

# ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ

36

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



**ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Збірник наукових праць*

**ВИПУСК (3)36**

*Заснований у червні 1997 року*

**Одеса – 2012**

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ (3)36  
2012

Заснований у червні 1997 року

Виходить 4 рази на рік

Свідоцтво Міністерства юстиції України  
про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ № 17536-6286 Р від 11.02.2011 р.

УДК 629.12.002(082)

Збірник включено до переліку № 1 наукових фахових  
видань України, в яких можуть публікуватися результати  
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів  
доктора і кандидата наук  
(Постанова ВАК № 1-05/1 від 26.01.11)

Засновник і видавець:  
внз «Одеський національний морський університет»  
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34

Редакційна колегія:

д-р економ. наук, проф. *І.В. Морозова* – відп. редактор  
канд. техн. наук, доц. *С.М. Баскаков* – заст. відп. редактора  
*Г.І. Силакова* – відповід. секретар

д-р техн. наук, проф.	<i>Вассерман О.А.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Лапкіна І.О.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Гришин В.О.</i>	д-р фіз.-мат. наук, проф.	<i>Андронов І.Л.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Єгоров Г.В.</i>	д-р економ. наук, проф.	<i>Постан М.Я.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Євдокімов В.Д.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Івановський В.Г.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Клованич С.Ф.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Козляков В.В.</i>
д-р техн. наук, проф.	<i>Дубровський М.П.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Сизов В.Г.</i>
д-р економ. наук, проф.	<i>Махуренко Г.С.</i>	д-р техн. наук, проф.	<i>Яровенко В.О.</i>

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Одеського національного морського університету  
(протокол № 2 від 26 вересня 2012 р.)

Відповідальність за достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей.  
Висловлені у цих статтях думки можуть не збігатися з точкою зору редакційної колегії, не покладають на неї ніяких зобов'язань.

Передруки і переклади дозволяються лише за згодою автора та редакції.

© Вісник Одеського національного  
морського університету, 2012

ВЫДАЮЩИЙСЯ ИНЖЕНЕР И ПЕДАГОГ  
Н.Н. ЗАРЕМБО-ВЛАДЫЧАНСКИЙ



*Дан анализ жизнедеятельности крупного специалиста в области инженерных сооружений.*

**Ключевые слова:** инженер путей сообщения, железобетон, основатель кафедры, свайные ростверки, навал судна на причал.

*Зроблено аналіз життєдіяльності видатного спеціаліста в галузі інженерних споруд.*

**Ключові слова:** інженер шляхів сполучення, залізобетон, засновник кафедри, пальові ростверки, навалювання судна на причал.

*To give analysis of life and activities important specialist of sphere engineering constructions.*

**Keywords:** engineer, communication, lines, reinforced-concrete, chair founder, piled grillages, trust of the vessel upon the berth.

**Профессор Зарембо-Владычанский ...** Это имя мало что говорит современной инженерной и педагогической общественности. А в 40-50-х годах прошлого века в период восстановления и развития морских портов и промышленных предприятий это был широко известный инженер-строитель и первоклассный педагог. Ни одна проектная организация отрасли не обходилась без его расчётов, консультаций или экспертиз. Он был основателем и руководителем в течение 12 лет профилирующей кафедры «Строительные работы и инженерные конструкции» нашего университета. Впоследствии это название несколько видоизменялось, но суть оставалась (ныне кафедра «Инженерные конструкции и водные исследования»).

Единственный профессор в ту пору на гидротехническом факультете. Крестный отец плеяды известных инженеров и ученых.

Широк был диапазон научных интересов этого талантливое человека: арки и рамы, эркеры и кольцевые фундаменты, скольжение земляных масс и отпор грунта в шпунтовых стенках, свайные ростверки и навал судов на причалы... Особенно он увлекался проблемами железобетона. Мог с помощью своего металлического ключа от квартиры с большой точностью, без всяких приборов, определить (по величине отпечатка) прочность бетона в конструкции.

Наиболее важными своими работами Николай Николаевич считал новую теорию железобетона (расчет по разрушающим нагрузкам), которая была опубликована ещё в 1939 году [1], а также теорию и практические методы расчета сводов-оболочек двоякой кривизны (тема его докторской диссертации).

Автор многочисленных расчетных приемов и методов. Его современники отмечали, что он был наделен талантом решать сложнейшие задачи по-новому, предельно просто и изящно. С четким доведением до числа, до практических рекомендаций.

Современный ему уровень науки не позволял точно давать ответы на возникающие задачи. Поэтому решение им каждой новой инженерной проблемы превращалось в своего рода научную работу. Он живо откликался на насущные задачи производства.

Жизненный путь проф. Зарембо-Владычанского интересен и поучителен. Родился Николай Николаевич в Санкт-Петербурге 6 января 1884 года в семье инженера. В 1902 году окончил классическую гимназию с золотой медалью «Преуспевающему», а в 1909 году знаменитый С.-Петербургский Институт инженеров путей сообщения. За свой дипломный проект моста награжден премией. В дипломе того времени отмечалось, что *«утвержден в звании инженера путей сообщения с правом составления проектов и производства всякого рода строительных работ»*. Это предназначение Николай Николаевич выполнил в своей жизни сполна.

Молодой инженер начал трудовую деятельность с осушения болот в Олонецкой губернии, затем работал в течение года в качестве конструктора по железобетону. В 1911 году переходит на строительство железных дорог, которым посвятил почти 14 лет своей жизни. Принимал активное участие в строительстве стратегической Мурманской (Олонецкой) железной дороги, которая возводилась ударными темпами в годы Первой мировой войны. Здесь в должности начальника дистанции пути построил в 1914-1916 годах около 50 малых мостов и труб, а также два больших моста – через р. Погра в три пролета и через р. Свирь пролетом 107 м. При этом ему пришлось решать, по его собственному признанию, много серьезных задач, возникших при производстве работ.

По завершению прокладки магистрали Петроград-Мурманск инж. Зарембо-Владычанский переходит на строительство и эксплуатацию южных участков железных дорог. Затем служит в Управлении Одесского линейного отдела Юго-Западной железной дороги вплоть до 1924 года.

Осенью 1918 года начинается научно-педагогическая деятельность Николая Николаевича в открывшемся Одесском политехническом институте на Инженерном факультете. Используя свой богатый производственный опыт, он преподает курс «Строительное искусство». Вероятно он сам предложил такое название предмета ибо понимал, что искусство строить старше науки. Разрабатывает также первый курс железобетона. С 1924 по 1930 год по совместительству преподает инженерные дисциплины в Высшем строительном техникуме и Институте зерна и муки. В 1930 году по разделении ОПИ на ведомственные вузы доц. Зарембо-Владычанский переходит в ОИИВТ и возглавляет кафедру инженерных конструкций, которая была создана по его инициативе. С переводом в 1933 году гидротехнического факультета и его кафедр в Ленинградский институт инженеров водного транспорта переходит в строительный институт, где заведует аналогичной кафедрой. В январе 1940 года решением ВАК Н.Н. Зарембо-Владычанский утверждён в звании профессора.

Параллельно с преподавательской работой Николай Николаевич продолжает активно вести инженерную деятельность. В 1925 году проектировал все железобетонные конструкции при восстановлении после пожара нашего оперного театра. В частности он спроектировал железобетонный занавес между сценой и зрительным залом взамен стального, сразу же покоробившегося едва занялся огонь на сцене. Сгорела тогда не только сцена, но и ближайшие к ней ложи и ряды кресел партера.

В 1925-1926 годах служил в Управлении Одесского торгового порта, где принимал участие в проектировании и строительстве (в качестве прораба) двух железобетонных складов-амбаров. Вообще немало промышленных объектов в Одессе и области до войны были спроектированы или построены при его участии.

Во время оккупации Одессы Николай Николаевич, чтобы не голодать, устраивая инженером в проектное бюро, затем – в Одесский университет, преподавал на политехническом факультете.

После освобождения Одессы с первых же дней проф. Зарембо-Владычанский принял деятельное участие в восстановлении строительного института. Известен факт, когда Николай Николаевич пришел в разоренный институт 14 апреля 1944 года со своим стулом. В первую очередь как заведующий кафедрой взялся за восстановление лаборатории испытания материалов и организацию НИСа, деятельность которого была направлена на помощь разным организациям в восстановительных работах в Одессе и области и даже в Молдавии. В те годы толковые инженеры были нарасхват. Его называли «главврачом» и «скорой помощью» в лечении разрушенных или поврежденных зданий и сооружений. Можно привести пример, когда Н.Н. Зарембо-Владычанский вместе со своими аспирантами выполнил уникальный подъем монолитного безбалочного перекрытия 5-ти этажного холодильника Одесского мясокомбината, тем самым сохранив крупное здание от разборки.

Являлся постоянным консультантом Одесского отделения Промстройпроекта и Черноморпроекта.

1 июня 1946 года проф. Зарембо-Владычанский был приглашен в ОИИМФ для воссоздания кафедры Инженерных конструкций вновь образованного гидротехнического факультета (вначале при кафедре «Морские порты»).

Необходимо было обеспечить за короткое время ведение таких общестроительных дисциплин как Строительные материалы, Технология производства работ, Строительная механика, Архитектура, Инженерная геодезия, Инженерная геология и пр. В 1948 году кафедра была укомплектована. Николаю Николаевичу удалось привлечь на кафедру ведущих преподавателей из строительного института (доцентов И.В. Немковского, В.И. Реута, Л.М. Таранова и др.), а также опытных специалистов с производства, в том числе главного архитектора города Одессы А.О. Лисенко, главного инженера Промстройпроекта И.К. Найдено, известного инженера-практика А.Н. Андрикевича.

С годами кафедра стала выпускающей. Именно она дала возможность записи в дипломе инженера-гидротехника в составе его квалификационной характеристики существенную приставку «с правом производства общестроительных работ».

Несомненной заслугой проф. Зарембо-Владычанского была организация в середине 50-х годов учебной и исследовательской лаборатории инженерных конструкций и строительных материалов. В её создании принимали активное участие инж. К.М. Кокоржицкий и молодой асс. Ю.И. Васильевский, ставший впоследствии доктором наук. Лаборатория тогда базировалась в подвале 5-го корпуса общежития (после – в подвале 6-го корпуса).

Являясь инженером-строителем широкого профиля проф. Зарембо-Владычанский немало сделал и для развития морской отрасли, работая много лет в ЧерноморНИИпроекте в качестве главного научного консультанта. В середине прошлого века, когда разворачивалось строительство

Ильичевского порта и начиналось проектирование свайных набережных на слабых грунтах, возникла задача совершенствования методов их расчёта. Существовавшие методы были в значительной мере условны. По конструкции верхнего строения свайные эстакады разделялись на два вида: с жестким и гибким железобетонным ростверком. Расчёт ростверков с жестким ригелем впервые был разработан Н.М. Герсевановым, однако метод приводил к довольно громоздким вычислениям. В то время ещё не было ЭВМ и решения сложных уравнений превращались в немалую проблему. Н.Н. Зарембо-Владычанский, используя метод так называемого упругого центра (особой точки сооружения), получил более простые формулы, приводящие к элементарным расчётам [7].

