinder of marine diesel engine with open combustion chamber

Ю.А. Суриновым [1] показано, что в зависимости от способа задания граничных условий возможны восемь постановок задачи локального радиационного теплообмена, обладающих единственностью решения. В нашем случае рассматривается модифицированная фундаментальная постановка задачи. Как известно [2, 3], при фундаментальной постановке задаются оптические и энергетические характеристики всех зон, т.е. их степени черноты и температуры. Модификация фундаментальной постановки задачи состоит в том, что эффективные (или по классификации работы [3] исходящие) потоки излучения от поверхностных зон F_1 , F_2 и F_3 не учитываются. Авторами настоящей статьи рассматривается процесс локального радиационного теплообмена между объемной зоной V и соответствующими поверхностными зонами F_1 , F_2 и F_3 . При такой постановке задачи отпадает необходимость в ряде допущений, принятых в работе [4], а современные экспериментальные данные [5–8] и расчетные методы [9–13] позволяют задавать локальные значения оптических и энергетических характеристик объемной зоны V . В частности, характеристики объемной зоны V , степень черноты $\alpha(t)$ и температуры пламени $T(t)$ рассчитываются и определяются по приведенным в [14–19] методикам и экспериментальным данным.

Схема задания краевых условий для модифицированной фундаментальной постановки задачи о локальном радиационном теплообмене в КС судового дизеля имеет следующий вид:

Граничные условия	Начальные условия
Геометрические характеристики системы	
$R_1 = R_2 = R' = const;$	$t_H = t_0;$
$h_{\min} = h_0; h_{\max} = h_0 + h;$	$h_H = h_0;$
или $h_{\max} = h_0 + S$	$R_{1,0} = R_1 = R'; \quad R_{3,0} = R_3 = R';$
Оптические характеристики системы	
$\varepsilon_V = f(r, t)$	$\varepsilon_{V,0} = \varepsilon'_V(t_0)$
$i = 1, 2, 3, \dots, m$	
Энергетические характеристики системы	
$T_V = f(r, t);$	$T_{V,0} = T'_V(r, t_0)$
$i = 1, 2, 3, \dots, m$	

Временной интервал изменения граничных условий принят в соответствии с рекомендациями [4] и рассматривается от начала видимого сгорания до начала открытия выпускных органов.

В основу предлагаемой авторами доклада математической модели (ММ) для расчета локальных радиационных тепловых потоков в камере сгорания (КС) судового дизеля положен итерационно-зональный метод исследования и расчета теплообмена излучением, предложенный Ю.А. Суриновым [1]. При этом реальная излучающая система для условий КС судового дизеля представляется как состоящая из четырех зон: трех поверхностных – поверхность крышки цилиндра F_1 , втулки цилиндра F_2 и поршня F_3 , а также одной объемной зоны V , заполненной рабочим телом (сажегазовой средой). Проведенный анализ взаимодействия основных потоков излучения в такой системе позволил установить, что результирующий поток излучения для конкретной точки поверхности КС формируется при взаимодействии двух потоков: собственного потока излучения объемной зоны $E_{\text{соб}V}(M_i)$ и собственных потоков излучения поверхностей, образующих граничную поверхность $E_{\text{соб}F}(M_i)$. При этом собственные потоки излучения граничной поверхности и объемной зоны однозначно определяются по зависимостям

$$E_{\text{соб}F} = \sigma_0 \varepsilon_F T_F^4, \quad E_{\text{соб}V} = \sigma_0 \varepsilon_V T_V^4. \quad (1)$$

В результате сложного взаимодействия рассмотренных выше потоков излучения между объемной зоной и соответствующими точками граничной поверхности в замкнутой системе формируются результирующие потоки, определяющие радиационную тепловую нагрузку деталей КС. Этот процесс взаимодействия основных потоков излучения описывается системой неоднородных интегральных уравнений излучения (уравнения Фредгольма второго рода). Следуя [4], приведем указанную систему уравнений для условий в точке M_k граничной поверхности:

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{над}}(M_k) &= \sum_{i=1}^m \int_V E_{\text{эф}}(M_i) \cdot L(M_i, M_k) dV + \sum_{j=1}^n \int_V E_{\text{эф}}(M_j) \cdot K(M_j, M_k) dF, \\ E_{\text{эф}}(M_k) &= E_{\text{соб}}(M_k) + R_k \left[\sum_{j=1}^n \int_V E_{\text{эф}}(M_j) \cdot K(M_j, M_k) dF + \sum_{j=1}^m \int_V E_{\text{эф}}(M_i) \cdot L(M_j, M_k) dV \right], \\ E_{\text{рез}}(M_k) &= \varepsilon_k \left[\sum_{j=1}^n \int_F E_{\text{эф}}(M_j, M_k) \cdot K(M_j, M_k) dF + \sum_{j=1}^m \int_V E_{\text{эф}}(M_i) \cdot L(M_j, M_k) dV \right] - E_{\text{соб}}(M_k), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где R_k, ε_k – коэффициенты отражения и поглощения (степени черноты) поверхности F в точке M_k ; M_j – произвольная точка поверхности F , лежащая вне окрестности точки M_k ; M_i – произвольная точка объема V .

Интегральные операторы $K(M_j, M_k)$ и $L(M_i, M_k)$ называются ядрами уравнения, являются геометрическими функциями точек объема и поверхности и характеризуют систему как единый оптико-геометрический объект.

Ю.А. Суриновым [1] показано, что итерационно-зональный метод обобщает все основные постановки задач о радиационном теплообмене, имеющих единственное решение и различающихся способом задания граничных условий и характеристик поля излучения. Математическую основу этого метода составляет конечная система линейных алгебраических уравнений, аппроксимирующих соответствующую систему интегральных уравнений (2). Указанная система алгебраических уравнений запишется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} E_{nad}(M_k) &= \sum_{j=1}^n E_{cob}(M_j) \Phi(M_j, F_k) + \sum_{V=1}^m E_{cob}(M_V) \Phi(M_V, F_k), \\ E_{эф}(M_k) &= \sum_{j=1}^m E_{cob}(M_k) \Phi(M_k, F_j) + (1 - \varepsilon_k) \sum_{V=1}^m E_{cob}(M_j) \Phi(M_j, F_k) + \\ &\quad + (1 - \varepsilon_k) \sum_{V=1}^m E_{cob}(M_V) \Phi(M_V, F_k), \\ E_{pez}(M_k) &= \varepsilon_k \left[\sum_{j=1}^n E_{cob}(M_j) \Phi(M_j, F_j) + \sum_{V=1}^m E_{cob}(M_V, F_k) - \sum_{j=1}^n E_{cob}(M_k) \Phi(M_k, F_j) \right] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Проинтегрировав функции K и L , входящие в систему уравнений (2), по всей граничной поверхности, получим следующие уравнения связи геометрических и разрешающих локальных угловых коэффициентов излучения [4]:

$$\Phi(M_j, M_k) = \int_F K(M_j, M_k) dF = \exp(-\tau) \varphi(M_j, M_k). \quad (4)$$

$$\Phi(M_i, M_k) = \int_F L(M_j, M_k) dF = \exp(-\tau) \varphi(M_j, M_k). \quad (5)$$

где $\tau = kL$ – число Бугера.

Уравнения (3) получены в предположении, что излучающая система состоит из n граничных и m объемных зон. Их решение позволяет определить мгновенное локальное распределение по элементам граничной поверхности всех видов потоков излучения. Известно также, что в КС дизелей температура объемного излучения T_V намного превышает температуры поверхностей крышки цилиндра, поршня и втулки. Вследствие этого собственный поток излучения объемной зоны также значительно больше собственного потока излучения соответствующих поверхностей.

Расчеты показывают, что при температурах крышки цилиндра и поршня в пределах 550–620 К, втулки цилиндра 430–450 К $E_{cobV}(M_i)$ на два порядка больше $E_{cobF}(M_n)$. Поэтому можно считать, что роль эффективных потоков излучения поверхностей, образующих КС, в формировании результирующих потоков незначительна и укладывается в пределах 10–15 %, т.е. сопоставима с погрешностью экспериментального определения температуры объемного излучателя

(пламени) и концентрации частиц сажи в цилиндре дизеля. Тогда для точки M_k граничной поверхности F можно приближенно считать $E_{эфF_1}(M_1) = E_{эфF_2}(M_2) = E_{эфF_3}(M_3) \approx 0$. Учитывая приведенные выше положения в рамках предлагаемой ММ в КС судового дизеля рассматривается взаимодействие только собственного потока излучения объемных зон V_i и соответствующих граничных (поверхностных) зон F_1, F_2 и F_3 . Основные положения предлагаемой ММ сводятся к следующему. Процесс теплообмена излучением в цилиндре судового дизеля с неразделенной КС на установившемся режиме работы рассматривается нами на адекватной физической модели, весьма подробно представленной в [18]. Проведенная модификация фундаментальной постановки задачи радиационного теплообмена в части учета эффективного излучения позволило предложить для расчета падающих на поверхности крышки цилиндра, втулки и поршня потоков излучения систему уравнений вида:

$$\left. \begin{aligned} E_{над}(M_1) &= E_{соб}(M_{V_1})\psi(M_{V_1}, F_1) + E_{соб}(M_{V_2})\psi(M_{V_2}, F_1) + E_{соб}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_1); \\ E_{над}(M_2) &= E_{соб}(M_{V_1})\psi(M_{V_1}, F_2) + E_{соб}(M_{V_2})\psi(M_{V_2}, F_2) + E_{соб}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_2); \\ E_{над}(M_3) &= E_{соб}(M_{V_1})\psi(M_{V_1}, F_3) + E_{соб}(M_{V_2})\psi(M_{V_2}, F_3) + E_{соб}(M_{V_3})\psi(M_{V_3}, F_3). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Обобщенные угловые коэффициенты излучения $\psi(M_{V_i}, F_i)$ от локальных объемных зон в системе уравнений (6) представлены в ММ как произведение угловых (геометрических) коэффициентов и параметра Бугера, учитывающего поглощение излучения в объеме КС:

$$\psi(M_V, F_k) = \varphi(M_V, F_k) \exp(-kL), \quad (7)$$

где $\varphi(M_V, F_k)$ – угловой (геометрический) коэффициент излучения; k – коэффициент ослабления; L – эффективная длина пути луча.

В итоге с учетом принятого в ММ допущения результирующие потоки излучения для поверхностей крышки цилиндра, втулки и поршня могут быть определены следующим образом:

$$E_{pez}(M_1) \approx E_{над}(M_1); \quad E_{pez}(M_2) \approx E_{над}(M_2); \quad E_{pez}(M_3) \approx E_{над}(M_3). \quad (8)$$

Система уравнений (6) с соответствующими краевыми условиями решалась на ЭВМ по специальной программе в квазистационарном представлении. Полученные средние за рабочий цикл значения радиационных тепловых потоков для дизеля 6ЧН 24/36 лежат в пределах 40–90 кВт/м², что с точностью 10–18 % совпадает с известными экспериментальными данными [14, 15, 19] и подтверждает адекватность предложенной ММ. Ее использование позволяет еще на стадии проектирования и доводки прогнозировать теплонапряженное состояние деталей, образующих КС, и решать ряд вопросов, связанных с повышением эксплуатационной надежности современных судовых дизелей.

Список литературы

1. Суринов, Ю.А. Об итерационно-зональном методе исследования и расчета лучистого теплообмена в поглощающей и рассеивающей среде / Ю.А. Суринов // Изв. СО АН СССР. – 1978. – Вып. 2, № 8. – С. 106–125.
2. Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
3. Блох, А.Г. Теплообмен излучением: справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.

4. Петриченко, Р.М. Элементы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко, С.А. Батурин, Ю.Н. Исаков и др. – Л.: Машиностроение, 1990. – 328 с.
5. Гладышев, А.В. Экспериментальное исследование температурно-концентрационных полей в цилиндре дизеля / А.В. Гладышев, В.А. Вагнер, Д.Д. Матиевский // Двигателестроение. – 1990. – № 7. – С. 3–6.
6. Kamimoto, T. Particulate formation structure in diesel engine / T. Kamimoto, M.Yagita // SAE Preprints. – 1989. – № 890436. – 9 p.
7. Oguri, T. Radiant heat transfer in diesel engines / T. Oguri, S. Inaba // SAE Preprints. – 1972. – № 720023. – 19 p.
8. Kostin, A.K. Radiative heat transfer in a diesel cylinder an experiment and method of calculation / A.K. Kostin, B.I. Rudnev // Proceedings 19th International Symposium “Heat and mass transfer in gasoline and diesel engines”. – Dubrovnik, Yugoslavia. – 1987. – P. 439–448.
9. Кавтарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях / Р.З. Кавтарадзе. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 472 с.
10. FIRE. Users Manual Version 8.5. AVL LIST GmbH Graz, Austria, 2007. (Лицензионное соглашение DKNR: BMSTU 101107 между МГТУ им. Н.Э. Баумана и APS Consulting).
11. Bozza, F. Numerical simulation of incylinder processes and duct flow in a light duty diesel engine / F. Bozza, M.C. Cameretti, R. Tuccillo // Fourth International symposium on small diesel engine. – Journal of Polish CIMAC. – Warsaw, Poland. – 1996. – Vol. 2, № 1. – P. 51–56.
12. Rudnev, B.I. A simple model of convective heat transfer in the combustion chamber of diesel engine / B.I. Rudnev, V.M. Bepalov, Yu.G. Izrailsky et al // Fourth International Symposium on small diesel engine. – Journal of Polish CIMAC. – Warsaw, Poland. – 1996. – Vol. 2, № 1. – P. 177–182.
13. Руднев, Б.И. Оптические параметры частиц сажи и энергетические характеристики радиационного теплообмена в камере сгорания дизельного двигателя / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // Тепловые процессы в технике. – 2013. – Т. 5, № 10. – С. 476–480.
14. Руднев, Б.И. Процессы локального теплообмена в камере сгорания дизелей / Б.И. Руднев. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 221 с.
15. Руднев, Б.И. Процессы теплообмена в камере сгорания дизельных двигателей. Эксперимент и математическое моделирование / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина. – Saarbrucken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 112 с.
16. Руднев, Б.И. Расчетные значения оптико-геометрических характеристик радиационного теплообмена в камере сгорания дизельного двигателя / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 1–2. – С. 199–202.
17. Руднев, Б.И. Анализ взаимодействия радиационных тепловых потоков в камере сгорания дизеля / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // Materials of the X International scientific and practical conference “Modern European science -2014”. Vol. 17. Technical sciences. – Sheffield. – Science and Education LTD. – 2014. – P. 65–72.
18. Руднев, Б.И. Особенности расчета оптико-геометрических характеристик теплообмена излучением в камере сгорания дизельного двигателя / Б.И. Руднев, О.В. Повалихина // Тепловые процессы в технике. – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 87–91.
19. Flynn, P. An experimental determination of the instantaneous potential radiant heat transfer within an operating Diesel engine / P. Flynn, M. Mizusawa, O.A. Uyehara et al // SAE Preprints. – 1972. – № 720022. – 32 p.

Сведения об авторах: Руднев Борис Иванович, доктор технических наук, профессор; Повалихина Ольга Владимировна, доцент, e-mail: povalichina@mail.ru.

УДК 621.6-7

А.Н. Соболенко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ НАЧАЛА СЖАТИЯ В РАБОЧЕМ ЦИКЛЕ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ПО СПОСОБУ МИЛЛЕРА

Способ охлаждения наддувочного воздуха Миллера характеризуется наличием угла опережения закрытия впускных клапанов до прихода поршня в нижнюю мертвую точку на такте впуска. При этом возникает задача определения давления и температуры начала сжатия при приходе поршня в нижнюю мертвую точку.

Предлагается определять эти параметры исходя из параметров воздушного заряда перед впускными клапанами и из предположения, что процесс расширения после закрытия впускного клапана в цилиндре является политропным, по аналогии с действительными процессами сжатия и расширения.

Получены формулы, позволяющие рассчитать показатель политропы расширения, давление и температуру в конце расширения – начале такта сжатия в процедуре Миллера.

Приведены результаты расчета и показаны целесообразные пределы увеличения угла опережения закрытия впускных клапанов на такте впуска при изменении степени сжатия от $\varepsilon = 12,5$ до $\varepsilon = 14,5$.

Ключевые слова: *охлаждение, наддувочный воздух, способ Миллера, давление, температура, показатель политропы.*

A.N. Sobolenko

TEMPERATURE AND PRESSURE CALCULATION AT THE BEGINNING OF THE COMPRESSION STROKE IN THE OPERATIONAL CYCLE USING SUPERCHARGING AIR CALLING BY MILLERS MODE

The Millers mode of cooling supercharging air is characterized by of closing inlet valve before piston comes to bottom dead centre during inlet stroke. In this case the problem to determine pressure and temperature at the bottom dead centre piston position (the beginning of the compression stroke) is arised.

It is assumed to determine these parameters proceeding from air charge parameters before inlet valves using assumption that expansion process in cylinder is polytropic process by analogy with real compression and expansion processes.

Formulas one found which make it possible to calculate polytropic exponent of expansion, pressure and temperature at the end of expansion – at the beginning compression of stroke using Millers mode.

Results of calculation are given. More rational of advance angle limits of inlet valves closing are given when compression ratio is varied from $\varepsilon = 12,5$ to $\varepsilon = 14,5$.

Key words: *cooling, supercharge air, Millers mode, pressure, temperature, polytropic exponent.*

Предложенный и осуществленный Франком Миллером способ отличается от обычного способа наддува наличием изменяющейся фазы закрытия впускного клапана. При увеличении нагрузки, т.е. при повышении давления наддува, угол опережения закрытия впускного клапана увеличивается, вследствие чего рабочий цилиндр лишь частично заполняется свежим зарядом. Перед ходом сжатия, т.е. еще во время хода впуска, заряд в цилиндре расширяется (при движении поршня до НМТ) и при этом охлаждается. Сжатие начинается (за счет уменьшения количества заряда по сравнению с тем, которое могло быть достигнуто при этом же давлении наддува с другими фазами газораспределения) при более низкой температуре, чем при поступлении в цилиндр полного заряда [1].

У двигателей с наддувом недостаток, заключающийся в уменьшении наполнения цилиндра, может быть компенсирован соответствующим повышением давления наддува. Использование способа Миллера особенно актуально для шеститактного рабочего цикла, имеющего высокую энергию выпускных газов, способных обеспечить высокие степени наддува и для которых остро стоит проблема снижения температур в рабочем цикле [2].

При расчетах рабочего цикла с использованием способа Миллера возникает задача определения давления и температуры начала сжатия.

В данной статье предлагается определять эти параметры исходя из параметров воздушного заряда перед впускными клапанами и из предположения, что процесс расширения после закрытия впускного клапана в цилиндре является политропным, по аналогии с действительными процессами сжатия и расширения [3].

Показатель политропы расширения определится из известного соотношения

$$n_1^1 - 1 = \frac{8,315}{a_v + b_v T_a \left(1 + \varepsilon^{n_1^1 - 1}\right)}, \quad (1)$$

где a_v и b_v – коэффициенты уравнений средней изохорной теплоемкости, определяются по следующим формулам:

$$a_v = \frac{\gamma_r \cdot 20,47 + [\alpha(1 + \gamma_r) - \gamma_r] \cdot 19,26}{\alpha(1 + \gamma_r)};$$

$$b_v = \frac{\gamma_r \cdot 0,036 + [\alpha(1 + \gamma_r) - \gamma_r] \cdot 0,025}{\alpha(1 + \gamma_r)};$$

γ_r – коэффициент остаточных газов; α – коэффициент избытка воздуха для сгорания топлива; T_a – температура в начале сжатия, К; ε – степень сжатия.

Величина степени расширения в зависимости от угла опережения закрытия впускного клапана до НМТ может быть определена по зависимости

$$\varepsilon_x = 1 - \cos \varphi_{on} + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi_{on}), \quad (2)$$

где λ – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна (постоянная КШМ); φ_{on} – угол опережения закрытия впускного клапана до НМТ.

В нашей задаче температура в начале сжатия неизвестна. Требуется решить обратную задачу по формуле (1), т.е. нам известна температура конца сжатия T_k' .