Необходимость внедрения в практику морского строительства более прогрессивных гибких ростверков заставила искать новые методы их расчёта. Расчет таких конструкций представляет собой одну из специфических задач строительной механики. В 1955 году Н.Н. Зарембо-Владычанский предложил оригинальный метод, заметно отличающийся от существовавших простотой своего решения и удобством применения в практических расчётах [4]. Суть в том, что он обосновал возможность допущения в расчётной схеме шарнирного соединения свай с ригелем и грунтовым основанием, что намного упрощало решение задачи и практически не искажало результаты расчёта. Метод давал более реальную картину распределения между собой величин опорных и пролетных моментов и, как следствие, приводил к более рациональному армированию плиты ростверка.

Методы расчёта свайных ростверков широко использовались в проектной практике и в учебном процессе. Не одно поколение студентов-гидротехников училось на классических методах проф. Зарембо-Владычанского.

... Впервые Николай Николаевич предстал перед нами, студентами, в 1954 году. Художавый, подвижный, невысокого роста, уже седой. Ходил, прихрамывая, на протезе (ещё в детстве потерял ступню в результате несчастного случая). Читал нам курс железобетона. Его лекции после лекций по гидравлике блестящего методиста В.А. Чебыкина казались нам поначалу суховатыми, порой сложными в понимании. Лишь некоторое время спустя мы могли оценить его стиль подачи материала, умение ставить и решать задачи, его эрудицию. Чертил он красиво. Будь-то на аудиторной доске или на бумаге. Сказывалась старая школа. К студентам относился благосклонно и терпеливо. Иногда прерывал учебный процесс, выезжая в порты Черноморско-Азовского бассейна для экспертизы с целью реконструкции взорванных во время войны сооружений, получивших, так сказать, нестандартные разрушения. Николай Николаевич как никто другой понимал особенности работы любой конструкции.

В послевоенные годы в связи с ростом тоннажа и размеров морских судов возникла актуальная задача расчёта причальных сооружений, особенно свайных, на удар судов при швартовке. Отсутствие норматив-



ных скоростей и углов подхода судов к причальной линии усложняло задачу. Существовавший приближенный метод расчета инж. Б.А. Урецкого приводил к грубым погрешностям. Проф. Зарембо-Владычанский предложил более обоснованный метод решения [3]. Действие удара судна рассматривал как неупругое и внецентренное приложение силы на отсек причала, получающий поступательное и вращательное колебания. Исходя из закона момента количества движения, были выведены рабочие формулы для определения усилий, возникающих в свайных опорах.

В конце 1950-х годов, когда начали применяться в портовом строительстве сваи-оболочки, потребовалось срочно решить задачу защиты их от разрушения во время погружения. Николай Николаевич за короткий срок, буквально за несколько дней, впервые разработал методику расчета свай кольцевого сечения на трещиностойкость, которая была сразу же внедрена в проектную практику, но опубликована уже после его кончины [5].

Свои расчеты он стремился проверять на практике. Так под его руководством проводились натурные испытания железобетонных элементов портовых складов [6]. Занимался Николай Николаевич и вопросами укрепления морских берегов в районе Сочи – Магеста и Одессы.

Завершая обзор расчетных методов Н.Н. Зарембо-Владычанского, отметим, что впоследствии появились более совершенные методы решения некоторых задач с использованием ЭВМ, однако для своего времени его решения были востребованы и приемлемы.

За вклад в развитие морской отрасли и подготовку специалистов проф. Зарембо-Владычанский был награжден Почетной грамотой министра Морского флота СССР.

Николай Николаевич активно участвовал и в общественной жизни: руководил постоянно действующим научным семинаром на факультете, избирался председателем Облсовета ВНИТОС (Всесоюзное научное инженерно-техническое общество строителей). Он отличался большим трудолюбием, был широко образованным человеком. Свободно читал на французском и немецком.

По воспоминаниям его ученика проф. А.Э. Лопатто (из ОГАСА) это был «человек добрый, душевный, беззащитной скромности, поражающей деликатности в обращении и во взаимоотношениях со студентами и аспирантами, сотрудниками и начальниками». Вырастил двух дочерей.

Скончался Н.Н. Зарембо-Владычанский 31 декабря 1959 года, хоронили его 3 января 1960 года при большом стечении народа. Несомненно, проф. Зарембо-Владычанский относится к числу наиболее ярких представителей педагогического коллектива в истории нашего университета.

Память о знаменитом Профессоре живет в его практических делах, научных трудах и многочисленных специалистах, им воспитанных.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зарембо-Владычанский Н.Н. К новой теории железобетона. Труды Одесского института инженеров гражданского и коммунального строительства. – Вып. I. – Одесса, 1939. С.209-296.
2. Зарембо-Владычанский Н.Н. Расчёт сложных рам методом последовательных деформаций // Сборник трудов Одесского гидротехнического института. – Вып. VI. – К.: Издательство Академии архитектуры УССР, 1954. – С.108-130.
3. Зарембо-Владычанский Н.Н. Удар судна о набережную // Научн. тр. ОИИМФа. – Вып. 10. – М.: ГОСИЗ Водного транспорта, 1954. – С.3-19.
4. Зарембо-Владычанский Н.Н. Расчёт свайного ростверка с упругим ригелем // Научн. труды ОИИМФа: Юбилейный выпуск. – М., 1955. – С.193-208.
5. Зарембо-Владычанский Н.Н. Расчёт на трещиностойкость предварительно напряженного железобетонного элемента кольцевого сечения // Научн. тр. «Гидротехника». – Вып. I. – М.: Морской транспорт, 1961. – С.5-13.
6. Зарембо-Владычанский Н.Н., Васильевский Ю.И., Шайкис А.Е. Натурное испытание крупной панели перекрытия склада // Научн. тр. «Гидротехника». – Вып. I. – М.: Морской транспорт, 1961. – С. 60-81.
7. Лубенов Р.В., Шихиев Ф.М. Морские гидротехнические сооружения свайной конструкции. – М.: Рекламинформбюро ММФ, 1976. – С.81-89.

Стаття надійшла до редакції 23.10.12

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Одеського національного морського університету **В.О. Гришин**.

УДК 629.5 Е30

Г.В. Егоров

### ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

*Приведены результаты анализа грузопотоков сухогрузов для Европейской части России с определением основных видов грузов, пунктов погрузки, перегрузки и выгрузки, коммерческих особенностей и продолжительности рейсов, необходимых для решения внешней задачи проектирования сухогрузных судов смешанного плавания. Показана необходимость строительства новых судов.*

**Ключевые слова:** суда смешанного река-море плавания, класс судна, сухогрузное судно, прогноз, перевозки сухогрузов, внутренний водный транспорт.

*Приведені результати аналізу вантажопотоків сухих вантажів для Європейської частини Росії з визначенням основних типів вантажів, пунктів завантаження, перевантаження та вивантаження, комерційних особливостей та тривалості рейсів, які є необхідними для вирішення зовнішнього завдання проектування суховантажних суден змішаного плавання. Показано необхідність будівництва нових суден.*

**Ключові слова:** судна змішаного ріка-море плавання, клас судна, суховантажне судно, прогноз, перевезення сухих вантажів, внутрішній водний транспорт.

*Results of the analysis of freight traffics of dry cargoes for the European part of Russia are given with definition of the basic kinds cargoes, points of loading, reloading and unloading, commercial features and durations of voyages necessary for the decision of an external task of designing of mixed river-sea navigation dry-cargo vessels. Necessity of building of new vessels is shown.*

**Keywords:** mixed river-sea navigation vessels, vessel's class, dry-cargo vessel, forecast, transportation of dry cargoes, inland water-way transport.

**Постановка проблемы.** Рост объемов перевозки внутренних и экспортно-импортных грузов подчеркивает особый интерес к судам смешанного плавания (ССП) как к наиболее эффективной и рентабельной составляющей водного транспорта России.

По информации Министерства транспорта Российской Федерации объем перевозок грузов на внутреннем водном транспорте (ВВТ) в 2011 году существенно вырос и составил 126,6 млн. т. (+20,7 % к уровню 2010 года). Предполагается, что уже в этом году перевозки ВВТ выйдут на докризисный уровень [10].

Для возможности обеспечения перевозок грузов необходим флот, который, собственно, и будет осуществлять эти перевозки. В последние годы достаточно остро стоит вопрос обновления флота сухогрузных ССП [5, 6], который перевозит как внешнеторговые грузы (как, правило, сырьевой экспорт) и обеспечивает заметную часть внутренних перевозок по рекам.

**Целью статьи** является исследование экономических предпосылок строительства нового поколения сухогрузных ССП для Европейской части России на основе анализа грузопотоков сухих грузов с определением основных видов, пунктов погрузки, перегрузки и выгрузки, коммерческих особенностей и продолжительности рейсов. Такая информация необходима для решения внешней задачи проектирования (определения основных характеристик и потребного количества флота) сухогрузных ССП.

**Экспортно-импортные перевозки сухогрузов на судах смешанного плавания.** В последние 15 лет перевозки грузов в заграничном сообщении не имели устойчивой динамики и были пропорциональны внешнеторговому обороту России. Более значительные по объемам перевозки осуществлялись в период с 1995 по 2005 гг., когда эти объемы достигли около 30 млн. тонн. С 2006 г. в связи с изменением методологии учета эти перевозки формально сократились до 12 млн. тонн (без учета перевозок ССП между морскими портами), хотя в действительности объем транспортировки на ССП не уменьшился.

В связи с изменением методологии учета и отнесением ряда видов экспортно-импортных перевозок к категории морских динамика перевозок грузов в заграничном сообщении уменьшилась в 2,4 раза против уровня в 2006-2007 гг. поэтому прогноз этих перевозок, начиная с 2010 г., в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г. оказался завышенным.

Распределение этих перевозок по видам грузов приведено ниже в табл. 1 (по данным ЗАО «Ленгипроречтранс» [1]).

В 2009 году объем экспортно-импортных перевозок сухих грузов увеличился за счет перевозок черных металлов (+33,7 %, до 1,84 млн. тонн), прочих сухих грузов (+38,6 %, до 2,42 млн. тонн), химических минеральных удобрений (+25,6 %, до 1,1 млн. тонн) и зерна (+26,9 %, до 0,93 млн. тонн).

Наибольший удельный вес экспортно-импортных перевозок грузов речным транспортом в России приходится на предприятия, зарегистрированные в зоне ответственности Волжского бассейна (43 %).

На долю сухогрузов в составе внешнеторговых перевозок приходится 54-64 % (в 2009 году 7,1 млн. тонн). Основными внешнеторговыми сухогрузами являются химические и минеральные удобрения (26 %), черные металлы (16 %), зерно и продукты перемола (13 %), лесные (11 %).

Таблиця 1

*Динамика перевозок грузов в заграничном сообщении по России,  
тыс. тонн*

Вид груза	Факт				Прогноз		
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2015 г.	2020 г.	2025 г.
Зерно и продукты перемола	2467	1117	732	930	1100	2500	2800
Лесные	2369	1408	1475	810	2000	2000	2500
Металлы черные	1853	989	1378	1100	2000	2000	2200
Удобрения химические и минеральные	1717	1127	875	1840	1500	1700	2000
Всего сухогрузов	12943	7690	6661	7100	10000	12000	15000

Как видно из данных табл. 1, предполагается, что перевозки сухогрузов в заграничном сообщении возрастут в 1,5 раза к 2020 г. по сравнению с 2008 г. (с 6,6 до **12,0 млн. тонн**). Основными массовыми грузами будут, как и раньше, **зерно, лесные, черные металлы и удобрения химические и минеральные**, которые в общем объеме сухогрузов составят около 70 %.

**Перевозки сухих грузов по рекам.** В период с 1990 по 1995 гг. произошло сокращение объемов перевозок грузов внутренним водным транспортом (ВВТ) России в четыре раза (с 562 млн. тонн до 140 млн. тонн). Наиболее значительное сокращение произошло по следующим видам сухих грузов:

- железная руда – в 11 раз;
- лесные грузы – в 7 раз;
- комбикорма – в 7,5 раз;
- зерно и продукты перемола – в 6,7 раза;
- нерудные строительные материалы – в 5 раз;
- металлы, удобрения – в 3,7 раза.

В период с 1995 по 2000 гг. общее снижение объемов перевозок несколько замедлилось и в целом стабилизировалось на уровне 100-105 млн. т (-25 %). При этом перевозки зерна, продуктов перемола сократились в 7,5 раза; цемента и удобрений – в 2,7-3,0 раза, металла, лесных и строительных – на 25 %, а уголь – на 37 %.

Динамика перевозок грузов ВВТ по основной номенклатуре грузов, начиная с 2000 г., представлена в табл. 2 [1].

Таблиця 2

*Объем перевозок грузов внутренним водным транспортом России  
за 2000-2008 гг., млн. тонн*

Род груза	Год							
	2000	2001	2002	2003	2004	2006	2007	2008
Зерно	1,6	2,1	3,9	2,4	2,7	3,3	2,34	0,8
Комбикорма	0,16	0,3	0,2	0,2	0,3	0,27	0,171	0,04
Уголь и кокс	3,3	3,3	2,7	3,1	3,1	3,4	2,67	1,9
Лесные в судах	6,0	6,2	6,0	5,3	5,4	6,0	7,3	5,2
Металлы черные	3,5	2,8	2,5	2,5	3,4	2,8	4,19	2,0
Руда всякая	0,13	0,2	0,35	0,34	0,57	0,81	0,48	0,14
Строительные	63,5	66,1	56,7	52,6	62,4	93,3	103,5	111,9
Цемент	0,1	0,1	0,07	0,15	0,11	0,17	0,42	0,4
Удобрения	2,9	3,5	3,1	2,9	3,1	2,36	2,46	0,9
Прочие	21,3	23,6	10,6	9,5	10,9	11,2	15,6	15,0
Итого сухо- грузы	102,5	108,4	83,9	78,9	91,9	123,6	139,07	138,3

За период с 2000 по 2007 гг. объем перевозок сухих грузов постоянно увеличивался, в целом в 1,3 раза. При этом наибольший рост отмечен по нерудным строительным грузам (в 1,6 раза), зерно и прочие грузы (в 1,4 раза), лесные и металл (в 1,2 раза). Одновременно с этим продолжилось снижение объемов перевозок каменного угля (-43 %) и удобрений (-14 %). Перевозки цемента, железной руды и комбикормов стабилизировались на одном уровне.

Рост перевозок грузов ВВТ в 2007 году объяснялся увеличением сроков навигации в речных бассейнах и увеличением абсолютных объемов перевозок сухогрузов на 12,5 %.

Наступивший финансово-экономический кризис в мировой системе отразился и на России. Все показатели по грузопотокам, кроме роста строительных грузов (+19,9 %), оказались ниже уровня 2007 года. Особенно существенно сократились объемы перевозок грузов в 2009 году, достигнув минимального максимума в 97,6 млн. тонн (64,6 % к уровню 2008 года).

В 2009 году заметное падение объемов произошло в основном за счет уменьшения перевозок минерально-строительных грузов.

Но уже в 2010 году объем перевозок составил 104,9 млн. тонн (+7,4 % к уровню 2009 года). В 2011 году объем существенно вырос и составил 126,6 млн. тонн (+20,7 % к уровню 2010 года).

В структуре перевозок речным транспортом за 2007-2008 гг. (табл. 2) преобладают строительные материалы – 67,9 %, лесные в плотках и судах – 7,1 %, металлы – 2,7 %, каменный уголь – 1,8 %, удобрения – 1,6 %, зерновые – 1,5 %, остальные грузы – 11,0 %.

Таким образом, основным сухогрузом на ВВТ являются **строительные материалы (в 2008 году – 112 млн. тонн), доля высокотарифных грузов не превышает 30 % (26 млн. тонн).**

**Единая глубоководная система внутренних водных путей России.** В соответствии со значительно более интенсивным развитием промышленности в европейской части России основной объем перевозок ВВТ приходится на этот регион, и в частности по ЕГС перевозится порядка 72-74 % всех грузов речного транспорта, из которых более 20 % экспортно-импортных грузов. Интересно отметить, что в СССР (1988 г.) перевозки в европейской части составляли не более 60 %.

Связующим звеном внутренних водных путей ЕГС европейской части России с морскими бассейнами являются Волго-Балтийский водный путь (ВБВП) и Волго-Донской судоходный канал (ВДСК).

По ВБВП в навигацию 2007 года было перевезено 19,1 млн. тонн всех грузов, что на 2,8 млн. тонн, или 10,4 % больше, чем в 2006 году. Увеличились объемы перевозок **строительных грузов** на 21,8 % (составили 8,5 млн. тонн). Сухогрузы перевозятся в направлении с Волги на Санкт-Петербург – 55 %, в обратном – 45 %, при этом порожними в одном из направлений идут около 20 % судов. Минимальный размер камеры шлюзов на Северном склоне – 263,6 м х 17,7 м (Ниже-Свирский – 198,0 м х 21,5 м). По данным ГБУ «Волго-Балт», в 2011 году объем перевозок грузов составил рекордные 22 млн. тонн<sup>1</sup>, из них 10,5 млн. строительных, по 1,5 млн. тонн черные металлы и лес и 0,6 млн. удобрений. Всего в сезон по ВБВП прошло 23150 судов (в 2009 году, в кризис – 18973), причем увеличилось число рейсов сухогрузных судов. Рейсы в балласте за щебнем вниз и с щебнем вверх на Вытегорских шлюзах ограничили рост транзитных перевозок.

Объем перевозок сухогрузов по ВДСК составил 4,5 млн. тонн. Увеличение произошло в основном за счет роста объемов **перевозок серы.**

**По статистике перевозок на внутренних водных путях европейской части России** до 2008 года можно было говорить о тенденции к увеличению грузооборота. В 2009 году наблюдалось снижение объемов перевезенных грузов. Так, за 2008 год речным транспортом было перевезено 151 млн. тонн грузов, в 2009 году – 97,6 млн. тонн, объем перевозки грузов уменьшился на 35,8 %.

По данным за 2010-2011 годы объемы перевозки увеличились: в 2010 году на 7,4 % (104,9 млн. тонн) к уровню 2009 года; в 2011 году на 20,7 % (126,6 млн. тонн) к уровню 2010 года.

---

<sup>1</sup> Проектное значение – 15,7 млн. тонн

По данным Минтранса возможен выход на докризисный уровень перевозок уже в 2012 году. **Поэтому при сохранении темпов роста перевозок главной проблемой будет пропускная способность шлюзов.**

**Основные игроки рынка перевозок грузов ВВТ в европейской части России.** Наиболее крупными компаниями, которые занимаются перевозкой сухогрузов в европейской части России, являются:

- Холдинг «Управление транспортными активами» (ОАО СК «Волжское пароходство»); ОАО «Северо-Западное пароходство»);
- группа компаний «Азово-Донское пароходство»;
- ОАО «Ленинградский речной порт»;
- ОАО «Порт Коломна»;
- ООО «Основа – Строительные ресурсы»;
- ОАО «Азимут»;
- ООО «Рыбинское речное пароходство»;
- ОАО «Ярославский речной порт»;
- ФГУ «Волжское ГБУ»;
- ОАО «Самарский речной порт»;
- ОАО «Порт Серпухов».

**«Управление транспортными активами».** ОАО СК «Волжское пароходство» работает в основном на внутренних речных перевозках, которые обеспечиваются, главным образом, судами типа «Волго-Дон» (66,5 % грузоподъемности всех судов пароходства).

Судоходная компания «Волжское пароходство» – крупнейшая транспортная компания Приволжского федерального округа, обеспечивающая потребности в перевозках грузов 7 республик, 18 крупных промышленных областей России и Украины. Суда пароходства работают от Санкт-Петербурга (включая Ладожское, Онежское озера), Москвы и верхней Камы до Астрахани и портов Азовского моря, включая порт Кавказ (см. рис. 1).

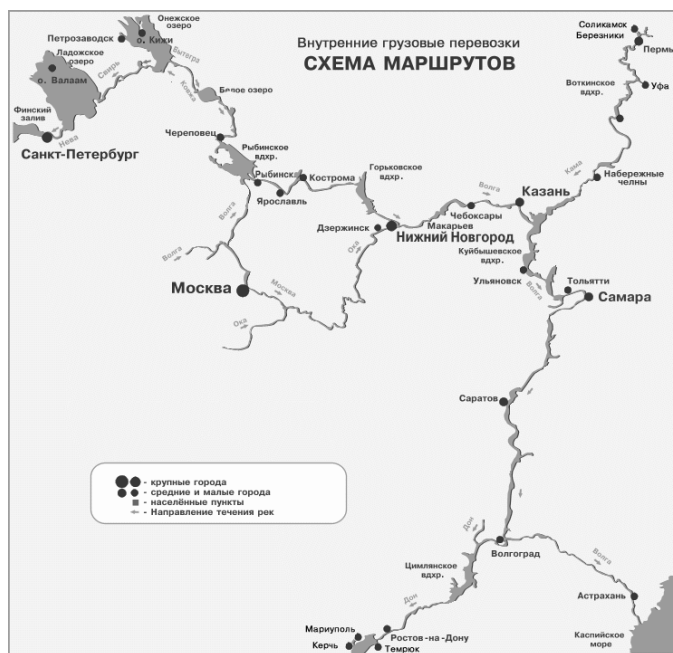
Основными видами перевозимых по ВВП грузов являются удобрения (в том числе: карбамид, сульфат аммония, аммиачная селитра, хлористый калий), зерновые, лес, соль, стройматериалы, уголь, металл и металлопродукция, промышленное и химическое сырье, генеральные грузы.