Температура начала сжатия, а в нашем случае это температура конца расширения при движении поршня от закрытия впускного клапана до НМТ определится из соотношения

$$T_k' = T_a \varepsilon_x^{(n_1^1 - 1)}; \quad (3)$$

$$T_a = \frac{T_k'}{\varepsilon_x^{(n_1^1 - 1)}}. \quad (4)$$

Подставим выражение (4) в формулу (1):

$$n_1^1 - 1 = \frac{8,315}{a_v + b_v \frac{T_k'}{\varepsilon_x^{(n_1^1 - 1)}} (1 + \varepsilon_x^{n_1^1 - 1})} = \frac{8,315}{a_v + b_v T_k' \left(\frac{1}{\varepsilon_x^{(n_1^1 - 1)}} + 1 \right)}. \quad (5)$$

Формула (5) является расчетной для определения показателя политропы n_1^1 на участке расширения от угла закрытия впускных клапанов до НМТ.

Температура начала сжатия рабочего цикла определяется по формуле (4).

Значение степени расширения в зависимости от угла опережения закрытия впускных клапанов от НМТ определяется по формуле (2).

Температура воздушного заряда в цилиндре после закрытия впускных клапанов определится из соотношения

$$T_k' = \frac{T_k + \gamma_r T_r + \Delta T_a}{1 + \gamma_r}, \quad (6)$$

где T_k – температура воздушного заряда перед впускными клапанами после воздухоохладителя; T_r – температура остаточных газов в цилиндре дизеля; ΔT_a – величина подогрева заряда от стенок цилиндра, крышки доньшка поршня при поступлении его в цилиндр.

Давление начала сжатия, а в нашем случае это давление конца расширения при движении поршня от закрытия впускного клапана до НМТ определится из соотношения

$$p_k' = p_a \varepsilon_x^{n_1^1}; \quad (7)$$

$$p_a = \frac{p_k'}{\varepsilon_x^{n_1^1}}, \quad (8)$$

где $p_k' = p_k \zeta_{p_a}$; p_k – давление надувочного воздуха перед впускными клапанами; ζ_{p_a} – коэффициент снижения давления в начале сжатия.

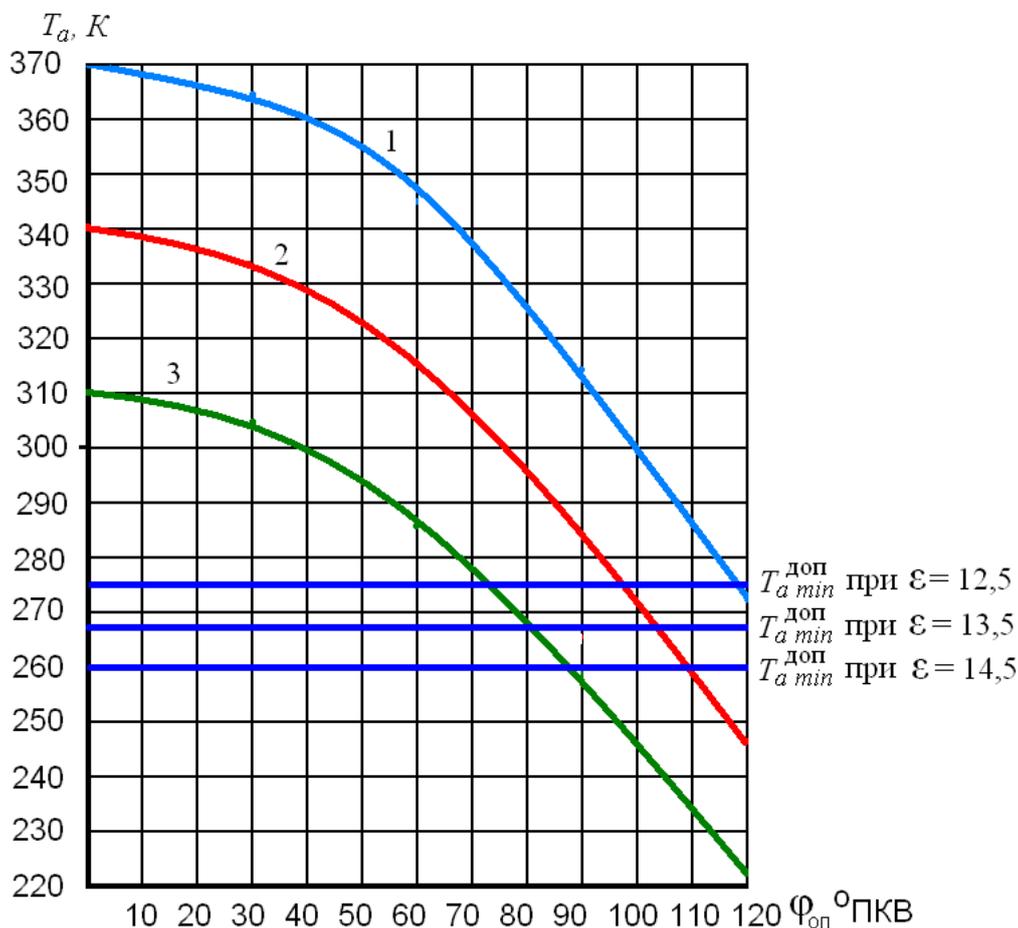
Результаты расчета изменения параметров в начале сжатия в зависимости от угла закрытия впускных клапанов до НМТ приведены на рисунке. В расчетах приняты следующие параметры: $\gamma_r = 0,08$; $\alpha = 3,25$; $\varepsilon = 12,5$; $\lambda = 0,25$. Расчет выполнен для трех значений температур воздушного заряда в цилиндре после закрытия впускных клапанов: $T_k' = 310$ К, 340 К и 370 К. Угол опережения закрытия впускных клапанов варьировался от 0 до 120 °ПКВ.

На этом же рисунке нанесены линии минимально допустимой температуры начала сжатия исходя из возможности обеспечения надежного самовоспламенения впрыскиваемого дизельного топлива. Температура надежного самовоспламенения принята равной $T_{\min}^{\text{доп}} = 700$ К.

Как следует из графиков, при увеличении угла опережения закрытия впускных клапанов φ_{on} температура T_a в НМТ (начало сжатия следующего после наполнения процесса) понижается. Сначала примерно до $\varphi_{on} = 40$ ° ПКВ это понижение имеет плавный характер и затем резко падает.

Наиболее вероятно достижимой является температура $T_k' = 340$ К при использовании водовоздушных охладителей рекуперативного типа. Для этой температуры увеличение φ_{on}

свыше 97 °ПКВ при степени сжатия 12,5 и свыше 110 °ПКВ при степени сжатия 14,5 нецелесообразно, так как могут возникнуть проблемы с самовоспламенением дизельного топлива.



Изменение температуры в начале процесса сжатия в зависимости от угла опережения закрытия впускных клапанов до НМТ и температуры заряда в цилиндре после их закрытия:

$$1 - T'_k = 370 \text{ К}; 2 - T'_k = 340 \text{ К}; 3 - T'_k = 371 \text{ К}$$

The temperature change at the compression stroke beginning subject to advance angle limits of inlet valves closing and air charge temperature in cylinder after theirs closing:

$$1 - T'_k = 370 \text{ К}; 2 - T'_k = 340 \text{ К}; 3 - T'_k = 371 \text{ К}$$

Список литературы

1. Циннер, К. Наддув двигателей внутреннего сгорания / К. Циннер / пер. с нем. В.И. Федышина; под ред. Н.Н. Иванченко. – Л.: Машиностроение, 1978. – 264 с.
2. Соболенко, А.Н. Обобщенный теоретический цикл шеститактного ДВС и его частные случаи подвода теплоты / А.Н. Соболенко // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – Т. 33. – С. 55–61.
3. Ваншейдт, В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания / В.А. Ваншейдт. – Л.: Судостроение, 1977. – 390 с.

Сведения об авторе: Соболенко Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: sobolenko_a@mail.ru.

УДК 621.431.74-729.3

Н.Н. Тарашан¹, П.П. Кича², Л.А. Семенюк¹

¹Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА КОМБИНИРОВАННЫМ ФИЛЬТРОВАНИЕМ В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ С ВЫСОКИМ НАДДУВОМ

Излагаются результаты исследований по повышению эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых форсированных дизелях комбинированным фильтрованием. Приводятся типоразмеры и схемы включения фильтров и фильтрующих элементов в систему смазки двигателя при комбинированной очистке масла. Показаны достоинства и преимущества комбинированного фильтрования моторного масла по сравнению с полнопоточным при его очистке в судовых дизелях с высоким наддувом.

Ключевые слова: комбинированное фильтрование, очистка моторного масла, фильтр, фильтрующие элементы, изнашивание двигателя, ресурсосберегающее маслоиспользование, расход масла.

N.N. Tarashchan, P.P. Kicha, L.A. Semeniuk EFFICIENCY IMPROVEMENT OF ENGINE OIL FINE PURIFICATION BY COMBINED FILTERING IN MARINE DIESEL ENGINES WITH HIGH-PRESSURE CHARGING

This paper gives investigation results on efficiency improvement of engine oil fine purification in marine high-powered diesel engines by combined filtering. Standard dimensions and connection schemes of filters and filtering elements into engine lubricating system during combined oil purification are given. Benefits and advantages of engine oil combined filtering as compared to the full-flow oil during its purification in marine diesel engines with high-pressure charging are shown.

Key words: combined filtering, diesel oil purification, filter, filtering elements, engine wear, resource saving oil usage, oil consumption.

Введение

Эксплуатация судовых тронковых дизелей с высоким наддувом, особенно при применении моторного топлива, флотских и топочных мазутов, сопровождается интенсивным загрязнением моторного масла (ММ) нерастворимыми примесями [3]. В этих ДВС из-за высокой форсировки и низкого угара масла приходится применять ММ со значительным уровнем эксплуатационных свойств – термоокислительной и моюще-диспергирующей стабильностью. Сжигание низкосортных топлив и использование высокозольных термостойких масел приводит к значительному возрастанию абразивности и скорости поступления нерастворимых продуктов (НРП) в систему смазки (СС) форсированного тронкового дизеля [7].

Существующие системы полнопоточного фильтрования масла не способны обеспечить требуемую глубину очистки ММ, что интенсифицирует его старение и изнашивание двигателя [3]. Тонкость отсева масляного полнопоточного фильтра (ФМП) выбирается из условий защиты подшипников двигателя от попадания в трибосопряжения «вкладыш – шейка коленчатого вала» крупных механических примесей. Мелкие НРП (продукты изнашивания и двигателя срабатывания присадок) этими фильтрами не удаляются, что ускоряет окисление масла и снижает срок его службы. Интенсификация удаления этих продуктов ФМП путем уве-

личения тонкости отсева приводит к сокращению срока службы полнопоточных фильтрующих элементов (ФЭПП). Кроме того, открываясь на длительный срок, при фильтровании холодного масла предохранительные клапаны этих очистителей пропускают в пары трения дизеля нефильТРованное масло, что может вызвать повреждение подшипников.

Системы очистки ММ в дизеле, использующие фильтры грубой очистки на полном потоке и частичнопоточные маслоочистители, подключаемые байпасом (на ответвление) к основной магистрали масла, обеспечивают глубокую очистку от мелкодисперсных нерастворимых загрязнений. Однако в этом случае надежность защиты подшипников двигателя от крупных механических примесей низка. Поэтому при частичнопоточном фильтровании возможно высокое абразивное изнашивание вкладышей и шеек коленчатого вала двигателя [6].

Объекты и методы исследований

Проведенные разработки [1, 7] позволили достичь такого комплектования комбинированной системы тонкой очистки масла (КСТОМ), при котором возможности полно- и частичнопоточного фильтрования в повышении эффективности очистки ММ в форсированных судовых дизелях реализуются полностью. Достоинство проведенных исследований состоит в обосновании для фильтрующих элементов (ФЭ) полного и частичного потоков характеристик фильтровальных материалов (ФМ), способных к полному взаимодействию при комбинированном фильтровании масла в СС дизелей.

КСТОМ на основе фильтрования сочетает в себе достоинства обеих схем очистки, обеспечивая полнопоточным фильтрованием надежную защиту пар трения (подшипников коленчатого вала) двигателя от попадания в трибосопряжения крупных абразивных частиц механических примесей с размерами, превышающими 25 мкм. Частичнопоточное фильтрование, функционируя в благоприятных гидродинамических условиях, способствует глубокой очистке ММ от мелкодисперсной нерастворимой фазы загрязнений, что тормозит окисление масла и вызывает снижение нагаро- и лакообразования деталей двигателя.

Беря на себя основную грязевую нагрузку, частичнопоточные фильтрующие элементы (ФЭЧП) облегчают функционирование полнопоточных (элементов). Последние работают дольше в режиме фильтрования полного потока масла, поступающего во внутреннюю СС двигателя. Предохранительные (перепускные) клапаны ФЭПП при наличии частичнопоточных элементов реже срабатывают и открываются на более короткий период времени при перепуске холодного масла, особенно в конце своего срока службы, который в этом случае значительно удлиняется.

Разработка систем очистки и агрегатов очистки ММ в дизелях с высоким наддувом осуществлялась на основе следующих принципов:

- разграничения функций очистителей полного и частичного потоков;
- подбора поровых структур полно- и частичнопоточных ФЭ, обеспечивающих саморегулирование отсева НРП разной дисперсности;
- снижения «грязевой» нагрузки на полнопоточные ФЭ для длительного функционирования их при высокой тонкости отсева с низким гидравлическим сопротивлением, что способствует их высокому сроку службы;
- повышения интенсивности очистки и грязеемкости частичнопоточных ФЭ оптимизацией их поровой структуры для достижения высокой полноты отсева масла от мелкодисперсного загрязнителя.

По результатам исследований [3, 6] уточнены схемы включения комбинированных фильтров и ФЭ в систему смазки судовых дизелей, разработаны типоразмеры ФМК и полно- и частичнопоточных ФЭ к ним. Кроме того, предложены ФМ, поровая структура которых полностью удовлетворяет требованиям к очистке масла по полно- и частичнопоточной схемам. Для улучшения гидравлических свойств полнопоточных ФЭ предложено их фильтро-

вальную штору поверхностного типа формировать в виде многолучевой звезды совместно с подложкой из полиэтиленовой сетки. Поровая структура ФМ для них должна иметь «узкое» распределение капилляров по диаметру [2].

В системах комбинированию подлежали агрегаты очистки, в фильтрах – элементы, в элементах – фильтрующие перегородки. Возможно двойное комбинирование. Разные ФЭ могут устанавливаться в отдельных очистителях, совмещаться в одном агрегате и быть составными (комбинированными). Шторы, элементы, фильтры при комбинированной очистке масла находятся в сложной гидравлической связи между собой и с системой смазки. Принципиально важен способ подключения их к СС: полнопоточно, т.е. с фильтрованием всего потока масла, поступающего в распределитель и далее в пары трения двигателя; частично-поточно – с очисткой части масла и сбросом его в картер или присоединением к основному потоку. Возможны полно- и частичнопоточная (комбинированная) схемы очистки.

На рис. 1 показаны способы подключения фильтров (ФЭ и их штор) к СС двигателя [6]. Для ограничения потока масла через частичнопоточные фильтры, элементы (шторы) предусмотрен дроссель. Регулировочный клапан (рис. 1, в) автоматически вводит в процесс фильтрования вспомогательный элемент при тяжелых (критических) режимах работы основного ФЭ.

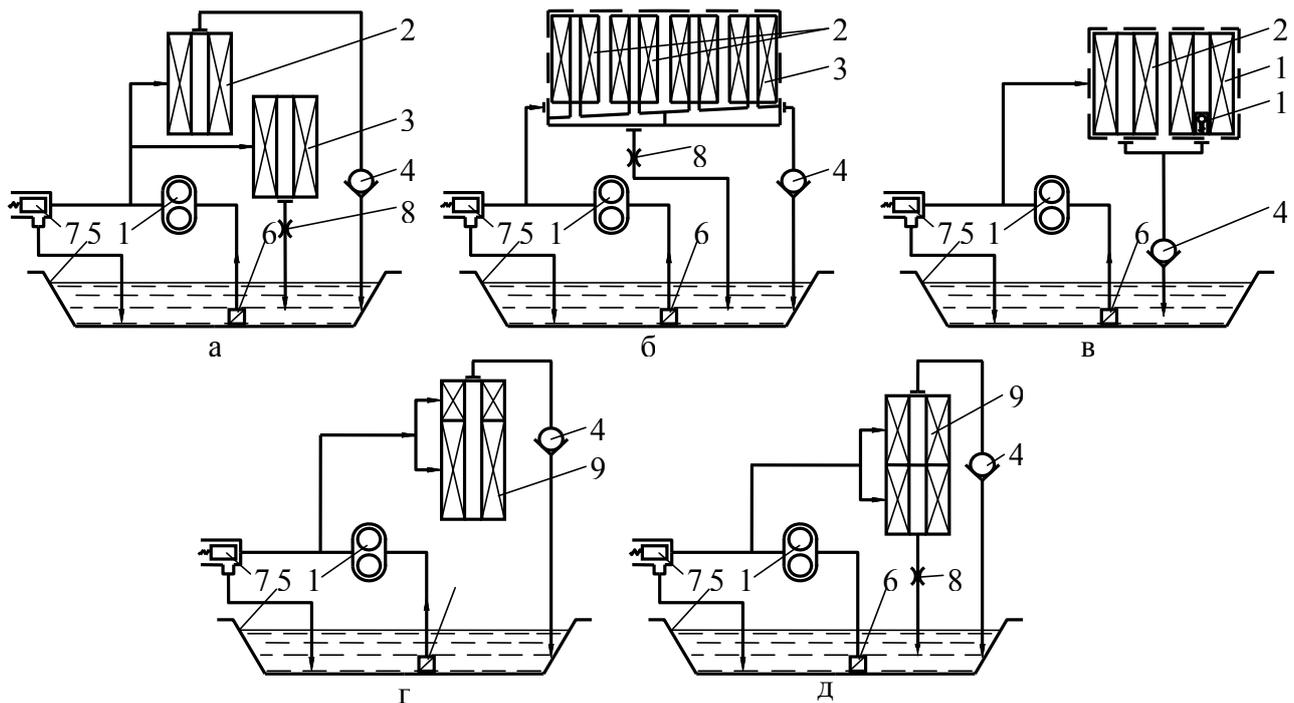


Рис. 1. Схемы включения очистителей в систему смазки двигателя при комбинированном фильтровании масла: а – комбинированная система очистки масла с ФЭПП и ФЭЧП; б, в – системы очистки с комбинированными фильтрами; г, д – системы с ФЭППК и ФЭК; 1 – масляный насос; 2 – ФЭПП; 3 – ФЭЧП; 4 – главная магистраль; 5 – картер двигателя; 6 – маслоприемник; 7 – перепускной клапан; 8 – дроссель; 9 – комбинированный фильтрующий элемент; 10 – вспомогательный фильтрующий элемент; 11 – регулирующий клапан

Fig. 1. Scheme of purifiers' connection to the engine lubrication system during combined oil filtering: а – combined oil filtering with ФЭПП and ФЭЧП; б, в – purifying systems with combined filters; г, д – systems with ФЭППК and ФЭК; 1 – oil pump; 2 – ФЭПП; 3 – ФЭЧП; 4 – main line; 5 – crankcase; 6 – oil receiver; 7 – bypass valve; 8 – throttle; 9 – combined filter element; 10 – auxiliary filter element; 11 – adjusting valve

При создании типоразмерного ряда масляных сменных фильтрующих элементов использовался ГОСТ 22858–97. Для дизелей мощностью 20–5000 кВт предложено пять типоразмеров элементов емкостью 0,6–10,2 дм³ [3]. Для комбинированной очистки масла рекомендуются элементы полнопоточные (ФЭПП), частичнопоточные (ФЭЧП) и комбинированные (ФЭППК, ФЭК). ФЭППК (элемент полнопоточный, комбинированный) [6] работает в СС по схеме (рис. 1, з). Полно- и частичнопоточная очистка масла ФЭК осуществляется по схеме (рис. 1, д).

Основные размеры и характеристики элементов приведены в работе [1]. Там же указаны формы укладки фильтрующих перегородок и материалы. В элементах поверхностные ФМ сформированы в виде многолучевой звезды (код такой формы укладки 1). Для улучшения гидравлической характеристики элементов многолучевая звезда изготавливалась с гребенчатыми вставками или подложкой. Эти фильтрующие перегородки обозначены соответственно 1В и 1П. Штора в виде многолучевой звезды с поперечными складками оптимизирована [1]. Ее применение закодировано цифрой 4.

В табл. 1 приведены характеристики ФМ, рекомендованных к использованию при комбинированной очистке масла. В основном это листовые материалы толщиной 0,42–0,98 мм с тонкостью отсева 5–60 мкм. Для их изготовления применяются натуральные и синтетические волокна, скрепляемые латексом, поливинилацетатной эмульсией и другими клеящими составами.