Структура перевозимых судами Волжского пароходства грузов за 2008-2009 года представлена в табл. 3.

Начиная с 2006-2007 гг. флот заграничного плавания сосредоточен в Санкт-Петербурге под менеджментом ОАО «СЗП», а внутренний грузовой флот – под управлением СК «Волжское пароходство» (Нижний Новгород).

По данным председателя Совета директоров «Волжского пароходства» Р.Д. Багаудинова в навигацию 2011 года работало 272 судна [11].





*Рис. 1. Схема маршрутов внутренних грузовых перевозок  
ОАО СК «Волжское пароходство»*

*Таблица 3*

*Объем перевозок грузов ОАО СК «Волжское пароходство»  
по номенклатуре, тыс. тонн*

Виды груза		2008 г.	2009 г.	
Сухие грузы	зерно и продукты перемола	372	38	
	комбикорма	7	3	
	уголь каменный, кокс	14	3	
	лесные в судах	87	-	
	металлы черные	741	1441	
	руда	железная	26	-
		и марганцевая		
		прочая	60	-
	строительные грузы	2411	695	
	цемент	41	3	
	удобрения химические и минеральные	713	759	
прочие грузы	2254	1645		
Всего		6726	4587	

Для выполнения грузовых перевозок парходство использует теплоходы типа «Волго-Дон» грузоподъемностью 5000 т, буксиры-толкачи, мощностью от 1340 до 2400 л.с. составами грузоподъемностью 9-27 тысяч тонн, а также сухогрузные суда нового концепта RSD44 «Волго-Дон макс класса» дедвейтом 5540 т.

За навигацию 2011 года суда парходства перевезли около 6,7 млн. тонн грузов, что на 22 % превышает показатель прошлого года. Грузооборот компании составил 9,25 млрд. т км, что на 16 % больше показателя 2010 года. Соотношение внутренних и экспортных перевозок в общем объеме грузов составило 44 % и 56 %, соответственно. Объем экспортных грузов с перевалкой в устьевых речных и морских портах вырос на 278 тыс. тонн (+8 %) и составил 3,7 млн. тонн. Внутренние перевозки увеличились по отношению к 2010 году на 50 % и составили 3 млн. тонн.

Рост производственных показателей обусловлен увеличением объемов перевозок металла из Череповца, Перми, Тольятти, Камбарки до 1,7 млн. тонн (+ 33 %), строительных грузов (щебня и песчано-гравийной смеси) до 2 млн. тонн (+45 %). Увеличились объемы перевозок удобрений из Череповца, Соликамска, Березников, всего перевезено 763 тыс. тонн, что на 138 тыс. тонн (+22 %) больше, чем в прошлом году. В 2 раза больше перевезено сырья для цементной промышленности – 346 тысяч тонн. Увеличилась перевозка зерна на экспорт на 230 тысяч тонн. Несколько снизились перевозки серы из порта Бузан. Объемы перевозок остальных видов грузов соответствуют показателям прошлого года.

Длительность кругового рейса для сухогрузных судов составила на линии Череповец (металл) – СПб – карьеры Ладого (щебень) – Череповец – 12,13 суток (в 2010 г – 11,7 суток, в 90-е годы прошлого столетия – 6 суток).

ОАО «Северо-Западное парходство» является наиболее крупной судоходной компанией, работающей на трассе Волго-Балтийского водного пути (ВБВП).

ОАО «СЗП» действует на следующих региональных рынках:

- Балтийском рынке (это Балтийское и Северное моря) – основная группа судов;

- Южном рынке (Черное и Средиземное море).

В летний период навигации парходство работает на перевозках экспортных грузов из внутренних районов России:

- экспорт – перевозка грузов из российских портов в иностранные порты;

- импорт – перевозка грузов из иностранных портов в российские морские и речные порты;

- перевозка грузов в МИПе – перевозка грузов между иностранными портами;

- внутренние перевозки – перевозка грузов между российскими портами.

В основном, ОАО «СЗП» перевозит массовые грузы, что обусловлено спецификой перевозок на судах смешанного река-море плавания, а именно:

- перевозка круглого леса из речных пунктов Волго-Балта в порты Скандинавских стран (Швеция, Норвегия, Финляндия);
- перевозка удобрений с речных пунктов в порты Европы и Санкт-Петербурга;
- перевозка черного и цветного металла из Череповца и Санкт-Петербурга в страны Европы;
- перевозка бумаги в рулонах из Кондопоги и Соликамска в страны Европы;
- перевозка удобрений из п. р. Камы на порты Украины;
- перевозка зерна в порты Европы.

ОАО «СЗП» занимает ведущее положение на рынке транспортных услуг Северо-Западного региона (см. табл. 4).

Таблица 4

*Объемы перевозок грузов ОАО «СЗП», тыс. тонн*

	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Всего	7 136,9	5 245,4	5 496,4
В том числе			
1. Загранперевозки	6 636,0	4 583,5	4 567,3
- экспорт	2 850,2	2 079,8	2 109,0
- импорт	691,3	525,7	547,1
МИП	3 094,5	1 978,0	1 911,2
2. Внутрироссийские перевозки	500,9	661,9	929,1
Из общего объема в границах			
- Ленинградской области	244,2	306,0	462,7
- через Морской порт	3 626,0	3 603,0	2 838,0
в том числе транзит	1 078,0	1 394,0	990,0

Объемы перевозок ГК «АДП» за 2004-2008 гг. указаны в табл. 5.

Об этом свидетельствует большой транзит грузов из центра России (990 тыс. т – 1394 тыс. т) в Европу и Азию, большие объемы МИПовских перевозок (особенно – через Морской порт Санкт-Петербург: 3626 тыс. т в 2005 г., 3603 и 2838 тыс. т в 2006 и 2007 гг. соответственно).

**«Азово-Донское пароходство».** В группу компаний «Азово-Донское пароходство» входят следующие структуры: ОАО «Волго-Донское пароходство», «Донречфлот», «Усть-Донецкий порт», «Кубанское речное пароходство», «Донская судоходная компания» и другие. Компания осуществляет перевозки зерновых грузов, угля, минеральных удобрений, строительных материалов, контейнеров и других генеральных грузов.

Таблица 5

*Объемы перевозок предприятий группы компаний  
«Азово-Донское пароходство» за период с 2004 по 2008 гг., тыс. тонн*

Предприятия	Отчет				
	2004	2005	2006	2007	2008
ОАО «Волго-Донское пароходство»	958,3	971,6	34,5	37,6	36,0
ОАО «Донречфлот»	1582,6	1548,5	1525,5	1430,8	954,0
ОАО «Усть-Донецкий порт»	169,9	124,7	4,1	-	-
ООО «Донская судоходная Компания»	-	-	341,5	430,2	336,8
ОАО «Кубанское речное пароходство»	1514,2	1610,5	1056,0	1365,6	1177,1

Стивидорные компании группы осуществляют перевалку на терминалах Ростова-на-Дону, Ростовской области и Краснодарского края. Ежегодный объем перевозок составляет более 5 млн. тонн, грузооборот стивидорных компаний 3,9 млн. тонн [12].

В 2011 году флотом Азово-Донского пароходства перевезено 6 млн. тонн различных грузов, что на 13 % больше аналогичного показателя за 2010 год. В том числе, в 2011 году экспортные перевозки составили 4,6 млн. тонн, объем внутренних перевозок составил 1,4 млн. тонн (преимущественно за счет работы дочерней компании АДП – Донречфлота).

Основными видами перевозимых грузов Донречфлота стали сера (75 %), зерно (12 %), удобрения (9 %) [12].

Основные перевозимые пароходством в отчетном году грузы: строительные – 28 % от совокупного объема перевозок, сера – 22 %, уголь – 19 %, зерно – 16 %, металлы – 6 %, удобрения – 3 %, прочие – 6 %.

Маршруты движения флота Азово-Донского пароходства проходят через российские порты Ростов, Усть-Донецк, Астрахань, Кавказ, а также морские порты Турции, Греции, Ливана, Сирии, Египта, Израиля.

В 2012 году Азово-Донское пароходство планирует увеличить объем перевозки грузов флотом АДП – на 10 %. Реализация этих планов станет возможной за счет реализации инвестиционных проектов АДП [7].

**ОАО «Ленинградский речной порт»** – одно из ведущих предприятий Северо-Западного региона. Порт осуществляет перевозку минерально-строительных грузов. В 2008 году предприятием было перевезено 10,418 млн. тонн, в 2009 году – 6,289 млн. тонн.

**ООО «Основа – Строительные ресурсы»** была основана в 2004 году, находится в Республике Татарстан, географически выгодном регионе, на слияние двух крупнейших рек – Волги и Камы. ООО «Основа – Строительные ресурсы» осуществляет перевозку сухих грузов и сплав лесных грузов в плотках. Всего в 2008 году компанией было перевезено 5 858 тыс. тонн грузов, в 2009 году – 2 863,8 тыс. тонн.

Объем перевезенного груза ООО «Основа – Строительные ресурсы» за 2008-2009 года представлен в табл. 6.

*Таблица 6*

*Объем перевозок грузов ООО «Основа – Строительные ресурсы»  
по номенклатуре, тыс. тонн*

Виды груза		2008	2009
Сухие грузы	зерно и продукты перемола	-	37,6
	лесные в судах	-	2,1
	строительные грузы	5800,0	2661,2
	удобрения химические и минеральные	-	105,9
	прочие грузы	-	57
Лесные в плотках		58,0	-
Всего		5858,0	2863,8

**ОАО «Порт Коломна»** осуществляет перевозку сухих грузов, в частности строительных. Всего строительных грузов в 2008 году было перевезено 4 666,6 тыс. тонн, в 2009 году – 2 672 тыс. тонн.

**ОАО «Азимут»** осуществляет перевозку сухих грузов. В 2008 году было перевезено 3 935,2 тыс. тонн грузов, из них 3 808 тыс. тонн строительных и 127,2 тыс. тонн прочих. В 2009 году перевезено 2 174,7 тыс. тонн грузов, из них 2 047,1 тыс. тонн строительных и 127,6 тыс. тонн прочих.

**Перспективы ВВТ и прогноз перевозок грузов.** Прогнозы перевозок грузов базируются на данных ЗАО «Ленгипроречтранс» [1].

В северо-западном регионе основным потенциалом развития водного транспорта является увеличение экспортно-импортных грузовых перевозок, в первую очередь за счет переключения грузопотоков из портов стран Балтии в российские порты, включая вновь строящиеся.

Основными факторами расширения перевозок являются улучшение условий судоходства на ВБВП, который уже в настоящее время имеет загрузку, превышающую расчетную, и решение проблемы прохождения судов под мостами на р. Неве в г. Санкт-Петербурге.

Учитывая ожидаемое увеличение экспортно-импортных и транзитных грузопотоков, связанное, прежде всего, со строительством новых портов в Финском заливе, предусматривается строительство второй нитки шлюзов на Волго-Балтийском водном пути.

В исследованиях ЗАО «Ленгипроречтранс» предполагается, что по Северо-Западному федеральному округу перевозки грузов возрастут до 28,7 млн. тонн к 2015 году, до 32,1-36,3 млн. тонн – к 2020 году и до 36,3-42,9 млн. тонн – к 2025 году.

В центральном регионе перспективы развития внутреннего водного транспорта и освоения международного транспортного коридора «Север-Юг» связаны, прежде всего, с ликвидацией лимитирующего по глубинам участка Единой глубоководной системы Городец-Нижний Новгород.

Ожидается, что по Центральному федеральному округу перевозки грузов возрастут до 28,2 млн. тонн к 2015 г., до 31,5-35,7 млн. тонн – к 2020 г. и до 35,7-42,2 млн. тонн – к 2025 г.

Аналогично по Приволжскому федеральному округу перевозки грузов возрастут до 54,7 млн. тонн к 2015 г. и до 61,2-69,4 млн. тонн – к 2020 г., до 69,4-82,0 млн. тонн – к 2025 г.

В южном регионе (нижнее течение р. Волги, ВДСК и нижнее течение р. Дона) перспективы развития водного транспорта связаны с увеличением объемов перевозок грузов не только по международному транспортному коридору «Север-Юг», но и по трассе Азов – Астрахань, которая может эффективно использоваться для перевозки грузов из Каспийского региона в страны Европы. Для освоения перспективных грузопотоков предусматривается завершение реконструкции гидроузлов на ВДСК.

Важным направлением деятельности по повышению конкурентоспособности внутреннего водного транспорта в европейской части страны является развитие портов, расположенных в зоне действия международного транспортного коридора «Север-Юг» и по трассе Азов – Астрахань. Во взаимодействии с соответствующими субъектами Российской Федерации на базе этих портов предусматривается создание региональных логистических центров с использованием современных информационных технологий.

Общая потребность в перевозках транзитных грузов по ВДСК и Нижнем Дону определена в размере 12,9 млн. тонн к 2015 г. и 20 млн. тонн к 2020 г.

Перспективный грузооборот представлен в табл. 7. Объемы отправления грузов из Ростова-на-Дону и порта Азов к 2020 г. по минимальному варианту с учетом реконструкции и расширения портовых мощностей могут возрасти в 1,3 раза и составить более 15 млн. тонн, а к 2020 г. – более 20 млн. тонн.

В общем объеме перевозок грузов наибольший удельный вес составляют экспортно-импортные грузы (59,4 %), а с учетом транзита достигают более 91 %. При этом межбассейновые и внутрибассейновые перевозки составляют менее 9 %.

Освоение грузопотоков до 2025 г. в направлении стран Каспийского, Черного и Средиземного морей является особенно важным, так как дает выход в международные морские порты Азовского, Черного и Средиземноморского бассейнов и на внутренние речные трассы Европы (Дунай и его межбассейновые соединения).

Общий грузопоток в направлении стран Черного и Средиземного морей экспортно-импортных российских грузов составляет более 170 млн. тонн. Этот объем грузопотоков осваивается в основном железнодорожным и трубопроводным транспортом до портов Азово-Черноморского бассейна и далее морскими судами и судами смешанного река-море плавания. Речным флотом смешанного плавания в этом направлении перевозится в настоящее время не более 18 млн. тонн, что составляет 10 %. Основная причина освоения малых объемов грузов – недостаточное количество флота смешанного плавания и ограничения пропускной способности Волго-Донского канала.

Объемы перевозок грузов ВВТ в номенклатуре указаны в табл. 7 (прогноз ЗАО «Ленгипроречтранс» без учета наличия вторых ниток шлюзов ВДСК).

*Таблица 7*

*Объем перевозок грузов внутренним водным транспортом  
в номенклатуре грузов до 2025 г. Минимальный (вариант 1),  
предложенный ЗАО «Ленгипроречтранс», млн. тонн*

Род груза	Год				
	2006	2007	2015	2020	2025
Сухогрузы	123,6	139,07	144,6	162,3	185,5
Зерно	3,3	2,34	2,7	3,5	4,5
Комбикорма	0,27	0,171	0,2	0,3	0,4
Уголь и кокс	3,4	2,67	3,1	4,0	5,0
Лесные в судах	6,0	7,3	8,5	10,8	13,0
Металлы черные	2,8	4,19	4,9	7,0	9,0
Руда всякая	0,81	0,48	0,6	0,8	1,1
Строительные	93,3	103,5	105,3	108,3	119,5
Цемент	0,17	0,42	0,5	2,0	3,5
Удобрения	2,36	2,46	2,8	3,6	4,5
Прочие	11,2	15,6	16,0	22,0	25,0

**В целом, оценивая современное состояние внутреннего водного транспорта (и главного его конкурента – железнодорожного транспорта) можно ожидать увеличение существующих и появление новых грузопотоков для перевозки, как толкаемыми составами, так и грузовыми теплоходами внутреннего и смешанного «река-море» плавания.**

В перспективе с учетом развития европейско-азиатского транзита в составе перевозок будут возрастать перевозки грузов в контейнерах, в т.ч. большегрузных, а также продолжится рост объемов переработки грузов в речных портах.

На основании вышеизложенного, с учетом данных ЗАО «Ленги-проречтранс», были определены **перспективные маршруты грузопотоков по ЕГС европейской части России на период до 2025 г.** для сухогрузных судов смешанного и внутреннего плавания:

*Зерно и продукты перемола*

- Средняя и Нижняя Волга, Дон – страны южной Европы и северной Африки;
- Средняя и Нижняя Волга, Дон – страны Северной Европы;
- Средняя и Нижняя Волга, Астрахань – страны Каспия;
- Средняя и Нижняя Волга – Москва, Тверь, Санкт-Петербург.

*Уголь, кокс*

- пункты Камы, Волги – Москва, Санкт-Петербург, Выборг, Усть-Луга;
- пункты Камы, Волги – ВДСК – страны Черного, Средиземного морей.

*Лес*

- пункты Волги – Волго-Балта – страны Западной Европы;
- пункты Камы – Волго-Балт – страны Западной Европы, Каспия;
- пункты Волго-Балта – Средняя и Нижняя Волга;
- пункты Средней, Нижней Волги – ВДСК – страны Средиземноморья.

*Металл*

- пункты Волго-Балта – пункты Волги, Камы;
- Череповец – ВБВП – страны Западной Европы;
- пункты Дона – страны Центральной Европы;
- Санкт-Петербург – страны Западной Европы;
- предприятия Поволжья, Волго-Вятского, Урала – п. Волги, Камы.



*Химические и минеральные удобрения*

- пункты Волги, Камы – ВБВП – страны Западной Европы;
- пункты Волги, Камы – ВДСК – р. Рейн, Май, Дунай;
- пункты Волги, Камы – страны Каспийского бассейна;
- пункты Волги, Камы – ВБВП – Высоцк;
- пункты Волги, Камы – ВДСК – страны Черного и Средиземного морей;
- Башкирия – ВБВП – страны Западной Европы.

*Контейнеры*

- страны Каспийского моря – ВБВП – страны Балтики;
- Санкт-Петербург – ВБВП – пункты Волги, Камы;
- пункты Дона – ВДСК – пункты Волги, Камы – ВБВП – страны Балтики.

**Стабильный рост грузопотоков**, который наблюдался до кризиса на ВВП европейской части России и который наблюдается в данный момент, в перспективе **будет зависеть** от выполнения **мероприятий по устранению «узких мест»** на ВВП европейской части России и от темпов **строительства новых судов**, взамен списания транспортных судов.

Например, финансовые расчеты показывают необходимость через 5-7 лет выхода на глубины 4,0 м на ЕГС европейской части России, иначе сроки окупаемости новых речных сухогрузных судов будут превышать 15 лет.

**Обновление транспортного флота сухогрузными судами смешанного плавания нового поколения.**

Средний возраст самоходных сухогрузных судов составляет 35,5 лет; несамоходных сухогрузных судов – 30 лет; буксирного флота, необходимого для обслуживания несамоходных сухогрузных судов – 33,2 года.

Например, средний возраст наиболее востребованных сухогрузных судов типа «Волжский» проекта 05074 – 21,1 год (6 судов), типа «Волго-Дон» проекта 1565 – 35,9 лет (всего 41 судно), проекта 507Б – 40 лет (всего 55 судов). Из 100 судов этих проектов 6 ед. (6 %) в неудовлетворительном техническом состоянии.

Нормативный срок эксплуатации судов составляет 25-35 лет. Конечно, вывод судов из эксплуатации не происходит по формальным признакам, а определяется экономическими причинами – объемы ремонты становятся настолько большими, что суда не успевают их «отрабатывать» в последующий межремонтный период.

Таким образом, **через 5-10 лет, исходя из фактического технического состояния, будут списаны практически все существующие сухогрузные суда**, что приведет к обвалу объемов перевозок на речном транспорте. Поэтому существует **объективная потребность в строительстве новых судов**.

Имея данные по конкретным грузопотокам и путевым условиям, следующим этапом решения внешней задачи проектирования является подзадача определения типа судна (состава) смешанного плавания [2, 3, 4].

Такой выбор осуществляется из ряда разработанных Морским Инженерным Бюро в период с 2001 по 2011 годы концептов [6].

Наиболее востребованными были и остаются суда «Волго-Дон-макс» класса – суда, отвечающие габаритам Волго-Донского судоходного канала и предназначенные для замены известных советских серий «Волгонепфтей» и «Волго-Донов». Всего их (уже в XXI веке) было построено 112 единиц или 56 % от общего количества новых грузовых судов. Причем российские верфи обеспечили поставку 81 сухогруза и танкера этого класса (72 %), турецкие – 15, украинские – 10 и китайские – 6.

Принципиально важными являются следующие сухогрузные концепты:

**Вариант 1** (см. рис. 2 а). ББС района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с «морским» сцепом, толкач нового поколения (концепт СР1003.1 2010 года, разработан в рамках НИР по ФЦП по развитию гражданской морской техники).