Бумаги для фильтрации масла (БФМ) формируются мокрым способом, остальные материалы – сухим. В материалах типа ФМ (ОФМ) [1, 3] используются как грубые, толщиной 60–120 мкм при длине 15–35 мм, так и тонкие, 9–25 мкм, волокна. Поровая структура таких материалов неоднородна.

Эффективность ФЭППК подробно изложена в работе [6]. При их применении происходит саморегулирование потоков масла через шторы с разной поровой структурой, что в конечном итоге улучшает очистку масла от НРП и гидравлику комбинированного элемента. Однако более полно возможности мелкопористого материала могут быть реализованы только в элементах, которые к СС подключаются байпасно.

Таблица 1

Фильтровальные материалы для комбинированной очистки моторного масла в ДВС

Table 1

Filter materials for combined cleaning of engine oil in internal combustion engines

Фильтрующий материал, область применения	Тип материала	Толщина, мм	Тонкость очистки, мкм	Максимальный размер пор, мкм	Пористость, %	Удельная пропускная способность, м/ч	Коэффициент отсева**,
1	2	3	4	5	6	7	8
Для полнопоточного комбинированного фильтрации масла: КФМ-25* КФМ-40 НКФМ-35 ДРКБ-45 БМ-40 БМ-45 МФ-30 МФ-35	Поверхностный	0,92	25	83	86	22	33
		0,69	40	90	87	51	9
		0,50	35	113	69	57	13
		0,42	45	140	81	100	4
		0,70	40	128	83	108	6
		0,50	45	140	80	134	5
		0,55	30	128	75	65	12
		0,98	35	126	77	52	11

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Для частичнопоточного фильтрации масла в комбинированных сис- темах очистки:	Объемный						
КФМ-10		1,80	10	31	89	14	79
НКФМ-20***		0,70	20	58	76	18	46
БМ-10		0,42	10	40	87	12	75
БМ-15		0,47	15	52	85	17	52
ФМ-35		4	35	118	83	13	71
ФМ-60		4	60	152	86	28	34
ОФМ-5		–	5	–	87	–	98

* В условном обозначении фильтровального материала число указывает величину тонкости отсева, определенную по ГОСТ 14146-69.

** Приводится для кварцевого загрязнителя с удельной поверхностью 1,05 м²/г (ГОСТ 8002-74).

*** Материал может использоваться и для полнопоточного комбинированного фильтрации масла.

Типоразмеры и основные параметры ФМК (фильтров масляных комбинированных), разработанных для дизелей мощностью свыше 100 кВт, приведены в работе [3]. В системе смазки фильтры подключаются по схеме (см. рис. 1, б). В ФМК-2/1 – 2ФМК-12/8 используются фильтрующие элементы типа ФЭПП-6,4 и ФЭЧП-6,4 в количестве 2–12. Полный поток обрабатывают один–восемь элементов. Прочка масла через них может составлять 7,5–60 м³/ч.

Регулирование (ограничение) потока масла через ФЭЧП осуществляется для условий достижения ими максимальной грязеемкости. Начальная пропускная способность ФЭЧП-6,4 устанавливается 0,1–1 м³/ч. Нижний предел соответствует применению объемного материала ОФМ-5, верхний – поверхностного НКФМ-20. Соотношение между числом ФЭЧП и ФЭПП в комбинированных маслоочистителях составляет 1 : 2, 1 : 1 и 2 : 1, что позволяет удовлетворить потребности систем смазки ДВС с любыми характеристиками масла и параметрами его старения.

При удельной скорости загрязнения масла НРП продуктами ниже 0,02 и выше 0,05 г/(кВт·ч) используются комбинированные фильтры соответственно с заниженным и завышенным числом ФЭЧП. В диапазоне скоростей 0,03–0,04 г/(кВт·ч) число ФЭЧП и ФЭПП в ФМК одинаково. Окончательно типоразмер фильтра выбирается исходя из характеристик дизеля, системы смазки и применяемых масел по результатам расчета поверхности полнопоточной фильтрации.

Результаты и их обсуждение

Целью эксплуатационных испытаний на судах комбинированных фильтров, содержащих в одном корпусе ФЭ, функционирующих в полнопоточном режиме очистки и подключаемых в СС байпасом со сбросом отфильтрованного масла в картер двигателя [6], было определение их эффективности в дизелях с высоким наддувом, использующих топочные мазуты. Сравнение эффективности работы фильтров масляных комбинированных (ФМК) велось относительно результативности использования в двигателях штатных средств очистки – полнопоточных фильтров ФМП (табл. 2). Эксперимент осуществлялся этапами по 2 тыс. ч. На каждом из выбранных двигателей испытанию подверглись опытная и штатная системы очистки масла.

Объектом испытаний ФМК был форсированный дизель Vasa20 (4ЧН20/28) ($P_e = 1000$ кВт, $p_{me} = 2,4$ МПа, $n_{ДВ} = 16,7$ с⁻¹). Двигатель работал на масле М-14-Д₂(цл30) и топочном мазуте М-100 (ГОСТ 16585-75). Опытная система очистки включала фильтр ФМК-6/3 с полно- и

частичнопоточными ФЭ типоразмера 6,4 (145/55.363), использующих фильтровальные материалы ДРКБ-40 (полнопоточные элементы) и КФМ-10 (частичнопоточные). Штатная система предусматривала применение фильтра ФМП-4 с ФЭ «Нарва 6-4», фильтрующая штора которого была сформирована из материала ДРКБ.

Судовой эксперимент проводился с соблюдением ОСТ 24.060.09-89. Пробы масла на анализ отбирались через 200 ч работы дизеля. С такой же периодичностью осуществляли его долив для компенсации угара. Оценка износа деталей дизеля (цилиндровых втулок и шеек коленчатого вала) производили с использованием метода искусственных баз (приборы УПОИ-6 и УПОИВ-2). Износ поршневых колец и вкладышей мотылевых подшипников контролировали их взвешиванием на аналитических весах ВЛА-200 до и после испытаний на каждом этапе. Нагаро- и лакообразование ДВС оценивали в балльной системе 344Т измерением площади, твердости и толщины нагаров, отложившихся на поршнях [4].

Таблица 2

**Моторная эффективность полнопоточного и комбинированного
фильтрации масла М-14-Д₂(цл30) в дизеле Vasa20**

Table 2

**Frictional: characteristic of full-flow and combined M-14-Д₂ (цл30) oil
in diesel engine Vasa20**

Показатель	ФМП-4	ФМК-6/3
<i>Состояние моторного масла:</i>		
Концентрация НРП, %		
общих	1,8 ± 0,3	1,3 ± 0,2
зольных	0,48 ± 0,07	0,32 ± 0,05
Щелочность масла, мг КОН/г	7,4 ± 1,2	12,5 ± 1,6
Степень окисления, %	9,0 ± 1,1	6,9 ± 0,8
Содержание смол, %	11,5 ± 1,2	7,5 ± 0,06
Содержание присадок, %	18 ± 2	33 ± 3
Диспергирующая способность, отн. ед.	0,48 ± 0,05	0,56 ± 0,08
<i>Интенсивность (скорость) старения масла, г/ч:</i>		
Поступление НРП	22,4 ± 3,2	18,7 ± 2,4
Срабатывание присадок	51,4 ± 6,2	38,7 ± 4,2
Окисление	58 ± 7	45 ± 6
Смолообразование	132 ± 15	96 ± 12
<i>Работа маслоочистителей:</i>		
Интенсивность очистки от НРП, г/ч:		
общих	72 ± 8	340 ± 42
зольных	101 ± 9	420 ± 56
Срок службы ФЭ, тыс. ч		
полнопоточных	0,83 ± 0,22	1,32 ± 0,15
частичнопоточных	—	0,76 ± 0,10
<i>Скорость изнашивания:</i>		
Поршневых колец, г/1000 ч	9,1 ± 1,3	5,8 ± 0,7
Цилиндровых втулок, мкм/1000 ч	18,6 ± 1,9	12,4 ± 1,7
Вкладышей мотылевых подшипников, мг/1000 ч	158 ± 16	126 ± 14
Мотылевых шеек коленчатого вала, мкм/1000 ч	12,6 ± 1,3	9,8 ± 0,9
Нагаро- и лакообразование на поршнях (общая оценка), балл	15,6 ± 1,8	12,7 ± 1,3
Нагары в поршневых канавках, балл	5,6 ± 0,7	3,8 ± 0,4

Физико-химические показатели ММ и их старение оценивали на основе методик, апробированных в работе [4]. Загрязнение масла контролировали по содержанию НРП c , определяемом центрифугированием (ГОСТ 20684-75). Щелочность проб масла $Щ$ определяли по ГОСТ 11362-76. Степень (глубину) окисления масла $СО$ находили через отношение интегральной интенсивности поглощения карбонилсодержащих соединений $-C = 0$ к группе $-C = C-$ ароматических ядер. Содержание смол $См$ определяли методом диализа и хроматографии. Срабатывание присадок $П$ контролировали сопоставлением щелочности фугата и диализата свежего и работающего масла.

Наблюдение за работой маслоочистителей (МО) проводили по рекомендациям [3]. Контроль режимов работы и технического состояния дизелей осуществляли согласно правилам технической эксплуатации. Испытания вышеуказанных объектов вели так, чтобы нагрузочные режимы дизеля на обоих этапах работы были довольно близкими по средней мощности и ее дисперсии как при работе со штатными, так и опытными фильтрами. Угар масла в период эксплуатационных испытаний на номинальном режиме работы двигателей составлял 1,2–1,6 г/(кВт·ч).

Расчет интенсивности (скорости) a_i старения ММ по любому направлению, при условии равенства концентрации $c_{ид}$ рассматриваемого компонента в доливаемом масле его содержанию c_{io} в свежем продукте, вели по результатам анализа взятых проб по методике [4].

Кинетика старения масла М-14-Д₂(цл30) в дизеле 4ЧН20/28 при работе на топочном мазуте М-100 с содержанием серы 2,5 % показана на рис. 2. В этом двигателе преимущество комбинированного над полнопоточным фильтрованием как по состоянию ММ, так и дизеля проявилась ярко, что связано с его высокой форсировкой и применением топлива низкого качества.

Так, уровень загрязнения масла НРП в дизеле Vasa20 при его очистке штатным фильтром, несмотря на большую поверхность ФЭ, возрос до 1,9 %. Это вызвано высокой (22,4 г/ч) скоростью поступления в смазочную систему этого дизеля продуктов неполного сгорания топлива и низкой (72 г/ч) интенсивностью очистки масла от НРП (см. табл. 2). При применении ФМК-6/3 интенсивность очистки $Q_{ф\phi}$ по сравнению с полнопоточным фильтрованием возросла в 4,7 раза и составила 340 г/ч, что при скорости 18,7 г/ч привело к загрязнению масла НРП до уровня 1,3 %. По зольным нерастворимым примесям стабилизация их накопления в ММ при полнопоточном и комбинированном фильтровании происходила на средних концентрациях 0,48 и 0,32 % соответственно. У сравниваемых фильтров МО интенсивность очистки по этим продуктам равнялась 101 и 420 г/ч.

Влияние очистителей на глубину окисления масла проявилось в максимальной концентрации карбонилсодержащих продуктов (показатель $СО$) при штатном и опытном фильтрах на уровне соответственно 9,9 и 6,9 % (рис. 2). Смолообразование в дизеле 4ЧН20/28 проходило с интенсивностью 132 и 96 г/ч, что привело к накоплению в масле $См$ в количестве 12,9 % при включении в СС ФМП-4 и 8,7 % – ФМК-6/3.

Срок службы полнопоточных ФЭ у этих МО соответствовал 0,83 и 1,32 тыс. ч. Частично-поточные ФЭ комбинированного фильтра меняли в среднем через 0,76 тыс. ч работы. Дополнительное байпасное фильтрование масла, несмотря на увеличение тонкости отсева ФЭПП, способствовало увеличению $T_{фэпт}$ по сравнению со сроком службы ФЭ «Нарва 6-4» в 1,6 раза.

В дизеле с высоким наддувом роль комбинированного фильтрования в снижении скорости изнашивания деталей ЦПГ проявилась в наибольшей мере (см. табл. 2). Так, применение ФМК-6/3 по сравнению с полнопоточным фильтрованием привело к снижению скорости изнашивания поршневых колец в 1,57 раза – с 9,1 до 5,8 г/1000 ч. При переходе на комбинированную очистку ММ цилиндрические втулки стали изнашиваться с меньшей в полтора раза скоростью – с 18,6 до 12,4 мкм/1000 ч.

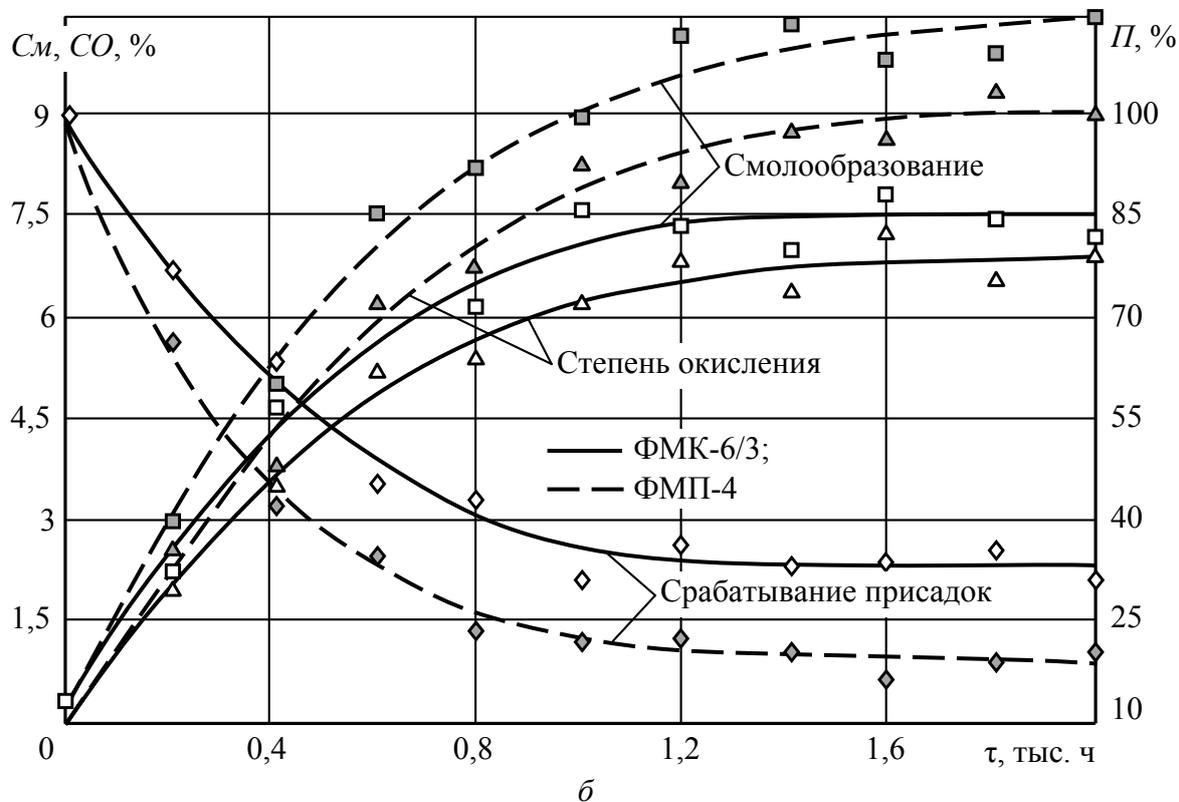
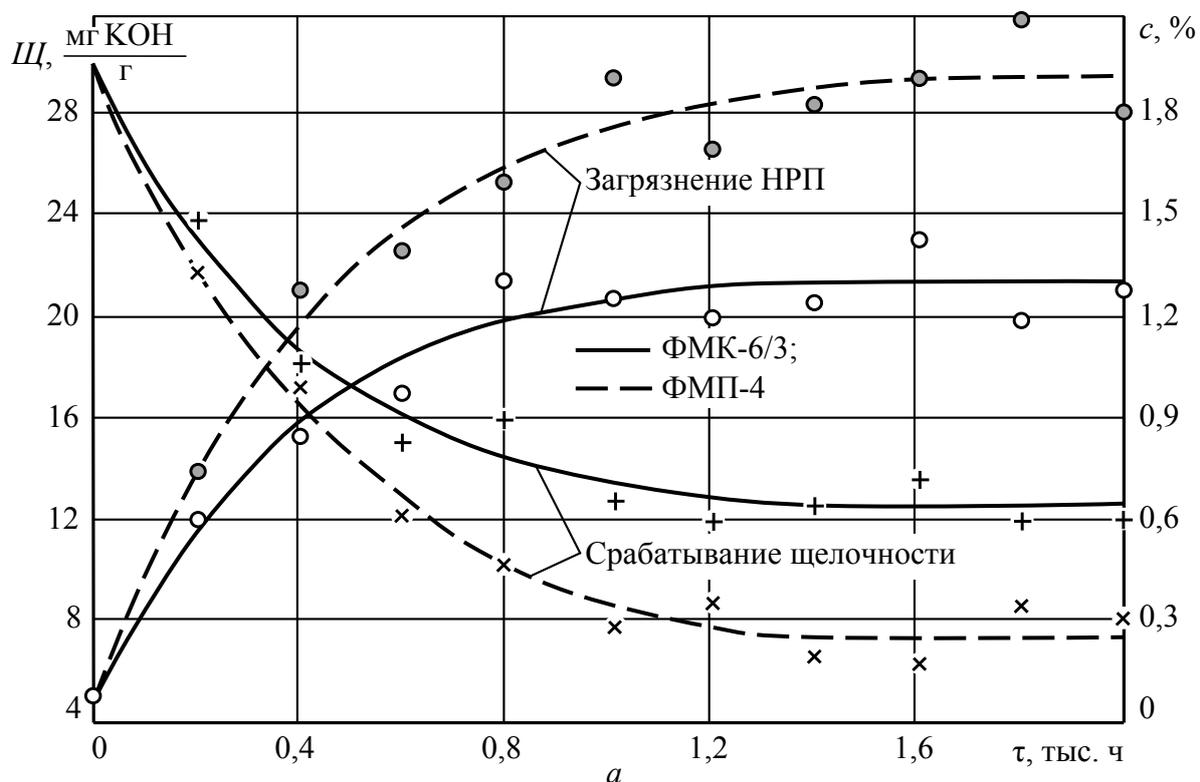


Рис. 2. Влияние МО на старение масла М-14-Д₂(цл30) в дизеле 4ЧН20/28
 Fig. 2. Influence of oil purifier on oil M-14-Д₂ (цл30) decomposition in diesel engine 4ЧН20/28

По вкладышам мотылевых подшипников и шейкам коленчатого вала, контактирующими с ними, при модернизации системы тонкой очистки масла зафиксировано незначительное снижение скорости изнашивания в 1,25–1,29 раза, что указывает на преобладающее значение в защите этих деталей от абразивного изнашивания полнопоточного фильтрования. В сравниваемых вариантах это направление очистки по тонкости отсева имеет почти одинаковые параметры.

Нагаро- и лакообразование при применении ФМК-6/2 по сравнению с ФМП-4 замедлилось в 1,23–1,47 раза. Причем наибольший эффект был зафиксирован в снижении нагаров в поршневых канавках, что сказывается на надежности работы дизеля. Его рабочие параметры и угар масла значительно стабильнее сохраняли эксплуатационный уровень при очистке ММ комбинированным фильтрованием. Как показали длительные эксплуатационные испытания, рост угара масла в дизелях Vasa20 по мере наработки моточасов при применении комбинированной очистки ММ был в 2–2,5 раза более медленным по сравнению с его очисткой только полнопоточным фильтрованием [6]. Это обусловлено более низкой скоростью изнашивания маслосъемных поршневых колец при применении ФМК.

Разница в эффективности ФМК и ФМП как во влиянии на изнашивание дизеля, так и срок службы ММ возрастает при ухудшении качества топлива, повышении моторных свойств масел, увеличении их термоокислительной стабильности, показателей моюще-диспергирующих свойств и щелочности, сопровождающихся ростом зольности.

Выводы

1. В результате выполненных исследований разработаны:

- новые научно-технические решения по комплексному повышению эффективности комбинированной очистки ММ;
- системы комбинированной очистки, позволяющие реализовывать преимущества очистки масла по полно- и частичнопоточной схемам;
- уточненные расширенные типоразмерные ряды унифицированных комбинированных фильтров и полно- и частичнопоточных ФЭ к ним;
- подходы к выбору поровых структур ФМ, обеспечивающих саморегулирование процесса отфильтровывания НРП разного дисперсного состава с достижением высоких функциональных характеристик ФЭ обоого назначения.

2. Использование в СС судовых форсированных дизелей комбинированных фильтров позволяет:

- обеспечить ресурсосберегающую эксплуатацию ДВС на низкосортных топливах;
- снизить по сравнению с полнопоточным фильтрованием изнашивание основных деталей двигателей в 1,2–1,8 раза;
- увеличить при тонкости отсева 25–50 мкм интенсивность очистки масла от НРП в 3–6 раз;
- затормозить старение ММ по основным направлениям в 1,5 раза и стабилизировать в течение длительного периода его угар на нижнем уровне;
- уменьшить расход и увеличить срок службы масла не менее чем на 30 %.

Список литературы

1. Кича, Г.П. Комбинированная очистка моторного масла в судовых тронковых дизелях: новые принципы и схемы очистки, результаты испытаний / Г.П. Кича, Н.Н. Таращан, А.В. Голенищев // Исследование по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта: сб. науч. тр. – Владивосток: ДВГТУ, 2009. – Вып. 47. – С. 148–159.

2. Кича, Г.П. Оптимизация рабочих параметров комбинированного фильтра при очистке моторного масла в судовых дизелях / Г. П. Кича, Н. Н. Таращан // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 3. – С. 143–149.

3. Кича, Г.П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием: монография / Г.П. Кича, Н.Н. Таращан, А.В. Надежкин. – Владивосток: МГУ им. Г.И. Невельского, 2015. – 175 с.

4. Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: монография / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. – Владивосток: МГУ им. Г.И. Невельского, 2011. – 372 с.

5. Кича, Г.П. Теоретическое исследование процесса загрязнения масла в ДВС с комбинированными системами очистки / Г.П. Кича, П.П. Кича // Двигателестроение. – 1980. – № 12. – С. 23–27.

6. Кича, Г.П. Тонкая очистка масла в ДВС комбинированным фильтрованием: результаты исследования и перспективы развития / Г.П. Кича, Н.М. Свистунов // Двигателестроение. – 1981. – № 12. – С. 17–23.

7. Кича, Г.П. Триботехнические характеристики нерастворимых продуктов загрязнения моторных масел и их влияние на износ двигателя / Г.П. Кича, Г.М. Липин, С.П. Полоротов // Трение и износ. – 1986. – Т. 7, № 6. – С. 1068–1078.

Сведения об авторах: Таращан Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: Nadezkin@msun.ru;

Кича Павел Петрович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: pkicha@inbox.ru;

Семенюк Людмила Анатольевна, старший преподаватель, e-mail: Nadezkin@msun.ru.

ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 664.95

В.Д. Богданов, О.В. Сахарова, Т.Г. Сахарова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ СУХОГО КОНЦЕНТРАТА ТРЕПАНГА БИОТЕСТИРОВАНИЕМ

*Представлены материалы исследований по определению относительной биологической ценности сухого концентрата трепанга, позволяющие в полной мере выявить влияние нового продукта на живую клетку тест-культуры *Tetrahymena pyriformis*.*

Установлено, что сухой концентрат трепанга по относительной биологической ценности не уступает казеину, является безопасным для тест-культуры, так как положительно влияет на показатели роста, жизнедеятельность и развитие живой клетки по поколениям инфузорий.

Ключевые слова: *относительная биологическая ценность, концентрат из трепанга, *Tetrahymena pyriformis*, динамика роста инфузорий.*

V.D. Bogdanov, O.V. Sakharova, T.G. Sakharova

SAFETY STUDIES AND BIOLOGICAL VALUE OF DRY CONCENTRATE HOLOTHUROIDEA BIO-TESTING

*The presented research materials to determine the relative bioavailability of dry concentrate holothuroidea, allowing to fully reveal the influence of the new product on the living cell test culture *Tetrahymena pyriformis*.*

The dried concentrate holothuroidea the relative biological value is not inferior to casein, is safe for the test culture as a positive effect on growth performance, vital functions and development of living cells on the generation of ciliates.

Key words: *relative biological value, concentrate holothuroidea, *Tetrahymena pyriformis*, the dynamics of the growth of protozoa.*

Актуальность темы исследований

В настоящее время в связи с значительным ухудшением здоровья населения и деградацией иммунных откликов организма на агрессивные вирусы и иммунодестабилизирующие заболевания, особенно остро стоит вопрос о создании механизмов, способных решать данную проблему. Сегодня существует множество препаратов медицинского назначения, позволяющих в той или иной степени стабилизировать или частично стимулировать иммунный статус человека, но, как правило, в основе таких препаратов находится чуждое для организма человека вещество, обладающее длительным периодом как усваивания, так и выведения [1, 2, 3, 4]. Поэтому современные технологии направлены на создание безопасных пищевых продуктов с повышенной биологической ценностью, а главное обладающих мультифункциональностью по отношению к иммунитету человека [5]. Общеизвестным фактом является то, что гидробионты обладают уникальным химическим составом, в основе которого лежат легко усвояемые белки и макро- и микро- элементы. Однако существуют особенно уникальные гидробионты, которые способны существенно улучшить иммунный статус человека, например трепанг.

Уникальное свойство трепанга – в нем никогда не находили возбудителей инфекций. Более того, вода вокруг места обитания животного также чистая – трепанг очищает воду, убивая бактерии. Трепангу свойственна быстрая регенерация тканей [6]. В наше время из трепанга готовят в основном вытяжку, обладающую иммуностимулирующим, антибактериальным, антиоксидантным, гепатопротекторным, регенерирующим, противогрибковым действием. Замечено также, что экстракт трепанга помогает в профилактике и лечении раковых заболеваний [7].

Однако следует заметить, что общеизвестным фактом является то, что при любой технологической обработке сырье при переходе в готовый продукт теряет порой значительное количество функциональных компонентов. Поэтому возникает вопрос о создании щадящей технологии переработки трепанга, позволяющей максимально сохранить его функциональные компоненты. Такой технологией может стать щадящее получение сухого концентрата из трепанга, который, по нашему мнению, будет обладать в большей степени мультифункциональными свойствами по сравнению с экстрактом, выделенным из него [8, 9].

Современные тенденции совершенствования ассортимента пищевых концентратов ориентированы на создание безопасной, сбалансированной по пищевой и биологической ценности продукции и продление сроков ее реализации. Поэтому исследование и разработка технологии пищевых концентратов из трепанга являются актуальными. Включение пищевых концентратов из трепанга в продукты питания поддержат иммунитет населения и обеспечат поступление в организм человека сбалансированного количества необходимых макро- и микроэлементов, незаменимых аминокислот. Микробная контаминация пищевых концентратов из трепанга зависит от количества и качества микрофлоры при методах обработки и его хранения. Поэтому пищевой концентрат может быть инфицирован споровыми и санитарно-показательными микроорганизмами, число и видовой состав которых зависит от технологии его получения. Технологические приемы при производстве трепанга и продуктов на его основе должны быть направлены на то, чтобы не допустить вторичную контаминацию продукта. Поэтому одним из требований к качеству пищевых концентратов из трепанга является их безопасность для здоровья человека, стабильность в процессе хранения и реализации [10, 11].

Для потребителя особое значение имеет безопасность продукта питания (БПП) и его относительная биологическая ценность (ОБЦ). Более достоверным методом определения БПП и ОБЦ продукта является метод исследования продукта на живой клетке инфузории *Tetrahymena rugiformis* класса Ciliata. Для определения безвредности (токсичности) и биологической ценности продуктов ранее использовали метод вивария на белых мышах, морских свинках и т.д. Все эти методы дорогостоящие и длительные. В последнее время все чаще используют современный и более удобный и дешевый метод определения БПП и ОБЦ на простейших, в частности на инфузории. *Tetrahymena rugiformis* как тест-объект признана всемирным научным сообществом и востребована из-за своих уникальных характеристик, которые обуславливают ее абсолютную рациональность как при использовании, так и при содержании, что очень важно для высокой достоверности полученных результатов.

Тест-культуры *Tetrahymena rugiformis* имеют двойной тип пищеварения (кислотный и щелочной), им требуются все незаменимые аминокислоты, расщепление пептидных связей происходит без предварительного гидролиза, есть адекватные высшим животным ферментные системы. Ядовитые вещества для человека и высших животных воздействуют и на тетрахимену. Угнетение подвижности, гибель единичных особей инфузории или их деформация свидетельствуют о токсичности данного продукта.

Целью работы являлось исследование безопасности и биологической ценности сухого концентрата трепанга путем использования в качестве тест-культуры инфузории *Tetrahymena rugiformis*.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования служил пищевой сухой концентрат дальневосточного трепанга (СКТ), полученный по разработанной нами криотехнологии. В данной технологии применяют исключительно низкотемпературные режимы обработки сырья, что позволяет сохранить все полезные свойства, присущие натуральному трепангу, а использование в производстве целых неразделанных тушек голотурий делает его абсолютно безотходным. Химический состав СКТ приведен в таблице.

Химический состав полученного сухого концентрата трепанга The chemical composition of the resulting dry concentrate sea cucumber

Вода, %	Белки, %	Липиды, %	Минеральные вещества, %	Аминосакхара, %	Гликозиды, мкг/г
9,3	63,9	5,1	18,4	2,1	9320

Безопасность и биологическую ценность (СКТ) исследовали, используя метод биологической оценки пищевых продуктов с помощью ресничной инфузории тетрахимена пириформис [12].

Для исследования БПП готовились пробы № 1 (СКТ) и № 2 (контроль-казеин), для чего препараты вносили в пробирки с 2 мл стерильной воды и закрывали стерильными пробками. Культуру инфузории предварительно синхронизировали двое суток теплом и холодом, разводили водой в десять раз, а затем вносили по 0,05 мл в пробирки с пробами. Наличие роста и развития инфузории в исследуемых образцах контролировали в течение семи суток методом микроскопии. Угнетение подвижности, наличие гибели единичных особей, деформация клеточной стенки инфузории говорят о токсичности исследуемых проб. На четвертые сутки проводили количественный учет выросших особей в счетной камере Горяева.

Для исследования ОБЦ также готовились проба № 1 (СКТ) и № 2 (контроль-казеин).

Навески концентрата трепанга и казеина разводили водой для получения концентрации протеина 0,2 %. Подготовленные пробы по 2 мл вносили в стерильные пробирки. Синхронизировали культуру инфузорий теплом и холодом 48 ч и в одной стадии размножения, роста вносили по 0,05 мл в пробирки с пробами № 1 и № 2. Пробирки закрывали пробками и инкубировали при температуре 22 °С, встряхивая три раза в день. Наличие роста и развития инфузории в продукте (генерации) контролировали каждые сутки под микроскопом в 10 полях зрения. Динамику роста и развития простейших наблюдали в течение 7 сут, чтобы выявить положительное влияние исследуемых препаратов на живую клетку тест-культуры *Tetrahy-mena rutiformis*. Количество выросших особей считали под микроскопом в камере Горяева, фиксируя их формалином. Подсчет инфузорий вели в 10 квадратах камеры Горяева и выводили среднее арифметическое из трех подсчетов.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1 приведены результаты наблюдения за ростом, развитием, размножением инфузории на средах, содержащих концентрат трепанга и казеин.

Наблюдениями установлено отсутствие угнетения подвижности, наличия гибели единичных особей, деформации клеточных стенок инфузорий, что свидетельствует об отсутствии признаков токсичности исследуемых проб. Инфузория была активна, подвижна, замедление роста, мутаций и гибели единичных клеток не наблюдалось, что свидетельствует о биологической безопасности для здоровья человека полученного по криотехнологии СКТ.

Также следует отметить, что инфузория, культивируемая на трепанге, по размерным характеристикам превосходит инфузорию, выросшую на казеине (рис. 2), что в свою очередь

позволяет утверждать о лучшем усвоении питательных компонентов концентрата трепанга по сравнению с казеиновым протеином. Полученные данные не противоречат известным сведениям о том, что казеин – сложносоставной белок молока, попадая в желудок человека, образует сгусток, который переваривается длительное время и долгосрочно обеспечивает организм необходимыми аминокислотами. В то же время казеин не только медленно расщепляется по сравнению с сывороточными белками, он обладает свойством замедлять переваривание других видов белка, обладает меньшей биологической ценностью, подавляет аппетит и оказывает менее выраженное анаболическое действие [13, 14].

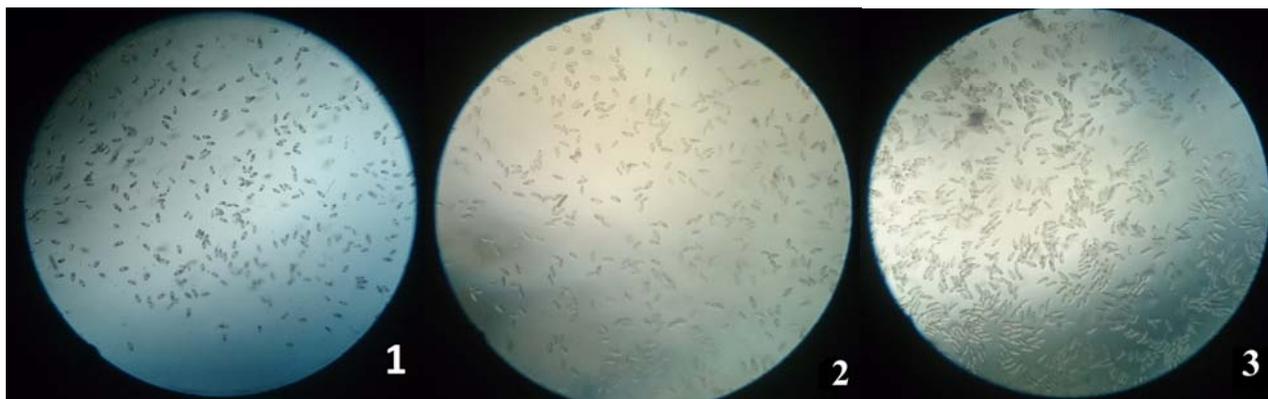


Рис. 1. Фото роста и развития *Tetrahymena pyriformis* в исследуемых образцах:
 1 – *Tetrahymena pyriformis* в контрольном образце – казеин – на четвертые сутки экспозиции;
 2 – *Tetrahymena pyriformis* в образце с трепангом на четвертые сутки экспозиции;
 3 – *Tetrahymena pyriformis* в образце с трепангом на седьмые сутки экспозиции
 Fig. 1. Photos growth and development of *Tetrahymena pyriformis* in the samples:
 1 – *Tetrahymena pyriformis* in the control sample – casein – Research on the fourth day;
 2 – *Tetrahymena pyriformis* in a sample of sea cucumber on the fourth day of research;
 3 – *Tetrahymena pyriformis* in a sample of sea cucumber on the seventh day of research

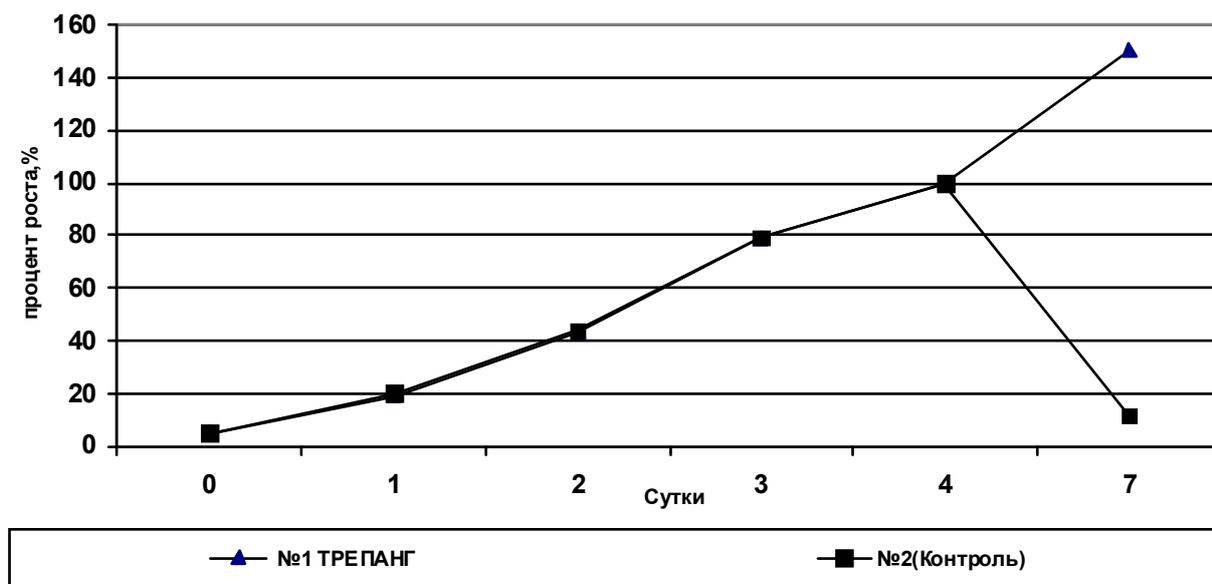


Рис. 2. Оценка роста *Tetrahymena pyriformis* в исследуемых образцах в течение 7 сут хранения
 Fig. 2. Increase population *Tetrahymena pyriformis* in the samples within 7 days of storage

Исходя из полученных данных о выраженном положительном действии сухого концентрата трепанга на простейшие, мы отступили от стандартной методики, которая ограничивает время исследований четырьмя сутками, и продлили экспозицию до семи суток. На седьмые сутки экспозиции установлено, что количество *Tetrahymena pyriformis* достигло 150 особей на одно поле зрения, в то время как количество особей в образце с казеином снизилось до 11,3 (см. рис. 2).

Полученные данные напрямую указывают, что созданный концентрат трепанга обладает превосходящими характеристиками эталонный белок. Также следует отметить, что простейшие на седьмые сутки экспозиции (см. рис. 1, 3) незначительно увеличились в размере по сравнению с исследованием этого же образца на четвертые сутки экспозиции (см. рис. 1, 2).

На рис. 2 приведены данные исследования ОБЦ сухого концентрата трепанга.

Данные проведенных исследований, представленные на рис. 2, показывают, что разработанный нами сухой концентрат трепанга по биологической ценности фактически не уступает контрольному образцу (казеину), что можно увидеть в практически идентичном количестве выросших особей для обоих исследуемых образцов. Количественная разница для исследуемого образца трепанга по отношению к эталонному образцу в течение всего времени экспозиции является несущественной (составляла от 0,3 до 1 шт. выросших инфузорий) и дает основание утверждать, что по разработанной технологии получается продукт, идентичный по ОБЦ эталонному белку.

Известно, чем выше биологическое качество продукта, тем лучше он усваивается и определяет более интенсивный рост инфузорий на питательных средах [15]. Исследуемые пробы концентрата трепанга обладают высокой биологической ценностью и, как показывает время генерации инфузории (смена поколений), благотворно воздействуют на жизнедеятельность и развитие живой клетки по поколениям. Вероятно, антибактериальные вещества, содержащиеся в сухом концентрате трепанга, сдерживают развитие, рост микромицетов, споровых, сапрофитов, болезнетворных бактерий и переводят их в состояние анабиоза, что и продляет время хранения пищевого концентрата.

Выводы

Пищевой сухой концентрат дальневосточного трепанга, полученный по криотехнологии, не проявляет признаков токсичности и является биологически безопасным для здоровья человека. Кроме того, оценка размерных характеристик инфузорий свидетельствует о лучшем усвоении питательных компонентов концентрата трепанга по сравнению с белком казеином.

Исследуемый нами сухой концентрат трепанга по биологической ценности фактически не уступает контрольному образцу (казеину), это значит, что разработанная нами криотехнология позволяет получить продукт, идентичный по ОБЦ эталонному белку.

Список литературы

1. Астафьев, О.М. Загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на заболеваемость гриппом и ОРЗ / О.М. Астафьев, Н.Л. Корчанова // Гиг. и сан. – 1989. – № 11. – С. 42–46.
2. Герасименко, Н.Ф. Здоровье населения как фактор обеспечения национальной безопасности России / Н.Ф. Герасименко // Российские мед. вести. – 1997. – № 3. – Т. 2. – С.5–14.
3. http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/socmedic/lectures_stud/ru.
4. Онищенко, Г.Г. Эпидемиологическая обстановка в РФ и основные направления деятельности по ее стабилизации / Г.Г. Онищенко // Материалы к докладу на 8-м Всерос. съезде общества эпидемиологов, микробиологов и паразитологов. – М., 2002. – С. 17–19.

5. Амброзевич, Е.Г. Особенности европейских и азиатских подходов к ингредиентам для продуктов здорового питания / Е.Г. Амброзевич // Пищ. пром-сть. – 2005. – № 4. – С. 12–13.