**Вариант 2** (см. рис. 2 б). Сухогрузное судно района R2-RSN смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проекта 007RSD07 типа «Танаис» с «нормальными» обводами. Концепт разработан в 2007 году по заказу «Азово-Донского пароходства», является развитием проекта 006RSD02 «Надежда» – 2004 год [8].

**Вариант 3** (см. рис. 2 в). Сухогрузное судно района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проекта RSD49 с «нормальными» обводами. Концепт разработан в 2010 году по заказу «Северо-Западного пароходства», является развитием проекта 006RSD05 «Гейдар Алиев» – 2004 год (группа компаний «Палмали») и вариантом проекта RSD19 «Хазар» – 2008 год [6]. Главное отличие проекта RSD49 от RSD19 – наличие среднего трюма длиной 52 м, что позволяет перевозить негабаритные «проектные» грузы из портов Европы и Персидского залива на Каспий и т.п.

**Вариант 4** (см. рис. 2 г). «Устьевое» сухогрузное судно района «М-ПР» смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проект RSD44 с пониженным надводным габаритом (концепт 2010 года, разработан в рамках НИР по ФЦП по развитию гражданской морской техники, заказчик проекта «Волжское пароходство») [7].

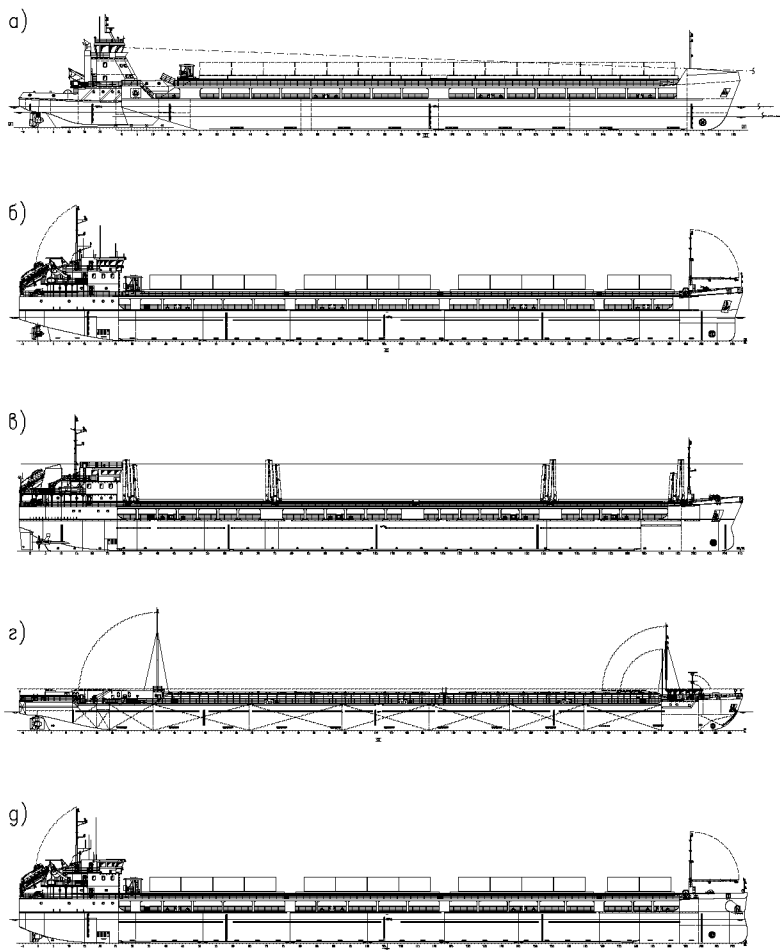
**Вариант 5** (см. рис. 2 д). Сухогрузное судно района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с «полными» обводами (концепт 2010 года, разработан в рамках НИР по ФЦП по развитию гражданской морской техники, сухогрузный аналог известного танкера проекта RST27 [9]).

Боковые виды основных сухогрузов и сухогрузных ББС смешанного река-море плавания нового поколения приведены на рис. 2. Главные характеристики – в табл. 8.

Таблица 8

*Сравнительные характеристики сухогрузов  
смешанного река-море плавания нового поколения*

Данные	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Длина наибольшая, м	139,90	139,99	139,95	139,97	140,85
Ширина $B$ , м	16,70	16,70	16,70	16,80	16,80
Высота борта $H$ , м	6,00	6,00	6,00	5,00	6,00
Осадка по ЛГВЛ $d_M$ в море / $d_P$ в реке, м	4,50/3,60	4,60/3,60	4,60/3,60 (4,70/3,60)	3,527/3,60	4,50/3,60
<b>Дедвейт <math>Dwt</math>, т</b>					
при $d = 3,6$ м (река)	4220	4778	4596 (4518)	5530	5081
при $d = 4,2$ м (море)	5469	6308	6109 (6032)	-	6683
при осадке $d_M$	6020	7215	7004 (7154)	5549	7385
Скорость, узл. при % от МДМ	10,5 (85%)	10,5 (85%)	11,9 (85%)	12,0 (85%)	10,0 (100%)
Объем грузовых трюмов, м <sup>3</sup>	10900	11000	10956 (10920)	7086	11000
Допускаемая высота волны 3 % обеспеченности, м	7,0	6,0	8,5 (7,0)	2,5	7,0
Мощность ГД	2 x 1250 кВт	2 x 1120 кВт	2 x 1200 кВт	2 x 1200 кВт	2 x 1200 кВт
Экипаж/мест, чел.	11 чел. / 14 мест (буксир) + 2 чел. / 2 места (баржа)	13 / 15	13 / 16 (10 / 12)	8 / 16	12 / 14 + лоцман



*Рис. 2. Боковые виды сухогрузов и сухогрузных ББС смешанного река-море плавания нового поколения:*

- а) ББС района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с «морским» сцепом, толкач нового поколения;*
- б) сухогруз района R2-RSN смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проекта 007RSD07 типа «Танаис» с «нормальными» обводами;*
- в) сухогруз района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проекта RSD49 с «нормальными» обводами. Судно проекта RSD19 с районом плавания R1 аналогично по АКТ с судном проекта RSD49;*
- г) «Устьевой» сухогруз района «М-ПР» смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с пониженным надводным габаритом проекта RSD44 типа «Герои Сталинграда»;*
- д) сухогруз района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с «полными» обводами (концепт танкера проекта RST27)*

**Вариант 1** – ББС морского исполнения, использующий инновационный полужесткий «морской» сцеп, сохраняющий работоспособность на волнении до 7 м. Корпуса баржи и толкача были сделаны под требования Российского морского Регистра Судоходства (т.е. более прочные и надежные, но и соответственно более тяжелые, по сравнению с чисто речными баржами).

Но составы смогут быть эффективным только на качественно новом уровне организации перевозок за счет применения так называемой «вертушки», когда на один толкач будут приходиться 2-3 баржи.

Пока же эта проблема не решена, и поэтому большую часть нового судостроения составляют не составные суда (толкач+баржа), а танкеры классического типа (Вариант 2, 3).

Итак, наиболее распространенными сегодня решениями являются **Варианты 2 и 3** (к ним могут быть отнесены практически все уже построенные в XXI веке сухогрузы смешанного «море-река» плавания «Волго-Дон макс класса»). Суда такого типа универсальны, обладают достаточно неплохими мореходными характеристиками и удовлетворительным дедвейтом в реке (4500-4700 тонн). Однако в большинстве случаев судовладельцы предпочитают их использовать для работы с мелководных портов Азовского моря (Азов, Ейск, Таганрог, Кавказ, а также Ростов-на-Дону) и на Каспии, причем даже в весенне-летний сезон.

**Вариант 4** («устьевое» сухогрузное судно района «М-ПР» смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с **пониженным надводным габаритом**) был создан в результате выполнения по заказу Федерального агентства морского и речного транспорта Министерства транспорта РФ НИР «Разработка концептуальных проектов судов смешанного и внутреннего плавания нового поколения».

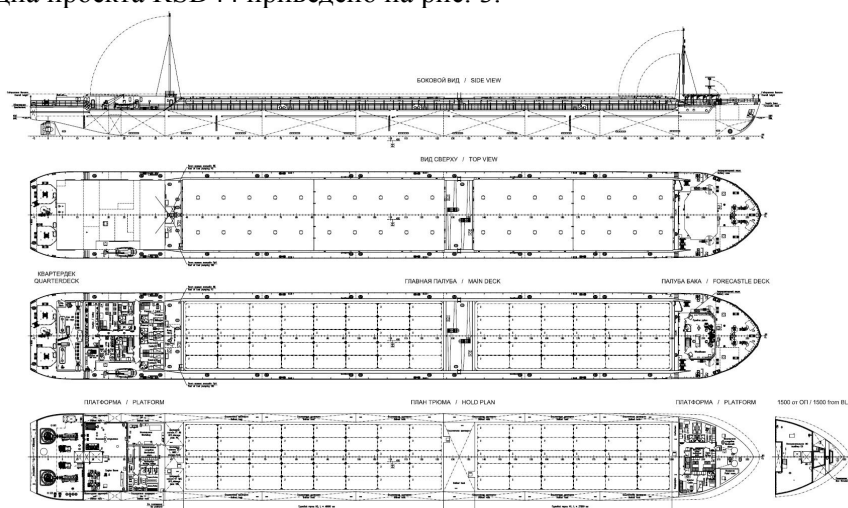
Исследования показали необходимость строительства новых сухогрузных судов для замены отработавших свой срок службы 35-40-летних «Волго-Донов» на линиях, ориентированных на вывоз сырьевых грузов с речных портов России на перегрузочные комплексы в Финском заливе и Керченском проливе, т.е. по сути, **речных судов с «устьевой» функцией**.

При этом новые суда должны были качественно отличаться от существующих, идеология которых разрабатывалась в 50-е годы прошлого столетия, более высокой производительностью, экологичностью и надежностью. Такие проекты должны были обеспечивать «распятие» узких мест, которыми стали являться для отечественного речного транспорта очереди для прохода под Невскими мостами и под мостом в Ростове-на-Дону.

Отсюда появилась идея создать концепт сухогрузного судна практически без выступающих над палубой тронка частей рулевой и жилой рубки, что позволило бы проходить под мостами в Санкт-Петербурге и Ростове, без их разводки. За счет снижения класса судна по району плавания, удалось снизить массу судна порожнем и увеличить полноту судна, что соответственно увеличило грузоподъемность судна на ограниченных

в реке осадках (при осадке 3,60 м дедвейт **Варианта 4** составляет 5530 тонны против 4596 тонн у Варианта 3, увеличение на 934 тонны). Суда могут эксплуатироваться на внутренних водных путях, Финском заливе Балтийского моря и в Азовском море до Керчи / Кавказа, поэтому их называют еще «устьевыми». Нелимитированный проход под мостами позволяет экономить до 20 суток ходового времени в сезон. Но при столь малом классе круглогодичная эксплуатация в данном варианте невозможна.