6. Долматов, И.Ю. Регенерация у голотурий / И.Ю. Долматов, В.С. Машанов. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 208 с.

7. <http://life-spb.ru/others/trepang-use.htm>.

8. Гичев, Ю.Ю. Руководство по микронутриентологии. Роль и значение биологически активных добавок к пище / Ю.Ю. Гичев, Ю.П. Гичев. – М.: Триада-Х, 2006. – 264 с.

9. Гроховский, В.А. Научное обоснование и создание инновационных технологий изготовления продуктов из гидробионтов Арктического региона: дис. ... д-ра техн. наук / В.А. Гроховский. – Мурманск: МГТУ, 2012. – 732 с.

10. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) МР23.1. 1915-04.

11. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) МРТС – 1472с.

12. Игнатъев, А.Д. Модификация метода биологической оценки пищевых продуктов с помощью ресничной инфузории тетрахимена пириформис / А.Д. Игнатъев, М.К. Исаев, В.А. Долгов и др. // Вопр. питания. – 1980. – № 1. – С. 70–71.

13. Tang JE, Moore DR Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. J Appl Physiol. 2009 Sep;107(3):987-92. Epub 2009 Jul 9.

14. Burd NA, Yang Y, Greater stimulation of myofibrillar protein synthesis with ingestion of whey protein isolate v. micellar casein at rest and after resistance exercise in elderly men. Br J Nutr. 2012 Jan 31:1-5.

15. Шульгин, Ю.П. Биологическая экспресс-оценка мышечной ткани гидробионтов с использованием *Tetrahymena pyriformis* / Ю.П. Шульгин, Ю.Г. Блинов, Л.В. Шульгина // Изв. ТИНРО. – 2004. – Т. 136. – С. 294–303.

Сведения об авторах: Богданов Валерий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: bogdanovvd@dgtru.ru;

Сахарова Ольга Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, e-mail: solo_78@bk.ru;

Сахарова Татьяна Григорьевна, доцент.

УДК 669.71

Р.А. Борщ, М.В. Огурченок, О.А. Холоша

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, Луговая, 52б

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РИСКИ РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Обоснован выбор эффективных методов воздействия на производственные риски рыбоперерабатывающего предприятия с учетом специфических нерегламентированных ситуаций, приводящих к нарушению установленных параметров технологических процессов и нарушению регламентированных нормативно-технической документацией пределов, в результате чего выпускаемая продукция не может соответствовать установленным требованиям, гарантирующим её качество и безопасность. В качестве практического инструмента воздействия на риски выделены: стандартизация продукции и услуг; автоматизация производственных процессов; метрологическое обеспечение технологических процессов.

Ключевые слова: производственные риски, снижение риска, приемлемый уровень риска, методы воздействия на риски, безопасность продукции.

R.A. Borsch, M.V. Ogurchenok, O.A. Kholosha

EFFECTIVE METHODS OF INFLUENCE ON INDUSTRIAL RISKS ENTERPRISE FISH

Justified the choice of effective techniques to influence fish production risks of the enterprise, taking into account the specific ad hoc situations that violate the established parameters of technological processes and disruption of the regulated limits of normative and technical documentation, resulting in products cannot match the requirements, guaranteeing its quality and safety. As a practical tool to influence risks highlighted: Standardization of products and services; Automation of production processes; metrological assurance of technological processes.

Key words: operational risks, risk reduction, an acceptable level of risk, methods of exposure to risks, safety of products.

Современные рыбоперерабатывающие предприятия осуществляют свою деятельность в условиях изменчивой внешней и внутренней среды. Это вызывает угрозу потенциальных потерь и стабильности при производстве качественной и безопасной рыбной продукции. Под безопасностью подразумевается отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения какого-либо ущерба для жизни и здоровья потребителей [1]. Для соблюдения этого требования необходимо создать производственные условия, не допускающие воздействия неблагоприятных и нерегламентированных факторов с целью исключения риска снижения качества и безопасности продукции. Для рыбоперерабатывающих предприятий можно выделить специфические нерегламентированные ситуации, свойственные и другим предприятиям пищевой отрасли:

- неисправность технологического оборудования;
- отсутствие или неисправность средств измерения и контроля за соблюдением параметров технологических процессов производства;
- нарушение производственной дисциплины со стороны обслуживающего персонала;
- нестабильность качественных характеристик сырья и полуфабрикатов (для водных биологических ресурсов это связано с сезонностью добычи и различными районами промысла);
- несоблюдение режимов и сроков хранения сырья и др.

Перечисленные ситуации приводят к нарушению установленных параметров технологических процессов и нарушению регламентированных нормативно-технической документа-

цией пределов, что в свою очередь приводит к тому, что выпускаемая продукция не может соответствовать установленным требованиям, гарантирующим её качество и безопасность.

Для предотвращения подобных ситуаций рыбоперерабатывающие предприятия разрабатывают и реализуют различные организационные и технические меры (предупредительные меры), способствующие противостоянию опасным нарушениям технологического процесса. Критерием оценки эффективности разработанных мер могут являться вероятностные показатели риска. Риск является неотъемлемым элементом деятельности любого предприятия, и если на него не воздействовать, он становится неуправляемым. В связи с чем потребность в разработке методов и способов воздействия на производственные риски относится к актуальной проблеме, требующей своего решения.

Цель настоящих исследований – обосновать выбор методов и способов, наиболее эффективно воздействующих на производственные риски, основываясь на специфике производственной деятельности рыбоперерабатывающего предприятия.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- определить критерии выбора методов и способов воздействия на производственные риски;
- систематизировать классифицированные методы воздействия на производственные риски.

Воздействие на риск всегда связано с его модификацией / изменением (рис. 1).

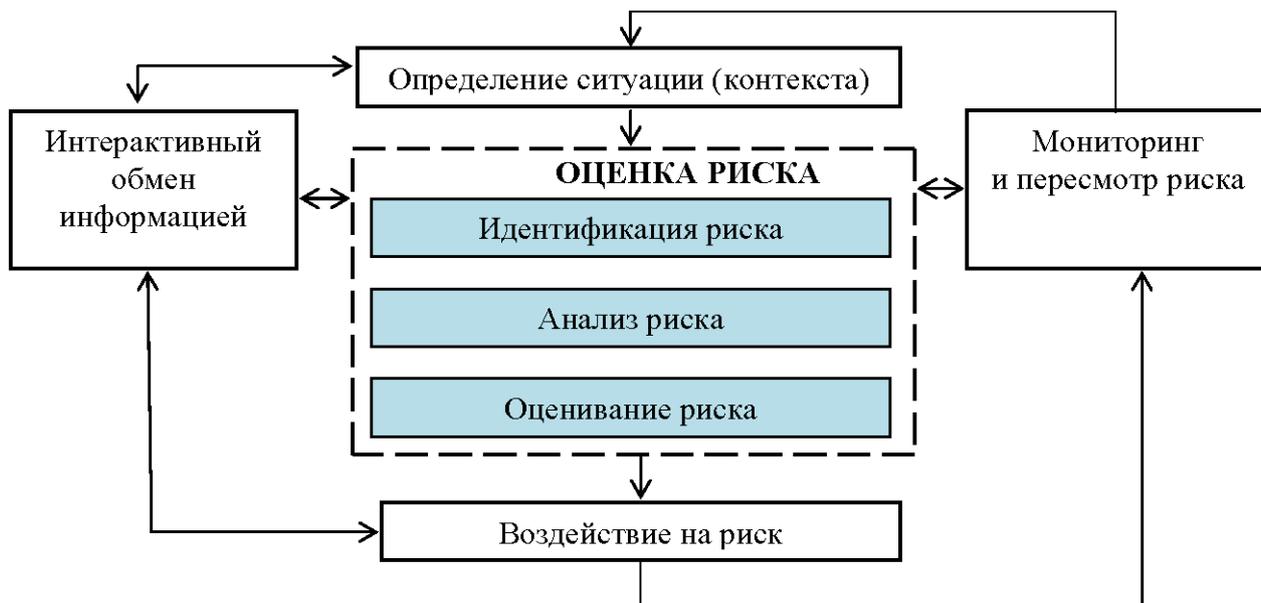


Рис. 1. Структурная схема процесса менеджмента риска в производственной сфере

Fig. 1. Block diagram of the process of risk management in the industry

Риск изменяют до тех пор, пока не будет гарантировано отсутствие необходимости дальнейшего воздействия на риск, так как риск соответствует установленным критериям. Критериями риска являются признаки, по которым оценивают риски [1].

В процессе определения ситуации (контекста), во-первых, определяют любые внешние и внутренние параметры среды, принимаемые во внимание при воздействии на риски, а во-вторых, устанавливают критерии риска. В основном критерии устанавливают в соответствии с требованиями законодательной и нормативной документации, например, технические регламенты, стандарты и т.п.

В процессе анализа риска определяют его уровень (по величине последствий и их вероятности), являющийся основой для оценивания риска и принятия решений по выбору воздействий на риск. Процесс, при котором сравнивают результаты анализа того или иного риска с заданными критериями для установления приемлемости или допустимости его велич-

ны, является процессом оценивания риска. Поэтому основным условием является то, что воздействовать можно только на идентифицированные, проанализированные и оцененные риски. Процесс воздействия является одним из основных этапов управления риском, а выбор методов воздействия предназначен для формирования политики предприятия в области борьбы с риском и неопределенностью. Необходимость подобной процедуры выбора связана, во-первых, с различной результативностью методов управления риском и, во-вторых, с разным объемом ресурсов, требуемых для их реализации. Поэтому возникает проблема выбора наилучшего метода воздействия на риск. В этом случае для сравнения методов необходимо определить критерии выбора методов и способов воздействия на производственные риски.

Методы и способы воздействия на производственные риски базируются на концепции приемлемого риска, состоящей в оптимальном (рациональном) воздействии на уровень риска с целью доведения его до приемлемого значения [2]. Основываясь на положениях этой концепции, в качестве критериев выбора методов управления производственными рисками предложено рассматривать следующие:

- возможность максимального снижения риска при заданных средствах;
- возможность снижения риска до приемлемого уровня при минимальных затратах.

В условиях конкретного производства действуют разнообразные специфические факторы риска, приводящие к использованию различных способов снижения уровня риска. Несмотря на это многообразие, можно выделить классифицированную типологию общих способов воздействия на риск [1]. На рис. 2 представлена общая схема процесса воздействия на риски.

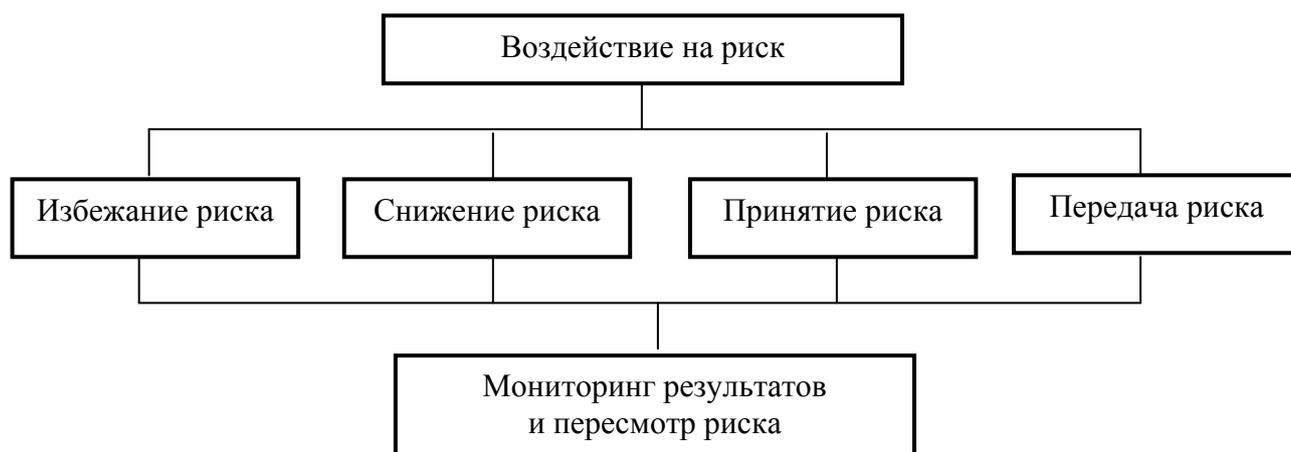


Рис. 2. Общая схема процесса воздействия на риски в производственной сфере

Fig. 2. The general process flow impact on risks in the productive sphere

Представленные в схеме способы различаются по содержанию мероприятий в рамках воздействия на риск:

- избежание риска (отказ от риска) включает набор мероприятий, позволяющих полностью избежать влияния неблагоприятных событий;
- снижение (сокращение риска) включает действия, способствующие уменьшению неблагоприятных последствий;
- принятие риска (принятие на себя) включает набор мероприятий для использования благоприятной возможности;
- передача риска (передача третьим лицам) включает совокупность мер, позволяющих переложить ответственность за снижение риска и ущерба на другой субъект.

В ряду особенностей воздействия на производственные риски следует отметить отсутствие практической возможности у предприятия уклониться от всех видов потенциальных рисков, либо сократить их, либо переложить ответственность на других. Поэтому в соответствии с пред-

ставленной типологией большинство производственных рисков предприятие принимает на себя и вынуждено разрабатывать соответствующие мероприятия или в силу неизбежности ситуации, или для использования благоприятной возможности получения потенциальной прибыли.

Таким образом, исследование рискованных ситуаций в производственной деятельности промышленного предприятия позволяет сделать вывод об отсутствии в настоящее время общепринятых методов и способов воздействия на риски, в том числе и в части производственных рисков рыбоперерабатывающего предприятия. Совокупность методов воздействия является практическим инструментом управления рисками и содержит мероприятия, которые необходимо предпринять в условиях конкретного производства. С учетом концепции приемлемого риска, обоснованных критериев выбора воздействия на риски, общей типологии способов воздействия представлена систематизированная классификация методов воздействия на производственные риски рыбоперерабатывающего предприятия (таблица).

Методы воздействия на производственные риски Methods of influence on industrial risks

Наименование метода	Область применения	Содержание метода
Отказ от риска	В случае существования крупных рисков, которые невозможно уменьшить и снизить опасные последствия их реализации	Исключить любую возможность возникновения риска посредством решения не начинать и не продолжать производственную деятельность, в результате которой возникает риск. <i>Например:</i> прекращение производства продукции определенного ассортимента
Снижение частоты ущерба или предотвращение убытка	На всех этапах производства продукции, когда вероятность реализации риска достаточно велика	Проведение предупредительных мероприятий, направленных на снижение вероятности наступления неблагоприятного события. <i>Например:</i> стандартизация объекта (продукция, услуга); отказ от услуг ненадежных партнеров, в том числе неизвестных поставщиков и/или поставщиков, нарушающих график поставки сырья и материалов
Уменьшение размера убытков	На всех этапах производства продукции, когда, несмотря на все усилия по снижению рисков, некоторые убытки имеют место и размер возможного ущерба большой	Проведение предупредительных (превентивных) мероприятий, направленных на снижение размера возможного ущерба. <i>Например:</i> автоматизация процессов производства; повышение надежности технологического оборудования путем оснащения системами контроля и управления; установление противопожарной сигнализации или охранной сигнализации
Разделение риска в форме дифференциации (отделения) рисков	На всех этапах производства продукции, когда необходимо создать ситуацию, при которой ни один отдельный случай реализации риска не приводит к серии новых убытков	Предполагает пространственное разделение источников возникновения убытков или объектов, которым может быть нанесен ущерб. <i>Например:</i> разделение производственной площадки на отдельные участки и цеха, в соответствии с ассортиментной группой продукции, что исключит влияние аварийной ситуации в одном цеху на возникновение ущерба в другом
Разделение риска в форме дублирования наиболее значимых объектов, подверженных риску	На всех этапах производства продукции, когда необходимо создать ситуацию, при которой ни один отдельный случай реализации риска не приводит к серии новых убытков	Представляет собой хранение копий важных документов в особо защищенных местах. <i>Например:</i> нормативно-техническая документация по производству продукции или иная информация

В основе классификации лежит возможная область применения и содержание метода.

Представленная классификация позволяет при воздействии на риски выбрать один или несколько методов по отдельности, либо, комбинируя методы, на основе которых принимаются и выполняются управленческие решения, минимизирующие неблагоприятное влияние на предприятие в целом или на отдельный объект, вызванное случайными событиями.

Наиболее оптимальным для предприятия является выбор комбинированных методов на основе совокупности критериев:

- экономических критериев, обеспечивающих эффективность методов;
- технических критериев, обеспечивающих технологические возможности снижения риска;
- социальных критериев, обеспечивающих сведение риска до приемлемого уровня, отвечающего требованиям общества.

Для обеспечения уверенности в выбранных методах и способах необходимо обосновать и оценить результативность и эффективность предлагаемых мер.

Процедура мониторинга по постоянному отслеживанию показателей качества воздействия на риск и ограничения позволяет гарантировать, что меры остаются результативными и эффективными на основе идентификации изменений относительно установленного уровня риска. Нерезультативные меры должны быть пересмотрены и заменены на более результативные, обеспечивающие успешное функционирование рыбоперерабатывающего предприятия в условиях риска и неопределенности для достижения установленных целей.

С учетом специфического воздействия неблагоприятных и нерегламентированных факторов производственной деятельности рыбоперерабатывающего предприятия в работе обоснован выбор наиболее эффективных методов и способов воздействия на производственные риски, позволяющих исключить риск снижения качества и безопасности продукции. К ним относятся методы предотвращения убытка или уменьшения размера убытков в ситуации, когда вероятность реализации риска достаточно велика, либо когда, несмотря на все усилия по снижению рисков, некоторые убытки имеют место. В качестве практического инструмента управления рисками в рамках обоснованных методов воздействия выделены основные:

- стандартизация продукции и услуг;
- автоматизация производственных процессов;
- метрологическое обеспечение технологических процессов и т.п.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 31000-2010 Менеджмент риска. Принципы и руководство. – М.: Стандартинформ, 2012. – 28 с.

2. Алексеенко, В.Б. Управление рисками в производственно-хозяйственной деятельности предприятия / В.Б. Алексеенко, Г.М. Кутлыева, Ю.И. Мочалова. – М.: Российский университет дружбы народов, 2013. – С. 44–49.

Сведения об авторах: Борщ Роман Алексеевич, аспирант, e-mail: borshroma@mail.ru;
Огурченоч Маргарита Валерьевна, магистрант гр. СТМ-112,
e-mail: margarita21.09@mail.ru;

Холоша Ольга Анатольевна, доктор технических наук, профессор, директор Института пищевых производств, e-mail: holoshaoa@mail.ru.

УДК 664.95

Н.В. Дементьева, В.Д. Богданов, А.С. Петрик

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПОСОЛА ИКРЫ СЕЛЬДИ ТИХООКЕАНСКОЙ НА СКОРОСТЬ ПРОСАЛИВАНИЯ И СОЗРЕВАНИЯ

Проведенные исследования показывают, что на скорость просаливания, созревания и органолептические характеристики соленой икры сельди тихоокеанской влияет способ посола. Экспериментально установлено, что для получения икры с высокими органолептическими показателями рациональными являются два способа посола икры: тузлучный способ, в сменяемых тузлуках и тузлучный способ, в солевом растворе плотностью 1118 кг/м³, с добавлением в него копильного препарата «Ольховый дым». Общая продолжительность посола икры этими способами составляет 20 мин, содержание соли в икре варьируется в пределах 4,6–4,8 %.

Ключевые слова: икра сельди тихоокеанской, посол, созревание, органолептические показатели.

N.V. Dementeva, V.D. Bogdanov, A. S. Petrik

INFLUENCE OF METHOD OF SALTING OF CAVIAR OF PACIFIC HERRING ON THE SPEED OF THE BRINING AND RIPENING

Studies show that the rate of salting, ripening and organoleptic characteristics of the salted roe of Pacific herring salting affects the way. It was established experimentally that for calves with high organoleptic rational are two ways salted eggs: tuzluchny way in exchangeable brines and tuzluchny way in saline density of 1118 kg/m³, with the addition of a smoke «Alder smoke» drug. The total duration of these processes salted roe is 20 minutes, the salt content in the calf ranges 4,6–4,8 %.

Key words: caviar of herring Pacific, salting, ripening, organoleptic indicators.