Главным практическим результатом исследований стал разработанный Морским Инженерным Бюро проект RSD44 типа «Герои Сталинграда» с пониженным надводным габаритом [3]. Общее расположение судна проекта RSD44 приведено на рис. 3.



*Рис. 3. Общее расположение судна проекта RSD44*

Исследования (на основе фактического опыта работы Волжского пароходства) показали, что для новой серии сухогрузных судов преимущественными являются следующие основные направления и номенклатура грузов:

- перевозка серы из п. Бузан (Астраханская область) и п. Усть-Донецк (Ростовский регион) на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка металла из п. Череповец в С.-Петербург и в Астрахань;
- перевозка лесных грузов из пунктов Северо-Западного и Беломорско-Онежского бассейнов в С.-Петербург;
- перевозка хлористого калия из Камского региона (п. Соликамск) в С.-Петербург и на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка удобрений (карбамид и др.) со Средней Волги (п. Тольятти) в С.-Петербург и на рейдовые стоянки Керченского пролива;

- перевозка аммиачной селитры из п. Березники на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка зерна из Волжского и Донского бассейнов на рейдовые стоянки Керченского пролива;
- перевозка сахара-сырца с рейдовых стоянок порта Керчь до п. Таганрог;
- перевозка ферросплавов из украинских портов (Бердянск, Керчь) до Камского региона (п. Пермь);
- перевозка листового проката из п. Мариуполь до п. Волжский;
- перевозка глинозема, оборудования, металлопродукции из портов Азовского моря в пункты р. Волги;
- перевозка соли из Ахтубинска, Соликамска, Березников для потребителей Европейской части России.

Сравнительный анализ судов RSD44 с существующим флотом показал, что помимо возможностей прохода под Невскими мостами и под Ростовским железнодорожным мостом, **Вариант 4** обладает наилучшими технико-экономическими характеристиками в реке, значительно превосходя по этим показателям существующие «Волго-доны» и «Волжские».

Дедвейт **Варианта 4** при осадке 3,60 м в реке выше, чем у наиболее новых из существующих судов типа «Волжский» (пр. 05074М) на 7 %.

Объем грузовых трюмов **Варианта 4** на 21 % больше, чем у «Волжских», что позволит ему не только перевозить крупногабаритные грузы, но и значительно увеличить загрузку при перевозке «легких» грузов – ячменя, семян подсолнечника, хлопка, металлолома и труб большого диаметра и т.д.

При одинаковой длине и ширине, **Вариант 4** имеет меньшую высоту борта, в результате чего его модуль на 8 % меньше, чем у судов типа «Волжский», что позволит сэкономить до 8 % суммарных затрат на портовые и навигационные сборы.

Кроме того, у **Варианта 4** значительно меньшие энергозатраты на единицу транспортной производительности в реке и **практически в два раза меньше экипаж**.

Наконец, надводный габарит в балласте судна составляет всего 5,4 м (в грузу еще меньше), что позволяет ему, в отличие от «Волжского», проходить под мостами через реку Неву и под Ростовским железнодорожным мостом без их разводки. В результате судно экономит время на ожидание очереди в разводку мостов, которое составляет до 20 суток за навигацию.

Таким образом, суда проекта RSD44 (**Вариант 4**) представляют собой уникальный инженерный комплекс, сочетающий оптимальные для внутренних водных путей габариты с современным оборудованием и навигационной техникой, имеющей значительные преимущества по сравнению с существующими аналогами.

На данный момент заказано 10 судов серии на Окской судовой верфи (г. Навашино). Всего за 2011 год было сдано Заказчику (ОАО «СК Волжское пароходство») 8 судов типа «Герои Сталинграда». Спущено еще 2, которые с началом навигации уйдут на ходовые испытания. В настоящее время ведутся переговоры относительно продолжения строительства серии проекта RSD44, при этом предполагается внесение ряда изменений с учетом опыта первой навигации судов.

Используя полученное Морским Инженерным Бюро в рамках НИР по ФЦП новое теоретическое решение о возможности увеличения коэффициента общей полноты, был создан **Вариант 5** – сухогрузное судно района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса (аналог танкера проекта RST27) с «полными» обводами. Такой сухогруз, сохраняя по району плавания класс и возможность круглогодичной эксплуатации **Варианта 3**, приблизился по грузоподъемности к **Варианту 4** (дедвейт при осадке 3,60 м 5081 тонны, больше на 485 тонн **Варианта 3**, но меньше на 449 тонн **Варианта 4**), хотя и потерял возможность прохода под мостами, без их разводки.

Как показал экономический анализ приведенной выше задачи, наиболее высокий тайм-чартерный эквивалент (ТЧЭ) в эксплуатационные сутки достигается по Варианту 4, но календарный ТЧЭ максимален для Варианта 5 (за счет круглогодичной эксплуатации).

#### **Поэтому рекомендуется строить:**

- для речных перевозок и для перевозки экспортно-импортных грузов на рейдовые перевалочные комплексы и в устьевые порты – **Вариант 4** («устьевое» сухогрузное судно района «М-ПР» смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с **пониженным надводным габаритом**);

- для работы с мелководных портов Азовского моря (Азов, Ейск, Таганрог, Кавказ, а также Ростов-на-Дону) и на Каспии – **Вариант 3** (сухогрузное судно района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса проекта RSD49 с «нормальными» обводами);

- для всех вариантов перевозок (универсальность) – **Вариант 5** (сухогрузное судно района R2 смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с «полными» обводами).

В целом же, для сохранения уже перевозимого объема сухих грузов на реке и прибрежных перевозок, потребуется построить до 2020 года около 130-140 новых сухогрузных судов «Волго Дон макс» класса (проекты RSD49, RSD44 и их аналоги, сухогрузные вариант RST27), 60-80 новых сухогрузных барж, 20-30 буксиров-толкачей в европейской части.

#### **Выводы**

1. Сухогрузы и ББС смешанного река-море плавания используются (или могут использоваться) на следующих смешанного река-море перевозках в европейской части:



*Зерно и продукты перемола*

- Средняя и Нижняя Волга, Дон – страны южной Европы и северной Африки;
- Средняя и Нижняя Волга, Дон – страны Северной Европы;
- Средняя и Нижняя Волга, Астрахань – страны Каспия;
- Средняя и Нижняя Волга – Москва, Тверь, Санкт-Петербург.

*Уголь, кокс*

- Луга;
- пункты Камы, Волги – Москва, Санкт-Петербург, Выборг, Усть-Луга;
  - пункты Камы, Волги – ВДСК – страны Черного, Средиземного морей.

*Лес*

- пункты Волги – Волго-Балта – страны Западной Европы;
- пункты Камы – Волго-Балт – страны Западной Европы, Каспия;
- пункты Волго-Балта – Средняя и Нижняя Волга;
- пункты Средней, Нижней Волги – ВДСК – страны Средиземноморья.

*Металл*

- пункты Волго-Балта – пункты Волги, Камы;
- Череповец – ВБВП – страны Западной Европы;
- пункты Дона – страны Центральной Европы;
- Санкт-Петербург – страны Западной Европы;
- предприятия Поволжья, Волго-Вятского, Урала – п.Волги, Камы.

*Химические и минеральные удобрения*

- пункты Волги, Камы – ВБВП – страны Западной Европы;
- пункты Волги, Камы – ВДСК – р. Рейн, Майн, Дунай;
- пункты Волги, Камы – страны Каспийского бассейна;
- пункты Волги, Камы – ВБВП – Высоцк;
- пункты Волги, Камы – ВДСК – страны Черного и Средиземного морей;
- Башкирия – ВБВП – страны Западной Европы.

*Контейнеры*

- страны Каспийского моря – ВБВП – страны Балтики;
- Санкт-Петербург – ВБВП – пункты Волги, Камы;
- пункты Дона – ВДСК – пункты Волги, Камы – ВБВП – страны Балтики.

2. Российские смешанного река-море и речного плавания сухогрузные суда, по данным за 2011 год, перевозят около 113 млн. тонн сухих грузов ежегодно (около 102 млн. тонн приходится на внутренние перевозки, 11 млн. тонн – на внешние).

3. Объемы перевозок сухогрузов в северо-западном направлении возрастут до 28,7 млн. т к 2015 г., до 32,1-36,3 млн. т – к 2020 г. и до 36,3-42,9 млн. т – к 2025 г.

4. Объемы перевозок сухогрузов в центральном направлении возрастут до 28,2 млн. т к 2015 г., до 31,6-35,7 млн. т – к 2020 г. и до 35,7-42,2 млн. т – к 2025 г (Центральный ФО); до 54,7 млн. т к 2015 г., до 61,3-69,4 млн. т – к 2020 г. и до 69,4-82,1 млн. т – к 2025 г (Приволжский ФО).

5. Объемы перевозок сухогрузов в южном направлении возрастут до 6,9 млн. т к 2015 г., до 7,7-8,8 млн. т – к 2020 г. и до 8,8-10,4 млн. т – к 2025 г.

6. Стабильный рост грузопотоков, который наблюдался до кризиса на ВВП европейской части России и который наблюдается в данный момент, в перспективе будет зависеть от выполнения мероприятий по устранению «узких мест» на ВВП европейской части России и от темпов строительства новых судов, взамен списания транспортных судов.

7. Рекомендуется строить сухогрузные суда с пониженным надводным габаритом (проект RSD44) для внутренних и «река-море» перевозок (на замену «Волго-Донам» и «Волжским»), которые имеют значительно лучшие технико-экономические показатели в реке, кроме того, имеют возможность прохода под мостами Невы и Ростовским железнодорожным мостом без их разводки. Также рекомендуется строить аналогичные по концепту с танкером проекта RST27 сухогрузные суда с «полными» обводами [4], которые имеют усиленную речную функцию и увеличенный дедвейт в реке (5080 тонн при осадке 3,6 м).

8. Рекомендуется строить сухогрузные суда смешанного море-река плавания (проект RSD49) для прибрежных, морских и «море-река» перевозок.

9. Общая потребность до 2020 года в сухогрузных судах «Волго-Дон макс» класса оценивается минимум в 130-140 единиц. В настоящее время заказано 12 судов проекта RSD49, которые должны войти в строй в течение 2012-2016 годов, а также завершается постройка 10 судов проекта RSD44.