Введение

В настоящее время целью новых разработок в области пищевых технологий является создание продуктов, содержащих в своем составе набор дефицитных для организма человека нутриентов в сочетании с необходимыми органолептическими показателями. Поскольку икорное сырье представляет собой природный комплекс, обладающий высокой пищевой ценностью, икра может быть использована в качестве основы для разработки продуктов функционального назначения. Она является самой ценной в пищевом отношении частью рыбы, характеризуется большей усвояемостью, богата витаминами, минеральными и биологически активными веществами. Для рыбоперерабатывающей отрасли актуальна комплексная переработка икры разных видов рыб, и в частности, использование икры, которая не может быть направлена на производство высшего и первого сорта, перезрелых, незрелых и мороженых ястыков, а также использование икры рыб, уступающей по органолептическим показателям лососевой и осетровой [1]. Одним из перспективных видов икорного сырья является икра сельди тихоокеанской.

Создание поликомпонентных продуктов питания с использованием икры сельди тихоокеанской, например, пресервов, даст возможность обеспечить икорной продукцией большее количество населения, решить проблему комплексного использования икорного сырья, а также расширить ассортимент рыбных продуктов.

Большой популярностью у потребителей пользуются малосоленые рыбные пресервы в различных соусах и заливках. Разнообразный ассортимент заливок и соусов позволяет выпускать пресервы с различными органолептическими показателями, что дает возможность постоянно обновлять ассортимент готовой продукции [2, 3].

Одной из основных технологических операций при производстве пресервов является посол, поэтому важно правильно обосновать режимы его проведения [4].

Целью научной работы являлось обоснование способов посола ястычной икры сельди тихоокеанской.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- исследовать влияние разных способов посола ястычной икры сельди тихоокеанской на степень просаливания и созревания;
- исследовать изменение органолептических показателей икры сельди тихоокеанской в зависимости от продолжительности и способа посола.

Объекты и методы исследований

В качестве основного исследуемого сырья использовали икру сельди тихоокеанской, которую извлекали из мороженой рыбы (ОСТ 15-403-97) после ее размораживания до температуры 0 °С минус 1 °С.

В качестве вспомогательных материалов использовали воду питьевую ГОСТ 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества»; соль поваренную пищевую, ГОСТ Р 51574-2000 «Соль поваренная пищевая. Технические условия; пищевую добавку – ароматизатор натуральный коптильный препарат «Ольховый дым» ТУ 9145-002-25800078 – 04.

Отбор проб сырья и подготовку проб к анализу проводили по стандартным методикам (ГОСТ 31339-06, ГОСТ 7631-08, ГОСТ 8756.0-70).

Органолептическую оценку качества соленой икры сельди тихоокеанской производили по ГОСТ 7631-2008.

Определение соли и буферности осуществляли по ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки (методы анализа)».

Статистическую обработку данных проводили стандартным методом оценки результатов испытаний для малых выборок. Цифровые величины, указанные в таблицах и графиках, представляют собой арифметические средние, надежность которых (Р) = 0,95, доверительный интервал (Δ) \pm 10 %.

Посол осуществляли следующими способами:

а) тузлучным способом в сменяемых тузлуках: ястыки икры укладывали в посольную емкость рядами, заливали солевым раствором плотностью 1118 кг/м³ температурой 5 °С. Соотношение икры и солевого раствора 1 : 3;

б) тузлучным способом с последующей выдержкой в коптильном препарате: ястыки икры укладывали в посольную емкость рядами, заливали солевым раствором плотностью 1118 кг/м³ температурой 5 °С. Соотношение икры и солевого раствора 1 : 1. Соленую икру выдерживали в коптильном препарате «Ольховый дым» в течение 20 мин;

в) тузлучным способом с добавлением в солевой раствор коптильного препарата: ястыки икры укладывали в посольную емкость рядами и заливали солевым раствором плотностью 1118 кг/м³ температурой 5 °С, в котором предварительно растворяли коптильный препарат «Ольховый дым», при соотношении солевой раствор: коптильный препарат 1 : 1. Соотношение икры и солевого раствора 1 : 1;

г) тузлучным способом с добавлением в солевой раствор коптильного препарата: ястыки икры укладывали в посольную емкость рядами и заливали солевым раствором плотностью 1058 кг/м³ температурой 5 °С, в котором предварительно растворяли коптильный препарат «Ольховый дым», при соотношении солевой раствор: коптильный препарат 1 : 1. Соотношение икры и солевого раствора 1 : 1.

Окончание посола определяли по достижении массовой доли соли в икре 3–5 %.

Посол икры в сменяемых тузлуках проводили с целью их осветления и получения солевых ястыков икры с привлекательным внешним видом, янтарной окраски.

Для расширения ассортимента пресервов, стабилизации качества и устойчивости при хранении икру сельди тихоокеанской обрабатывали коптильным препаратом «Ольховый дым».

Результаты и их обсуждение

Исследовали влияние способа посола на скорость просаливания и созревания икры сельди тихоокеанской. Для этого через равновеликие промежутки времени в интервале от 15 до 40 мин определяли содержание соли в икре и буферность. На рис. 1 и 2 представлены исследования изменения содержания соли и буферности в процессе посола икры в сменяемых тузлуках.

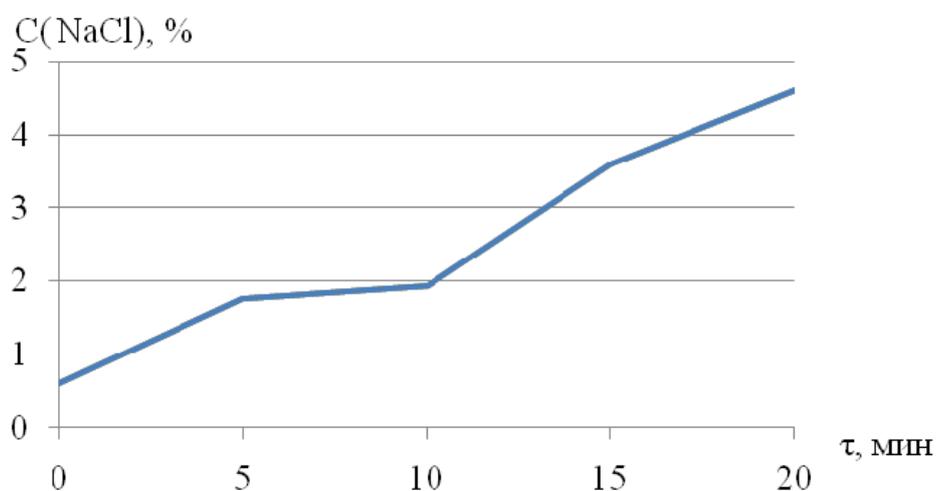


Рис. 1. Зависимость концентрации соли в икре сельди тихоокеанской ястычной от продолжительности посола в сменяемых тузлуках

Fig. 1. The dependence of the concentration of salt in the caviar of herring Pacific from the duration of the salting, tuzluca way in the exchangeable brines

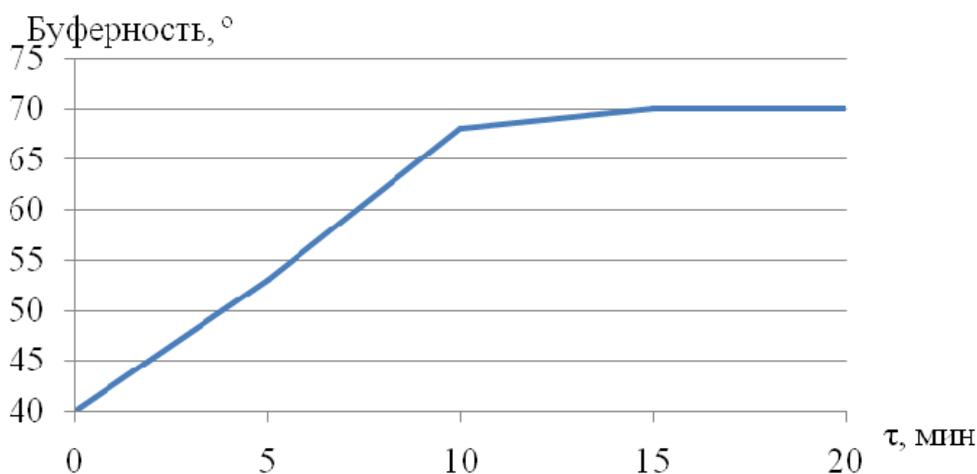


Рис. 2. Зависимость степени созревания икры сельди тихоокеанской ястычной от продолжительности посола в сменяемых тузлуках

Fig. 2. The dependence of the degree of maturation of the caviar of herring Pacific from the duration of the salting, tuzluca way in the exchangeable brines

Проведенные исследования показали, что икра сельди тихоокеанской, посоленная тузлучным способом в сменяемых тузлуках просаливается за 15–20 мин, к этому времени содержание соли в ней составляет 3,5–4,8 %, буферность в соленой икре достигает 75°.

При исследовании изменения органолептических показателей икры сельди тихоокеанской в зависимости от продолжительности посола установлено, что уровень соли через десять минут посола в икре составляет 1,9 %, начинает появляться свойственный для малосоленой икры запах, однако икра имеет сыроватый вкус и недостаточно упругую консистенцию. Через 15–20 мин посола икра просаливается, приобретает свойственные малосоленой икре вкус, запах, упругую консистенцию. Максимальное осветление икры до янтарной окраски происходит через двадцать минут посола.

При посоле икры обычным тузлучным способом имеет место медленное просаливание и созревание икры, через двадцать минут посола содержание в ней соли составляет 3,0 %, буферность 70°. Икра имеет более темную окраску, чем при посоле ее в сменяемых тузлуках. Последующая выдержка икры в коптильном препарате в течение 20 мин ухудшает ее органолептические показатели, икра приобретает темно-коричневую окраску и горький вкус (рис. 3 и 4).

Посол икры сельди тихоокеанской тузлучным способом с добавлением в солевой раствор коптильного препарата «Ольховый дым» показал, что скорость просаливания зависит от концентрации солевого раствора. При концентрации солевого раствора 16,0 % (плотность 1118 кг/м³) икра просаливается за 20 мин, содержание соли в ней 4,6 %, буферность 75°. Уменьшение концентрации солевого раствора до 8,0 % (плотность 1058 кг/м³) приводит к снижению скорости просаливания, икра становится соленой через 40 мин посола, содержание соли в икре 3,0 %, буферность 70° (рис. 2, 3).

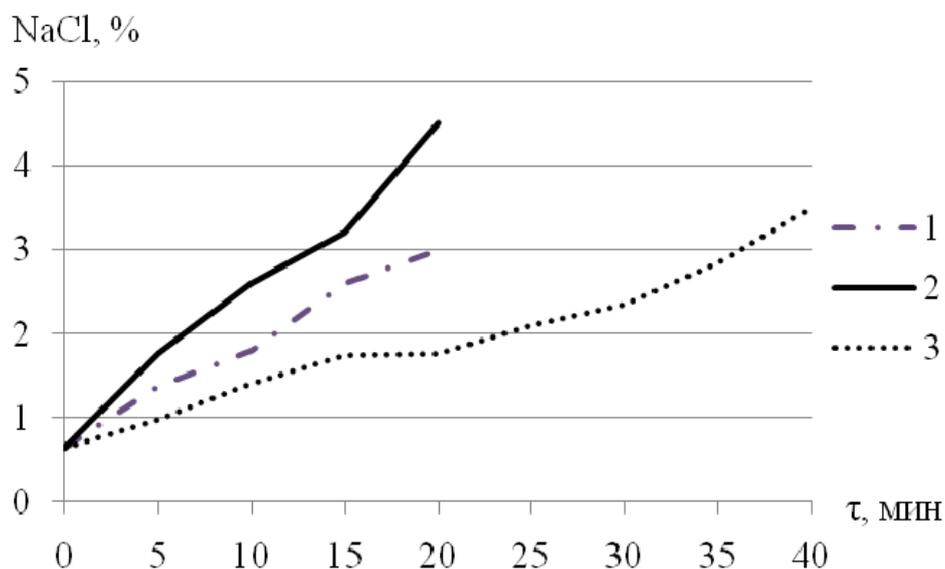


Рис. 3. Влияние способа посола на степень просаливания икры сельди тихоокеанской ястычной:

- 1 – тузлучный посол с последующей выдержкой в коптильном препарате в течение 20 мин;
- 2 – тузлучный посол с добавлением коптильного препарата, плотность солевого раствора 1118 кг/м³;
- 3 – тузлучный посол с добавлением коптильного препарата, плотность солевого раствора 1058 кг/м³

Fig. 3. The effects of method of salting on the degree of brining caviar herring Pacific:

- 1 – tussockysalting, followed by exposure to liquid smoke for 20 minutes;
- 2 – tussockysalting with the addition of liquid smoke, the density of the salt solution 1118 kg/m³;
- 3 – tussockysalting with the addition of liquid smoke, salt density раствора 1058 kg/m³

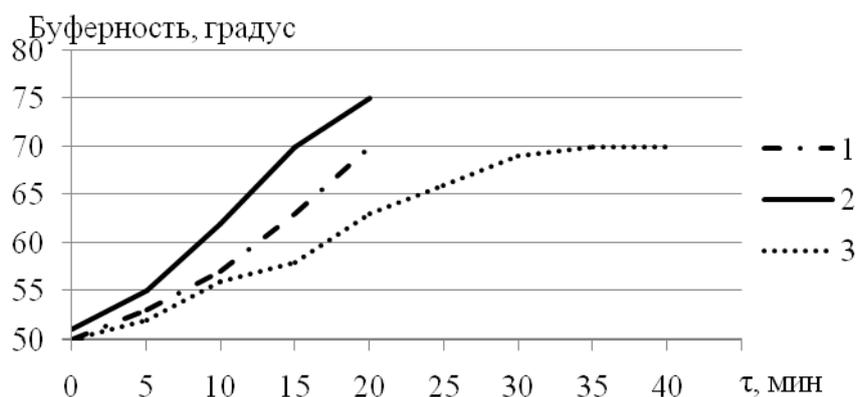


Рис. 4. Влияние способа посола на степень созревания икры сельди тихоокеанской ястычной:
 1 – тузлучный посол с последующей выдержкой в коптильном препарате в течение 20 мин;
 2 – тузлучный посол с добавлением коптильного препарата, плотность солевого раствора 1118 кг/м³; 3 – тузлучный посол с добавлением коптильного препарата, плотность солевого раствора 1058 кг/м³

Fig. 4. Influence of method of salting on the degree of maturation of the caviar herring Pacific:
 1 – tussockysalting, followed by exposure to liquid smoke for 20 minutes;
 2 – tussockysalting with the addition of liquid smoke, the density of the salt solution 1118 kg/m³;
 3 – tussockysalting with the addition of liquid smoke, the density of the salt solution 1058 kg/m³

Икра, посоленная тузлучным способом с добавлением коптильного препарата «Ольховый дым» в солевой раствор, имеет приятный слабосоленый, подкопченный вкус и запах, плотную и упругую консистенцию.

Общая органолептическая оценка соленой икры сельди тихоокеанской, посоленной разными способами, показывает, что самые высокие органолептические показатели имеет икра, которую солили тузлучным способом в сменяемых тузлуках. Низкую балльную оценку получила икра, полученная тузлучным способом с последующей выдержкой в коптильном препарате «Ольховый дым» (рис. 5).

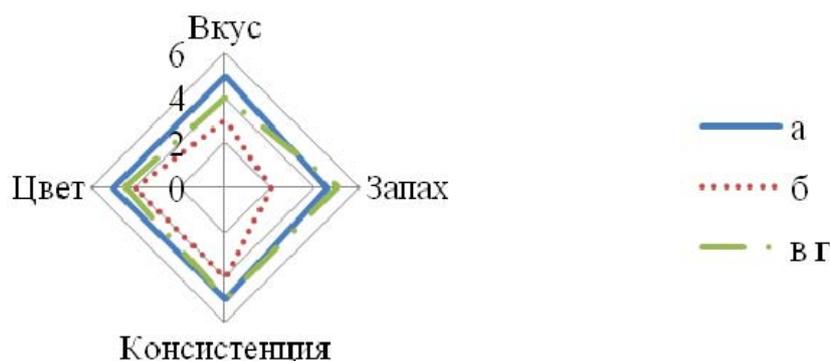


Рис. 5. Профилограмма общей органолептической оценки соленой икры сельди тихоокеанской в зависимости от способа посола: а – тузлучный посол в сменяемых тузлуках; б – тузлучный посол с последующей выдержкой в коптильном препарате в течение 20 мин; в – тузлучный посол с добавлением коптильного препарата, плотность солевого раствора 1118 кг/м³; г – тузлучный посол с добавлением коптильного препарата, плотность солевого раствора 1058 кг/м³

Fig. 5. The profilogram total sensory evaluation of salted caviar herring Pacific depending on the method of salting: а – tussocky method, exchangeable in the brine; б – tussockysalting, followed by exposure to liquid smoke for 20 minutes; в – tussockysalting with the addition of liquid smoke, the density of the salt solution 1118 kg/m³; г – tussockysalting with the addition of liquid smoke, the density of the salt solution 1058 kg/m³

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показывают, что на скорость просаливания, созревания и органолептические характеристики соленой икры сельди тихоокеанской влияет способ посола. Экспериментально установлено, что для получения икры с высокими органолептическими показателями рациональными являются два способа посола икры: тузлучным способом в сменяемых тузлуках и тузлучным способом в солевом растворе плотностью 1118 кг/м^3 , с добавлением в него коптильного препарата «Ольховый дым». Общая продолжительность посола икры этими способами составляет 20 мин, содержание соли в икре 4,6–4,8 %.

Список литературы

1. Радыгина А.Ф. Обоснование и разработка технологии эмульсионных продуктов питания на основе икорного сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05. 18. 04. – М.: РГБ, 2005. – 186 с.
2. Сарапкина, О.В. Перспективные направления развития современной рыбообработки / О.В. Сарапкина // Рыб. хоз-во. – 2005. – № 5. – С.48–57.
3. Мезенова, О.Я. Технология деликатесных рыбных пресервов с повышенными пищевыми достоинствами / О.Я. Мезенова, А.Н. Ключко, Н.Ю. Ключко // Рыб. пром-сть. – 2006. – № 3. – С. 22–24.
4. Сафронова, Т.М. Технология комплексной переработки гидробионтов: учеб. пособие / Т.М. Сафронова, В.Д. Богданов, Т.М. Бойцова, В.М. Дацун, Э.Н. Ким, Т.Н. Слуцкая; под ред. Сафроновой Т.М. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. – 512 с.

Сведения об авторах: Дементьева Наталья Валерьевна, кандидат технических наук, доцент, e-mail: dnvdd@mail.ru;
Богданов Валерий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: bogdanovvd@dgtru.ru;
Петрик Анастасия Сергеевна, магистрант, гр. ТПм-212, e-mail:anastacia-08@mail.ru.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

УДК 665.937.6:66.084

В.И. Погонец

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ КАЛЬМАРА ВО ВЗВЕШЕННО-ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ

Предложена новая конструкция сушильной камеры и газораспределительной решётки для обеспечения интенсификации сушки шинкованного кальмара с осциллирующим режимом во взвешенно-закрученных потоках теплоносителя. Выявлены особенности сушки шинкованного продукта и предложены рациональные параметры проведения этого процесса.

Ключевые слова: исследования, процесс, сушка, кальмар, взвешенное состояние.

V.I. Pogonets

UPGRADE INSTALLATION TO INTENSIFY DRYING SQUID IN CAREFULLY-TWISTED THREADS

A new design of the drying chamber and the gas distribution grates for intensification of drying shredded squid with an oscillating mode in balanced-twisted coolant flow. The features of the product and drying shredded offered rational parameters of the process.

Key words: study, process, drying, seafood, suspension are revealed.

Введение

На кафедре «Технологические машины и оборудование» (ранее она называлась «Машины и аппараты пищевых производств») проводили исследования по сушке шинкованного кальмара. Был разработан опытно-промышленный образец установки периодического действия (рис. 1), на котором проведены эксперименты по кинетике и гидродинамике, определены параметры сушки кальмара и влияние их на качество и сроки хранения готового продукта.

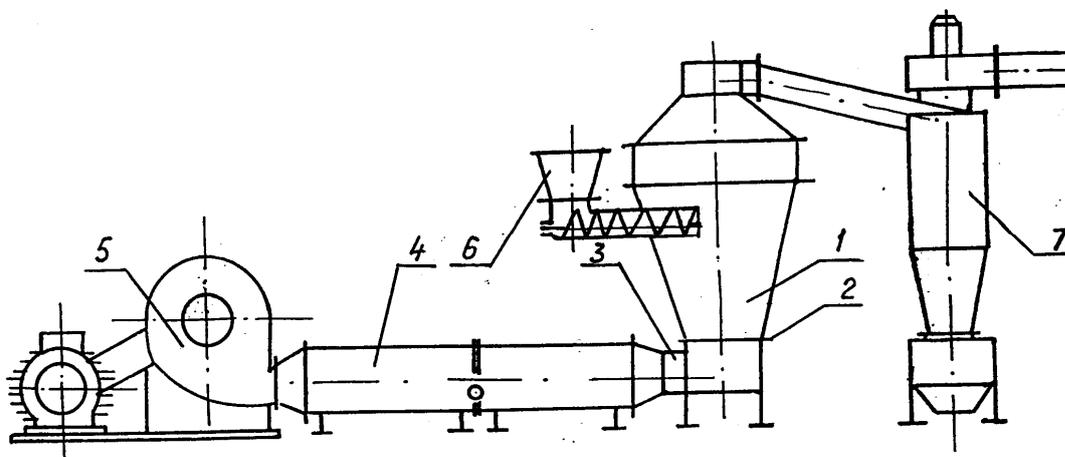


Рис. 1. Схема установки периодического действия для сушки шинкованного кальмара
Fig. 1. Scheme of batch operation for drying shredded squid

Сушильная камера 1 имеет форму конуса, диаметр основания которого равен 630 мм, диаметр верхней части его 1140 мм. Высота камеры 920 мм. Малым основанием камера опирается на газораспределительную решётку 2 и соединяется с воздухопроводом 3, рис. 2. Нагретый в двух спаренных теплогенераторах (марки ТГ-1,5) 4 теплоноситель через решётку подаётся по воздухопроводу в сушильную камеру. Воздух засасывается из атмосферы и подаётся в теплогенераторы вентилятором высокого давления 5 марки В-Ц6-28-10 либо ВВД-8. Камера снабжена шнековым загрузочным устройством 6.

Из сушильной камеры отработанный влажный теплоноситель вместе с сухим продуктом удаляется через циклон 7 вентилятором среднего давления 30 ЦС-24. Готовый продукт с остаточной влажностью 28–30 % оседает в нижней части циклона и с помощью шлюзового дозатора выгружается в упаковочную тару.

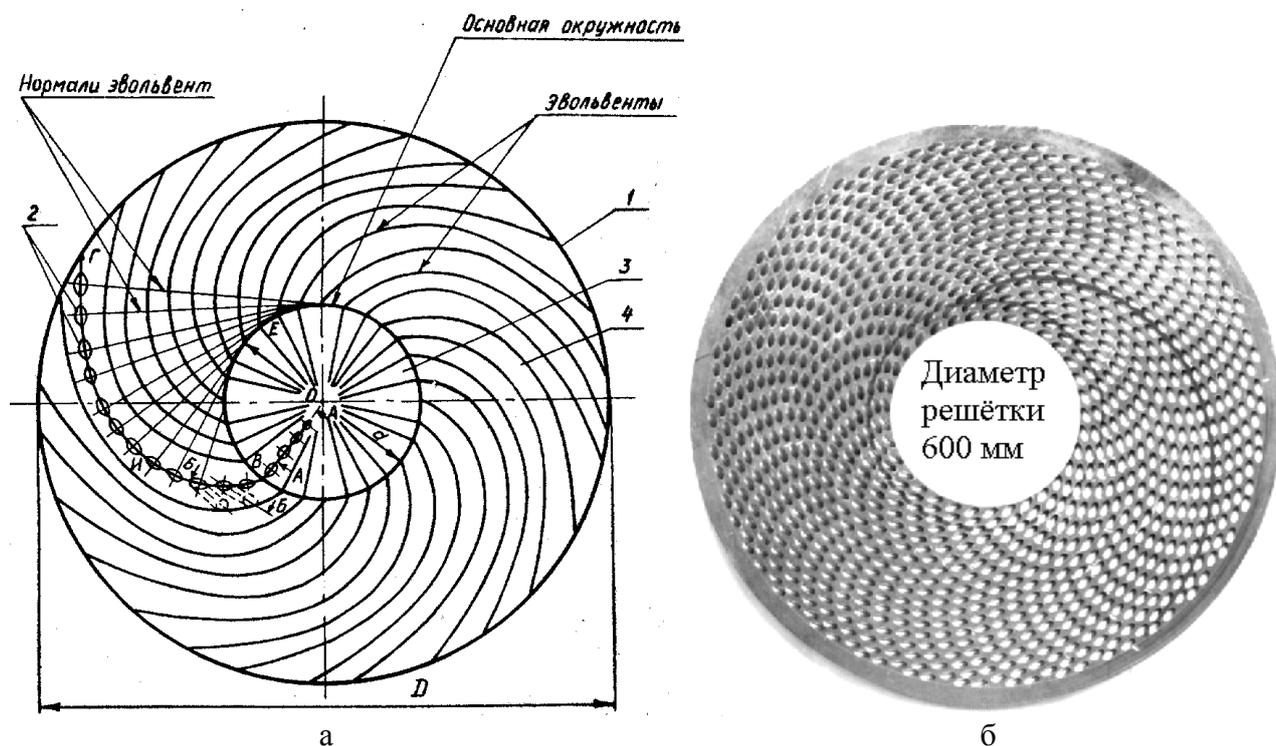


Рис. 2. Газораспределительная решётка: а – схема; б – фотография
Fig. 2. The gas distribution grid: a – scheme; б – photo

Газораспределительная решётка 2 в данной конструкции сушилки представляет собой диск 1, в котором просверлены наклонные каналы 2.

По площади решетка разделена на центральную 3 и периферийную зоны 4. Отношение диаметра центральной зоны к диаметру решетки находится в пределах 0,2–0,3. Выходные отверстия каналов, расположенные в пределах центральной зоны, находятся на радиальных лучах, проведенных из центра решетки на эквидистантных окружностях. Выходные отверстия каналов в периферийной зоне, расположенной за пределами центральной зоны, находятся на эвольвентах к окружности, которая является основной окружностью к эвольвентам и разделяет решетку на две зоны. Определяющий размер поперечного сечения каналов увеличивается от центра к периферии, а угол наклона каналов к плоскости решетки не превышает 30° .

Объекты и методы исследований

Объектом исследований служил тихоокеанский кальмар, выловленный в районе Южных Курил осенью 2015 г. Для исследований использовали мороженое филе кальмара. Перед сушкой фи-

ле размораживали в воде, обесшкуривали и бланшировали согласно ТИ 208-83 к ОСТ 15-133-82. После бланширования филе обрабатывали в солевом растворе крепостью $1,2 \text{ г/см}^3$ и шинковали на полоски размером $4 \times 70 \text{ мм}$. При сушке скорость теплоносителя определяли с помощью микроманометров марки ММН-240 и камерной диафрагмы. Убыль влаги в продукте определяли по убыли массы путём взвешивания кальмара через каждые 5 мин сушки с точностью $\pm 1 \text{ г}$.

С целью интенсификации процесса сушки шинкованного кальмара в данных сушилках, в части снижения энергетических затрат и сокращения времени сушки на кафедре разработаны новые газораспределительные решётки (рис. 3, 4) и сушильные камеры (рис. 5), конструкции которых позволили сократить время сушки до 30 % и снизить энергозатраты до 15–20 %.

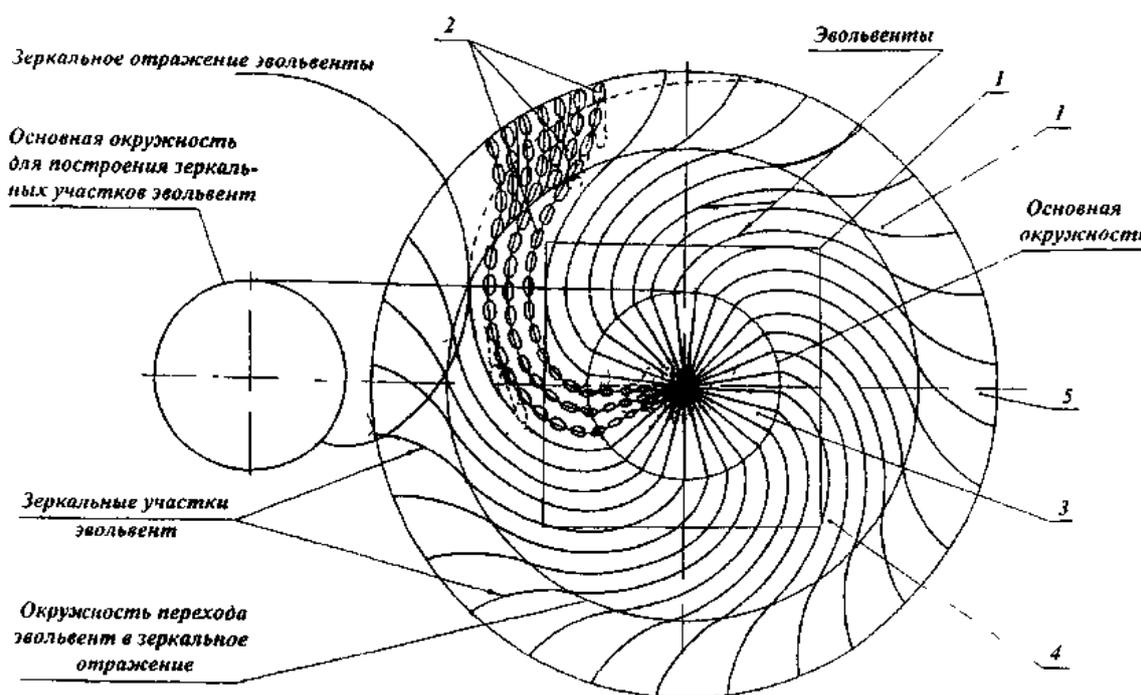


Рис. 3. Схема газораспределительной решётки
Fig. 3. Scheme of distribution grid

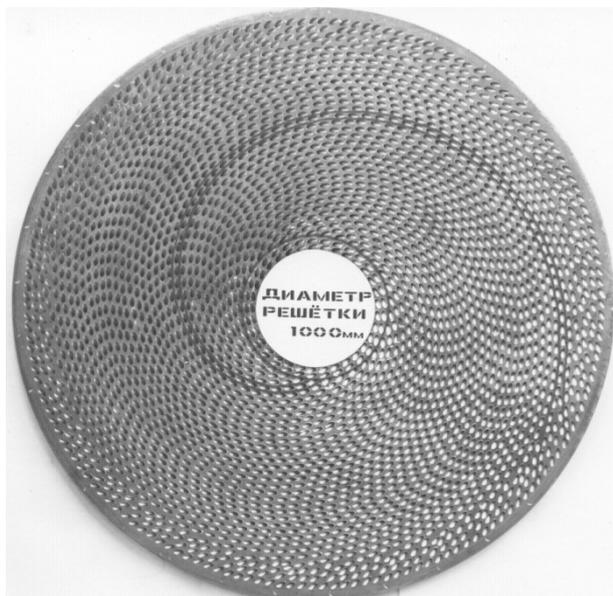


Рис. 4. Фотография законченной конструкции газораспределительной решётки
Fig. 4. Photo completed construction of the gas distribution grid

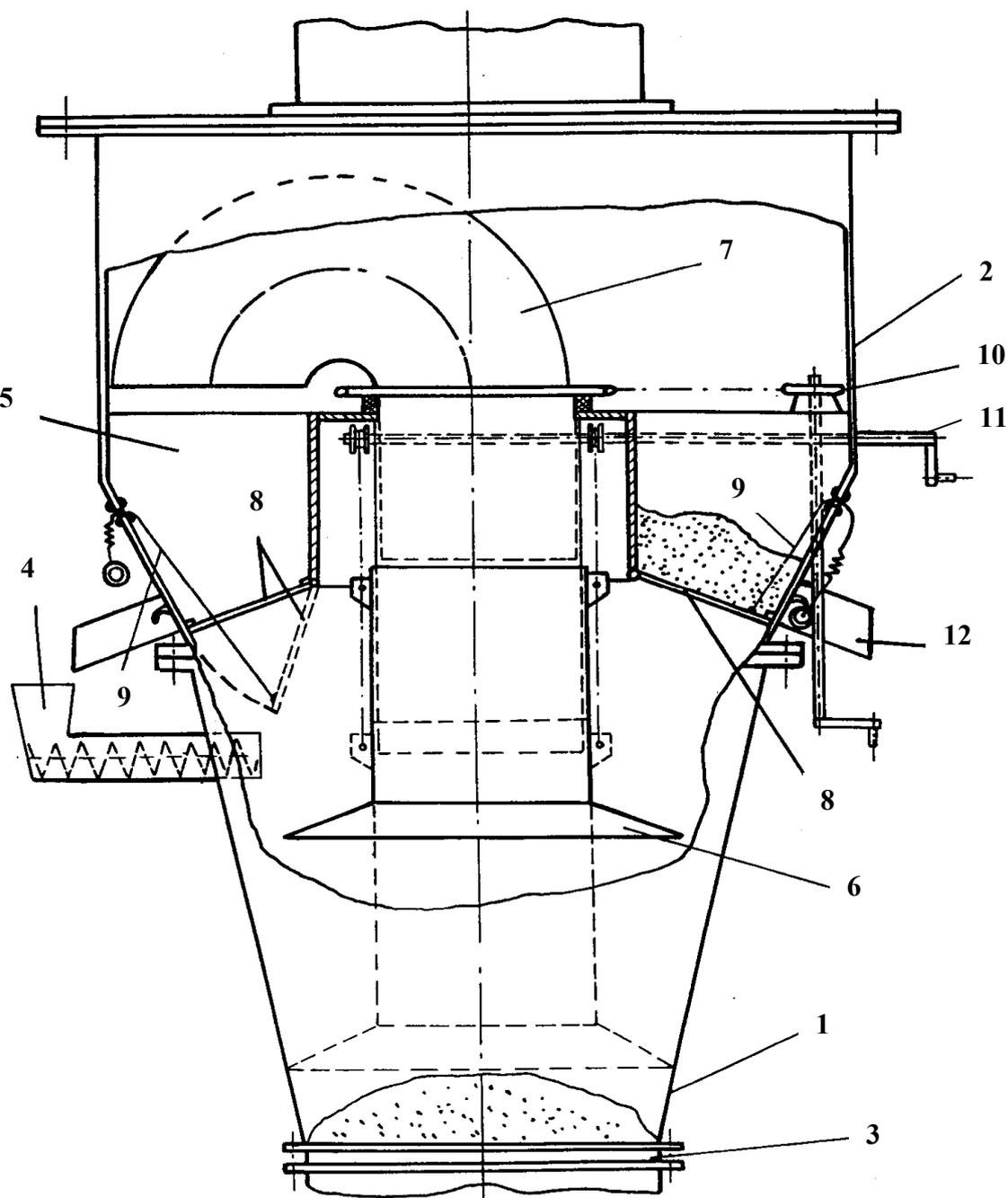


Рис. 5. Предложенная конструкция камеры для сушки шинкованного кальмара:
 1 – коническая камера; 2 – цилиндрическая камера; 3 – газораспределительная решетка;
 4 – загрузочное устройство; 5 – камеры для отлежки; 6 – диффузор; 7 – поворотное колено;
 8 – сетчатые днища; 9 – фиксаторы; 10 – приводное устройство; 11 – регулирующее устройство;
 12 – лотки разгрузки

Fig. 5. The proposed construction of the chamber for drying shredded squid:
 1 – conical chamber; 2 – cylindrical chamber; 3 – the gas distribution grid; 4 – loading device;
 5 – camera binning; 6 – a diffuser; 7 – rotary knee; 8 – mesh bottom; 9 – catches;
 10 – a drive device; 11 – a control device; 12 – unloading trays

Новая конструкция газораспределительной решётки состоит из диска 1, в котором имеются наклонные каналы 2. По площади решетка разделена на центральный круг 3, периферийный участок 4 и пристеночный периферийный участок 5. Выходные отверстия каналов 2 на периферийном участке 4 находятся на эвольвентах центрального круга 3, выходные отверстия каналов 2 пристеночного периферийного участка 5 находятся на зеркальном отражении эвольвент периферийного участка 4.

Распределение сушильного агента, выходящего из каналов решетки, в центральном круге 3 и периферийном участке 4 аналогично распределению теплоносителя, как и у решетки, представленной на рис. 2. Однако, ввиду наличия у этого типа решеток пристеночного периферийного участка 5, распределение векторов скоростей теплоносителя несколько иное на границе участков 5 и 4. Установлено, что пристеночный периферийный участок 5, выбранный в пределах не более 0,15 от наружного диаметра решетки, обеспечивает интенсивное перемешивание материала и восхождение частиц продукта вверх по стенке сушильной камеры. Снижение этой величины пристеночного участка приводит к интенсивному вращению пристеночной массы продукта без перемешивания и неэффективному использованию теплоносителя. Наличие пристеночного участка (в пределах 0,15 от наружного диаметра решетки) обеспечивает организацию циркуляционных контуров движения продукта в сушильной камере, а это в свою очередь предотвращает комкование шинкованных частиц кальмара в пристеночном участке. Наличие пристеночного периферийного участка 5 позволяет увеличить контуры циркуляции продукта на решетках с большим диаметром, охватить весь объем высушиваемого материала на решетках, а это обеспечивает его интенсивное перемешивание и эффективное использование сушильного агента.

Сушильная камера имеет форму усеченного конуса, малое основание которого соединено с газораспределительной решеткой и воздухоподводящим узлом. В газораспределительной решетке отверстия имеют диаметры 12 мм.

Их оси расположены под углом 30° к плоскости решетки, в результате чего теплоноситель, выходящий из отверстий, закручивает поток, и слой шинкованного продукта в камере, находясь во взвешенном состоянии, получает устойчивое вращательное движение по контурам циркуляции. В целях уменьшения потерь напора и увеличения закручивания слоя воздухоподводящий узел имеет улиткообразную форму.

Загрузочное устройство представляет собой шнековый дозатор, корпус которого крепится к верхней части сушильной камеры. Частота вращения шнека регулируется вариатором в пределах от 0,63 до 2,12 с^{-1} .

Камера работает следующим образом. Порция сырого шинкованного кальмара подается в нижнюю коническую часть 1 камеры загрузочным устройством 4. Сушильный агент подводится снизу камеры через газораспределительную решетку 3 и приводит в кипение слой материала. Основная часть свободной влаги удаляется в первый период сушки кальмара в течение 10 мин.

При этом масса кальмара, а следовательно, и удельная нагрузка на газораспределительную решетку снижаются вдвое. Поэтому в целях наиболее рационального использования поверхности газораспределительной решетки и сохранения постоянной удельной нагрузки работа установки осуществляется в полунепрерывном режиме.

По истечении указанного промежутка времени подсушенный кальмар с помощью регулирующего устройства 11 и центральной трубы с подвижным диффузором 6 перегружается в один из карманов 5 на отлёжку.

Перегрузка подсушенного кальмара из камеры в один из карманов осуществляется следующим образом. Регулирующим устройством 11 производится опускание диффузора 6 до соприкосновения его со стенками конической части 1 камеры. При этом диффузором 6 переключается поток теплоносителя, прошедшего через слой кальмара, что приводит к увеличе-

нию его скорости до величины, обеспечивающей пневмотранспортирование подсушенного кальмара вверх, и далее по поворотному колену 7. Поворот колена осуществляется приводным устройством 10 до совмещения выходного отверстия с одним из карманов, который определяется очередностью загрузки. В сушильную камеру загружается новая порция свежего кальмара, и цикл повторяется. Кальмар, направленный на отлежку в карман, в процессе отлежки дополнительно продувается отработанным теплоносителем через сетчатые открывающиеся днища 8, тем самым интенсифицируется процесс сушки кальмара и эффективно используется сушильный агент. По истечении заданного промежутка времени все карманы загружены кальмаром, направленным на отлежку. С этого момента подача сырого кальмара в камеру для сушки прекращается и осуществляется досушка продукта в соответствующей последовательности до заданной конечной влажности. Для этого освобождается пружинный фиксатор 9, и под силой тяжести кальмара открывается сетчатое днище 8, кальмар проваливается в сушильное пространство конической камеры на досушку. Высушенный продукт вновь перегружается в свободную секцию камеры и через лоток 12 разгрузки выводится из камеры.

Таким образом, работа аппарата складывается из четырех циклов подсушки порций кальмара и двух циклов досушки уже объединенных порций.

Результаты и их обсуждение

Исследования влияния температуры сушильного агента на продолжительность процесса и качество сушеного кальмара проводили при следующих температурных режимах: 70, 100 °С и 100 °С в начальный период сушки с последующим снижением до 70 °С. Во всех случаях скорость теплоносителя и удельная нагрузка оставались постоянными.

На рис. 6 представлены кривые процесса сушки кальмара в зависимости от температуры при скорости воздуха 8 м/с и удельной нагрузке 80 кг/м².

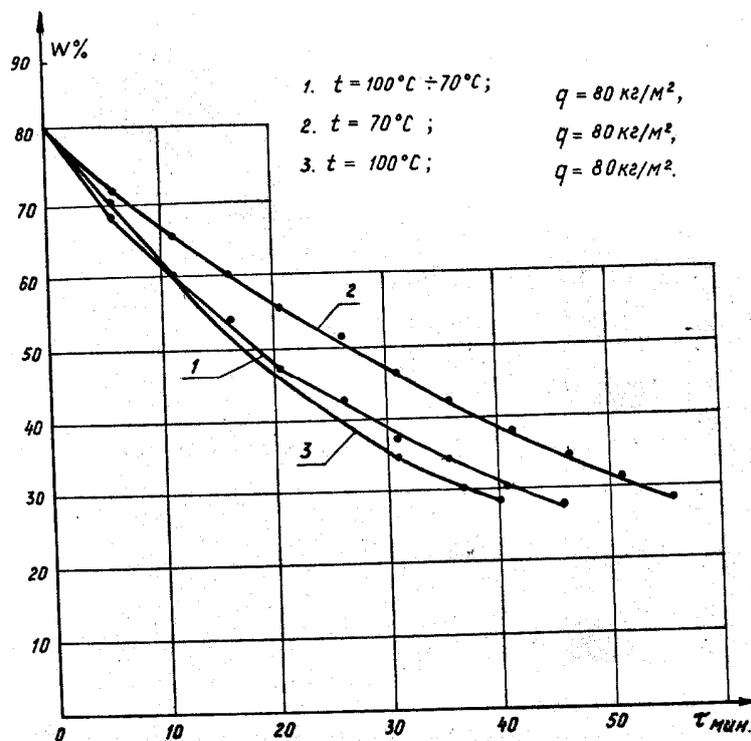


Рис. 6. Кривые процесса сушки шинкованного кальмара
 Fig. 6. The curves of the drying process, shredded squid

Анализ кривых показывает, что продолжительность сушки при температуре воздуха 70 °С составляет 55 мин, при температуре 100 °С – 40 мин, при ступенчатом режиме сушки 100–70 °С – 45 мин.

Характер кривых указывает на то, что наиболее интенсивно идет испарение влаги в первые 10–15 мин сушки, когда удаляется свободная влага, находящаяся на поверхности частиц. В этот период тепло оживающего агента тратится в основном на испарение влаги, нагрев продукта незначителен, что способствует сохранению его первоначальных свойств. В связи с этим сушку кальмара на данной стадии целесообразно вести при температуре воздуха 100 °С. Во второй период скорость влагоотдачи уменьшается за счет того, что на поверхности частиц кальмара образуется сухая корочка, которая препятствует перемещению влаги из внутренних слоев частиц на поверхность. Параллельность кривых сушки в этот период указывает на то, что повышение температуры воздуха несколько уменьшает продолжительность процесса, но может привести к нежелательным качественным изменениям белков в мясе кальмара. Снижение же общей продолжительности сушки при 100 °С можно объяснить увеличением её скорости при этом режиме в первый период.

На основании вышеизложенного для сушки кальмара можно рекомендовать ступенчатый температурный режим: 100 °С в первый период сушки (10 мин) и 70 °С во второй период. Общая продолжительность до конечной влажности 28–30 % составит 45–50 мин.

Как уже отмечалось выше, в процессе сушки на поверхности частиц кальмара образуется корочка, препятствующая диффузии влаги из внутренних слоев на поверхность, поэтому во втором периоде сушки нагрев продукта происходит более интенсивно, чем обезвоживание. Инерция поля влажности во много раз больше инерции поля температур. Для установления динамического равновесия между процессами тепло- и влагообмена исследовали сушку кальмара в осциллирующем режиме (рис. 7) при следующих параметрах:

- 1) продолжительность циклов нагрева-охлаждения 5 мин, температура нагретого воздуха 70 °С, охлаждающего воздуха 20 °С;
- 2) продолжительность нагрева 10 мин при 100 °С, вылежка 60 мин, последующая сушка при 70 °С;
- 3) продолжительность нагрева 15 мин при 70 °С, вылежка 30 мин и последующая сушка при 70 °С;
- 4) продолжительность нагрева 10 мин при 100 °С, вылежка 90 мин и последующая сушка при 70 °С.

Вылежку во всех случаях проводили при температуре окружающей среды, удаляя кальмар из сушильной камеры. Исследования показали, что в стадии промежуточного охлаждения происходит самоиспарение части влаги за счет тепла, аккумулированного в кальмаре при подогреве, при этом направления градиентов влагосодержания и температуры совпадают, что способствует сушке кальмара и улучшению качества готового продукта. Но продолжительность процесса значительно увеличивается, кроме того, организация осциллирующего способа сушки в аппарате периодического действия усложняет его конструкцию. В процессе вылежки продукта происходит перераспределение влаги в слое кальмара, самоиспарение части влаги и его охлаждение. В объеме каждой частицы происходит диффузия влаги из внутренних слоев на поверхность, чем и объясняется резкое снижение её содержания в первые 5 мин сушки после вылежки независимо от температуры сушильного агента (рис. 7). Однако второй период процесса сушки протекает аналогично режимам без вылежки, о чем говорит идентичность кривых во втором периоде, представленных на рис. 6 и 7. При этом продолжительность процесса сушки с вылежкой продукта значительно возрастает, а энергетические затраты снижаются на 15–20 %.

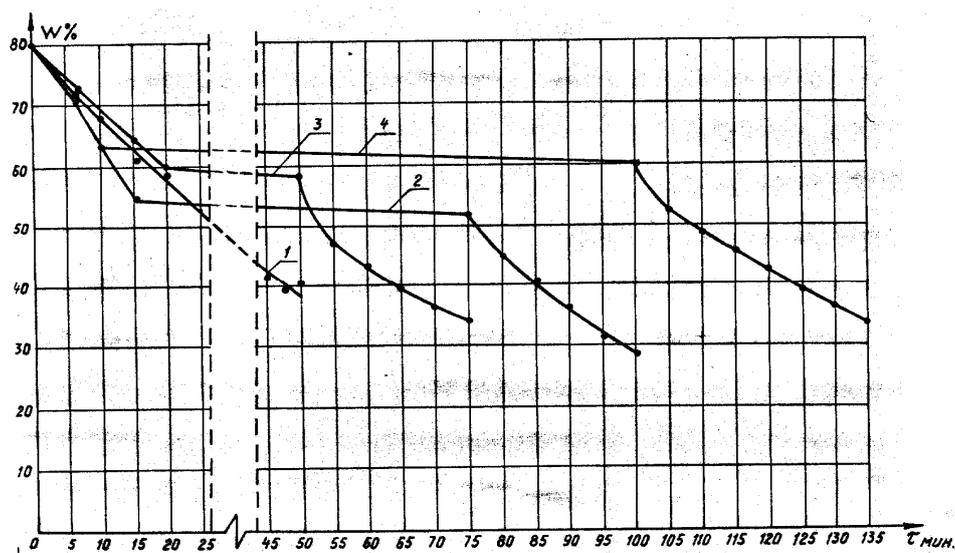


Рис. 7. Кривые процесса сушки шинкованного кальмара в осциллирующем режиме
Fig. 7. The curves of the drying process, shredded squid in an oscillating mode

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При сушке шинкованного кальмара в аппарате кипящего слоя оптимальной является удельная нагрузка, равная 80 кг/м^2 .
2. Наиболее активный гидродинамический режим сушки (устойчивое вращательное движение слоя с одновременным кипением продукта) достигается при скорости потока воздуха перед газораспределительной решеткой 8 м/с .
3. Сушку шинкованного кальмара во взвешенно-вращающемся слое следует проводить при ступенчатом температурном режиме: 100°C в первый период (10 мин) и 70°C во второй период процесса.
4. Время сушки шинкованного кальмара в аппарате со взвешенно-закрученными потоками теплоносителя составляет 45–50 мин.

Список литературы

1. Погонец, В.И. Сушка морепродуктов во взвешенно-закрученных потоках: монография / В.И. Погонец. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2000. – 193 с.
2. Погонец, В.И. Гидродинамические характеристики и диапазон существования кипящего закрученного слоя дисперсных частиц агары при сушке / В.И. Погонец // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – Т. 25. – С. 263–266.
3. Погонец, В.И. Технология сушки морепродуктов во взвешенном состоянии: монография / В.И. Погонец. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. – 245 с.
4. Погонец, В.И. Интенсификация процессов сушки шинкованных морепродуктов, склонных к комкованию / В.И. Погонец, О.И. Русанов // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – Т. 29. – С.107–114.
5. Погонец, В.И. Моделирование процесса сушки измельченных гидробионтов во взвешенном состоянии / В.И. Погонец, А.В. Лазанович // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2014. – Т. 30. – С.263–266.

Сведения об авторе: Погонец Владимир Ильич, доктор технических наук, профессор, e-mail: pogonetsvi@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ	3
<i>Азмухаметова Л.М., Кошкин С.А.</i> Пространственно-временные особенности распределения силикатов в водах залива Петра Великого.....	3
<i>Булыгин В.В., Рыбникова И.Г.</i> Некоторые особенности питания тихоокеанского кальмара в заливе Петра Великого (Японское море) в летне-осенний период.....	13
<i>Казаченко В.Н.</i> Новые сведения о паразитических copeподах (Crustacea: Copepoda) рыб северо-западной части Тихого океана.....	17
ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО. АКУСТИКА	23
<i>Бакланов Е.Н., Стародубцев П.А., Стародубцев Е.П., Карасев В.В.</i> Влияние фазовой скорости на процесс затухания и рассеяния энергии просветных сигналов при распространении их в океанском волноводе.....	23
<i>Стародубцев П.А., Мироненко М.В., Бакланов Е.Н., Шостак С.В.</i> Радиогидроакустическая система контроля гидрофизических полей и передачи измеряемой информации в морской среде.....	32
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ	38
<i>Бойко С.П.</i> Методика и результаты расчета тонкости отсева тканых фильтровальных сеток судовых саморегенерирующих очистителей топлива и масла.....	38
<i>Капран Л.К., Маницын В.В., Старовойтова З.П.</i> Оптимизация мощности и расхода топлива главным дизелем 5ДКРН50/110-2 танкера типа «Калининграднефть» с гидравлически облегченным гребным винтом.....	45
<i>Кирюха В.В.</i> Контроль и измерение деформаций с использованием магнитоупругих и тензорезисторных преобразователей.....	53
<i>Кирюха В.В., Горбенко Ю.М., Яблокова В.С.</i> Разработка алгоритма диагностики трансформаторов под нагрузкой.....	61
<i>Плоткина В.А., Стародубцев П.А.</i> Сопротивление формы судов при движении в морской среде.....	67
<i>Руднев Б.И., Повалихина О.В.</i> Математическое моделирование локального радиационного теплообмена в камере сгорания судового дизеля.....	73
<i>Соболенко А.Н.</i> Расчет температуры и давления начала сжатия в рабочем цикле при охлаждении наддувочного воздуха по способу Миллера.....	79
<i>Таращан Н.Н., Кича П.П., Семенюк Л.А.</i> Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла комбинированным фильтрованием в судовых дизелях с высоким наддувом.....	83
ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	93
<i>Богданов В.Д., Сахарова О.В., Сахарова Т.Г.</i> Исследование безопасности и биологической ценности сухого концентрата трепанга биотестированием.....	93
<i>Борщ Р.А., Огурченок М.В., Холоша О.А.</i> Эффективные методы воздействия на производственные риски рыбоперерабатывающего предприятия.....	99
<i>Дементьева Н.В., Богданов В.Д., Петрик А.С.</i> Влияние способов посола икры сельди тихоокеанской на скорость просаливания и созревания.....	104
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ	110
<i>Погонец В.И.</i> Модернизация установки для сушки кальмара во взвешенно-закрученных потоках.....	110

CONTENTS

ICHTHYOLOGY. ECOLOGY	3
<i>Azmukhametova L.M., Koshkin S.A.</i> Space-time peculiarities of silicates distribution in the Peter the Great bay waters.....	3
<i>Bulygin V.V., Rybnikova I.G.</i> Some especially of feeding of pacific flying squid in Peter the Great bay (Sea of Japan) in the summer-autumn period.....	13
<i>Kazachenko V.N.</i> New information on the parasitic copepod (Crustacea: Copepoda) of fish northwestern pacific.....	17
INDUSTRIAL FISHERIES. ACOUSTICS	23
<i>Baklanov E.N., Starodubtcev P.A., Starodubtcev E.P., Karasev V.V.</i> Effect phase velocity on the process of attenuation and dispersion of luminal signals energy during their propagation in ocean waveguide.....	23
<i>Starodubtcev P.A., Mironenko M.V., Baklanov E.N., Shostak S.V.</i> Radiohydroacoustic system for control hydrophysical fields and transfer data measured in the marine environment.....	32
SHIP POWER PLANTS, EQUIPMENT AND SYSTEMS, SHIP NAVIGATION FACILITIES, SHIP ELECTRICAL FACILITIES	38
<i>Boyko S.P.</i> Methods and results of calculation tonkosti dropout nonwoven filter grids ship cleaners self-recovering fuel and oil	38
<i>Kapran L.K., Manyisyn V.V., Starovoytova Z.P.</i> Optimization of power and fuel consumption main diesel 5DKRN50/110-2 tankers «kaliningradneft» with hydraulic relief propeller.....	45
<i>Kiryuha V.V.</i> Monitoring and measuring deformation and strain use magnetoelastic converters.....	53
<i>Kiryuha V.V., Gorbenko Yu.M., Yablokova V.S.</i> Diagnosis of transformers load.....	61
<i>Plotkina V.A., Starodubtcev P.A.</i> Resistance forms of vessels when driving in the marine environment.....	67
<i>Rudnev B.I., Povalikhina O.V.</i> Mathematical simulation of local radiant heat transfer in marine diesel engine combustion chamber	73
<i>Sobolenko A.N.</i> Temperature and pressure calculation at the beginning of the compression stroke in the operational cycle using supercharging air calling by Millers mode.....	79
<i>Tarashchan N.N., Kicha P.P., Semeniuk L.A.</i> Efficiency improvement of engine oil fine purification by combined filtering in marine diesel engines with high-pressure charging.....	83
TECHNOLOGY AND QUALITY CONTROL OF FOOD PRODUCTS	93
<i>Bogdanov V.D., Sakharova O.V., Sakharova T.G.</i> Safety studies and biological value of dry concentrate Holothuroidea Bio-testing.....	93
<i>Borsch R.A., Ogurchenok M.V., Kholosha O.A.</i> Effective methods of influence on industrial risks enterprise fish	99
<i>Dementeva N.V., Bogdanov V.D., Petrik A.S.</i> Influence of method of salting of caviar of pacific herring on the speed of the brining and ripening.....	104
TECHNOLOGICAL AND TRANSPORTATION EQUIPMENT OF FISHERIES	110
<i>Pogonets V.I.</i> Upgrade installation to intensify drying squid in carefully-twisted threads.....	110

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Статья должна соответствовать научным требованиям, быть интересной достаточно широкому кругу российской научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы и содержать очевидный элемент создания нового знания.

За точность воспроизведения имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Объем статьи (включая список литературы, таблицы и надписи к рисункам) должен быть от 4 до 12 страниц; текст – в формате А4; наименование шрифта – Times New Roman; размер (кегель) шрифта – 12 пунктов; все поля должны быть 2 см, отступ (абзац) – 1 см, межстрочный интервал – одинарный.

Текст статьи набирать без принудительных переносов, слова внутри абзаца разделять только одним пробелом, не использовать пробелы для выравнивания. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Границы таблиц и рисунков должны соответствовать параметрам полей текста. Математические уравнения и химические формулы должны набираться в редакторе формул Equation (MathType) или в Редакторе MS Word, одним объектом, а не состоять из частей, сами формулы должны быть 12-14 кегля.

Формулы и уравнения печатаются с новой строки и нумеруются в круглых скобках в конце строки.

Рисунки должны быть представлены в формате *.jpg или *.bmp. Подрисовочная подпись должна состоять из номера и названия (Рис. 1. ...). В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Графики, диаграммы и т.п. рекомендуется выполнять в программах MS Excel или MS Graph. Таблицы должны иметь заголовки и порядковые номера. В тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую таблицу.

Допускаются смысловые выделения – полужирным шрифтом.

Статья должна включать следующие данные:

1. Индекс УДК (на первой странице в левом верхнем углу).

2. Инициалы и фамилии всех авторов, через запятую.

3. Полное название учреждения (место работы), город, почтовый адрес и индекс.

Если авторов несколько и они работают в разных учреждениях, возле названия каждого учреждения и фамилии автора ставится соответствующий надстрочный символ.

4. Над фамилиями авторов справа указывается один из следующих разделов сборника:

- **Ихтиология. Экология.**

- **Промышленное рыболовство. Акустика.**

- **Судовые энергетические установки, устройства и системы, технические средства судовождения, электрооборудование судов.**

- **Технология и управление качеством пищевых продуктов.**

- **Технологическое и транспортное оборудование рыбохозяйственной отрасли.**

5. Заголовок. Название статьи должно быть кратким (не более 10 слов). Заголовки набирают полужирными заглавными буквами. В заглавии не допускается употребление сокращений, кроме общепризнанных.

6. Аннотацию (не более 700 печатных знаков) набирают курсивом.

7. Ключевые слова (не более 9).

8. Текст статьи обязательно должен содержать следующие разделы (возможно выделение данных разделов в тексте):

Введение

Объекты и методы исследований

Результаты и их обсуждение

Выводы

9. Список литературы оформляется согласно ГОСТ 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка». Список литературы приводится в порядке цитирования работ в тексте в квадратных скобках [1, 2, 3].

На английском языке необходимо предоставить следующую информацию (после ключевых слов на русском языке):

- инициалы и фамилии авторов;
- заглавие статьи;
- текст аннотации;
- ключевые слова (Key words);
- подписи к рисункам и названия таблиц (приводятся в тексте по смыслу).

Сведения об авторах приводятся в конце статьи (после списка литературы) и включают в себя: Фамилия, имя, отчество (полностью), научная степень, звание, должность, e-mail.

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MS Word 3 на CD диске, флэш-носителе или отправляется на электронный адрес редакции (nauch-tr@dgtru.ru). Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – Петров А.А.doc. Не допускается в одном файле помещать несколько файлов.

2. Распечатанный экземпляр статьи, строго соответствующий электронной версии.

3. Сопроводительное письмо на имя главного редактора сборника (ректора ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз» Кима Г.Н.) на бланке направляющей организации о возможности опубликовать научную статью в сборнике, с подписью руководителя учреждения (заверенной печатью), в котором выполнена работа, или его заместителя (сотрудникам Дальрыбвтуза не требуется сопроводительное письмо).

4. Экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати с гербовой печатью организации.

5. Заявка (Ф.И.О., город, учреждение, название статьи, название рубрики, контактные (рабочий, сотовый) телефоны, дата подачи статьи).

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Пример оформления статьи

УДК 123

Ихтиология. Экология

А.А. Иванов¹, И.Б. Петров²

¹ Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

² Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, 690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4.

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ

Аннотация.

Ключевые слова: гидробионты.

Данные на английском языке.

Текст статьи (по ширине страницы) [1, 2, 3].

Список литературы

Сведения об авторах: Иванов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: ivanova@mail.ru;

Петров Игорь Борисович, кандидат биологических наук, профессор, научный сотрудник, e-mail: petrov@mail.ru.

Адрес: 690087, Россия, Владивосток, ул. Луговая, 52б, каб. 412б

Тел./факс: (4232) 44-11-76

e-mail: nauch-tr@dgtru.ru

сайт: <http://nauch-tr.dgtru.ru>

Научное издание

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Сборник научных статей

Том 37

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-45533 от 16 июня 2011 г.

Редактор Т.В. Ломакина
Художественный редактор А.А. Устьянцева
Макет, обложка О.В. Нечипорук
Мастер печати Н.В. Сауцкая

Подписано в печать 29.04.2016. Формат 60x84/8.
Усл. печ. л. 14,41. Уч.-изд. л. 10,20. Заказ 0596. Тираж 400 экз.
Отпечатано: Издательско-полиграфический комплекс Дальневосточного
государственного технического рыбохозяйственного университета
690091, г. Владивосток, ул. Светланская, 25