**Наличие потребности в таком количестве новых сухогрузных судов смешанного плавания создает благоприятные условия для отечественного судостроения.**

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Голенков В.Е. Внутренний водный транспорт в Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года // Речной транспорт (XXI век). – 2009. – № 3. – С. 36-42.*

2. Егоров Г.В. Выбор главных элементов сухогрузных и нефтеналивных судов смешанного «река-море» плавания // Судостроение. – 2004. – № 6. – С. 10-16.
3. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
4. Егоров Г.В. Проектирование и постройка коастеров и судов смешанного плавания. – Одесса: Издательство журнала «Судостроение и судоремонт», 2008. – 128 с.
5. Егоров Г.В. Перевозки отечественным водным транспортом, состояние речного флота и перспективы нового судостроения // Морская Биржа. – 2010. – № 4 (34). – С. 20-26.
6. Егоров Г.В. Обновленная линейка многоцелевых сухогрузных судов смешанного плавания и коастеров Морского Инженерного Бюро // Морская Биржа. – 2011. – № 3 (37). – С. 38-42.
7. Егоров Г.В., Автутов Н.В., Калугин Я.В. Проектирование корпусов сухогрузных судов «устьевого» типа с пониженным надводным габаритом // Труды НТК по СМК памяти акад. Ю.А. Шиманского. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2011. – С. 39-40.
8. Егоров Г.В., Ильницкий И.А., Тонюк В.И. Многоцелевые сухогрузные суда смешанного «река-море» плавания класса «Волго-Дон макс» типа «Надежда» и «Танаис» // Судостроение. – 2011. – № 5. – С. 9-18.
9. Егоров Г.В., Каневский Г.И., Станков Б.Н. Обоснование возможности создания танкера смешанного река-море плавания с предельно высоким коэффициентом общей полноты // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА. – Вып. 20. – Одесса: ИздатИнформ, 2011. – С. 81-88.
10. Сайт информационно-аналитического агентства «Portnews». – URL: <http://portnews.ru/news/76422/> (дата обращения 20.03.12).
11. Сайт информационно-аналитического агентства «Portnews». – URL: <http://portnews.ru/news/76515/> (дата обращения 21.03.12).
12. Сайт «УкрАгроКонсалтинг». – URL: <http://www.ukragro-consult.com/ukragrokonsalt/novosti-temp/rossiya.-azovo-donskoe-parohodstvo-v-2011-godu-uvelichilo-ruzoperevozki-na-13> (дата обращения 21.03.12).

Стаття надійшла до редакції 10.09.12

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського інженерного бюро, науковий консультант **В.В. Козляков.**

УДК 629.5.01

А.Г. Егоров

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОГО  
БАРЖЕ-БУКСИРНОГО СОСТАВА «ДНЕПРО-МАКС» КЛАССА**

*Выполнен анализ эффективности эксплуатации барже-буксирного состава «Днепро-Макс» класса смешанного плавания с использованием модели «вертушки». Составлена модель эксплуатации состава. Приведены расчеты провозоспособности. Указаны основные статьи эксплуатационных расходов. Определены доходы от эксплуатации состава. Произведен расчет срока окупаемости барже-буксирного состава «Днепро-Макс» класса смешанного плавания.*

**Ключевые слова:** суда смешанного река-море плавания, класс судна, барже-буксирный состав, эксплуатация, модель «вертушки», навигация, провозоспособность, расходы, доходы, прибыль, срок окупаемости, показатели эффективности.

*Виконано аналіз ефективності експлуатації барже-буксирного складу «Дніпро-Макс» класу змішаного плавання з використанням моделі «вертушки». Створена модель експлуатації складу. Приведені розрахунки провозоспроможності. Вказані основні статті експлуатаційних витрат. Визначені доходи від експлуатації складу. Виконано розрахунок терміну окупності барже-буксирного складу «Дніпро-Макс» класу змішаного плавання.*

**Ключові слова:** судна змішаного ріка-море плавання, клас судна, барже-буксирний склад, експлуатація, модель «вертушки», навігація, провозоспроможність, витрати, доходи, прибуток, термін окупності, показники ефективності.

*The analysis of efficiency of operation of «Dnepro-Max» class barge-towing train of mixed navigation with use of model of «rotator» is executed. The model of train operation is made. The calculations of carrying capacity are given. Principal operational costs items are indicated. Profits from train operation are estimated. The calculation of payback period of «Dnepro-Max» class barge-towing train of mixed navigation is executed.*

**Keywords:** mixed river-sea navigation vessels, vessel's class, barge-towing train, operation, model of «rotator», navigation, carrying capacity, costs, profits, benefit, payback period, efficiency indexes.

**Постановка проблемы.** Вопросы создания барже-буксирных составов (ББС) освещались в научной литературе как советского времени [3, 4, 10, 11], так и в современной [1, 5, 9, 21].

В [3, 4] Б.В. Богдановым, Г.А. Алчуджаном и В.Б. Жинкиным рассматривались вопросы проектирования ББС (обоснование главных размеров и основных эксплуатационно-технических качеств, описание конструктивных особенностей, определение сопротивления воды движению морских составов). Кроме того, была выполнена классификация составов как внутреннего плавания, так и морского, также была показана специфика эксплуатации морских составов. Вопросы экономической эффективности эксплуатации ББС впервые были исследованы Ю.Н. Семеновым и Д.М. Ростовцевым в [10, 11] на примере морских составов.

Современное состояние морских составных судов описывается в публикациях Н.А. Мытника [9, 21]. В коллективной работе [1] в общих чертах показана необходимость создания ББС смешанного плавания, а также приведен обзор некоторых ББС смешанного плавания. Г.В. Егоров в [5] проанализировал успешный опыт эксплуатации ББС на внутренних водных путях США.

При этом вопросы эксплуатации барже-буксирных составов смешанного плавания в научной литературе практически не исследовались.

Автором настоящей статьи была исследована эффективность эксплуатации барже-буксирного состава «Днепро-Макс» класса смешанного плавания (подробней о самом составе см. в [6]).

**Целью статьи** является анализ экономической эффективности эксплуатации ББС «Днепро-Макс» класса смешанного плавания с использованием модели «вертушки».

**Изложение основного материала.** Рассматриваемый ББС «Днепро-Макс» класса является судном смешанного плавания и поэтому для него характерна эксплуатация как по ВВП, так и по морю.

На основе анализа структуры и тенденций перевозок водным транспортом Украины, было принято решение принять в качестве расчетной линии Днепродзержинск – Измаил [6].

По данным [16], навигация на ВВП Украины закрывается в конце ноября и открывается в середине марта, таким образом, невозможна эксплуатация на протяжении 75 дней. Для того чтобы не было простоев судна, на этот период планируется переводить ББС на линию Одесса – Измит (Турция). Выбранный класс судна позволяет эксплуатацию на этой линии. Таким образом, ББС загружается полностью в течение года, без простоев. Эксплуатационный период  $T_E$  принимается равным 345 суток (по информации от судоходных компаний, оперирующих судами смешанного река-море плавания, 20 суток принимается на непредвиденные простои, ремонт судна, порожние переходы).

На линии Днепродзержинск – Измаил предполагалась перевозка окатышей, в обратном направлении – перевозка генерального груза (текстиль, товары народного потребления (ТНП), техника). На линии Одесса – Измит (Турция) – перевозка окатышей, в обратном направлении – перевозка фруктов (мандарин).

Исходные данные для расчета провозоспособности судна и источники их получения указаны в табл. 1.

Таблица 1

*Исходные данные для расчета провозоспособности судна  
и источники их получения*

Наименование показателя	Условные обозначения	Ед. измер.	Источник информации	Значение показателя
1	2	3	4	5
Тип и название судна	-	-	Проектные данные	ББС Днепр-Макс» класса
Основные размерения буксира (габаритные)	$L \times B \times H$	м	-//-	29,6x11,8x5,1
Основные размерения баржи (габаритные)	$L \times B \times H$	м	-//-	19,7x16,75x6,0
Дедвейт буксира море/ река	$D_w$	т	-//-	683/559
Дедвейт баржи море/ река	$D_w$	т	-//-	6017/4221
Чистая грузоподъемность море/река	$D_{ч1} / D_{ч2}$	т	-//-	5900/4103
Грузовместимость	$W$	м <sup>3</sup>	-//-	10628
Скорость хода в/без состава	$V$	узл.	-//-	10/12
Коэффициент реализации скорости	$K_{реал}$	-	-//-, [12, 18]	1
Основная (летняя) навигация				
Порт отправления	-	-	-//-	Днепро-Дзержинск
Порт назначения	-	-	-//-	Измаил
Расстояние между портами	$L^1$	мили	[13]	405

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Наименование груза, который перевозится в прямом/ обратном направлении	-	-	Проектные данные	Окатыши/ ТНП
УПО груза в прямом/ обратном направлении	$g_1 / g_2$	м <sup>3</sup> /т	[2]	0,2/2,8
Норма грузовых работ в порту отправления при погрузке/разгрузке	$H_1 / H_2$	т/сут.	[15]	1600/1600, 500/500 для ТНП
Норма грузовых работ в порту назначения при погрузке/разгрузке	$H_3 / H_4$	т/сут.	[15]	4000/2000, 600/600 для ТНП
Время выполнения дополнительных операций в порту отправления/ назначения	$t_{oon}^1 / t_{oon}^2$	сут.	[12, 14]	0,5/0,17
Зимняя навигация				
Порт отправления	-	-	Проектные данные	Одесса
Порт назначения	-	-	-//-	Измит
Расстояние между портами	$L^2$	мили	[13]	450
Наименование груза, который перевозится в прямом/обратном направлении	-	-	Проектные данные	Окатыши/ мандарины
УПО груза в прямом/ обратном направлении	$g_3 / g_4$	м <sup>3</sup> /т	[2]	0,2/2,4
Норма грузовых работ в порту отправления при погрузке/ разгрузке	$H_5 / H_6$	т/сут.	[15]	2500/2500, 450/450 для мандарин

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
Норма грузовых работ в порту назначения при погрузке/ разгрузке	$H_7 / H_8$	т/сут.	[14]	2500/2500, 450/450 для мандарин
Время выполнения дополнительных операций в порту отправления/назначения	$t_{дон}^3 / t_{дон}^4$	сут.	[14]	0,5/0,5
Переход порожнем				
Порт отправления	-	-	Проектные данные	Днепродзержинск
Порт назначения	-	-	-//-	Одесса
Расстояние между портами	$L^3$	мили	[13]	260
Время выполнения дополнительных операций в порту отправления/назначения	$t_{дон}^5 / t_{дон}^6$	сут.	[14]	0,17/0,17
Эксплуатационный период (летняя навигация + зимняя навигация – 20 суток)	$T_E$	сут.	Проектные данные, данные судоходной компании	345 (260+105-20)

Расчет провозоспособности судна выполнен в табл. 2.

Таблица 2

Расчет провозоспособности

Наименование показателя	Условные показатели	Ед. измер.	Расчетная формула	Расчет
1	2	3	4	5
Средняя эксплуатационная скорость на пути	$V_E$	узл.	$V \cdot K_{реал}$	10
Коэффициент морского запаса (ветер, волны и т.д.)	$K_{MZ}$	-	-	1,05
Удельная грузоподъемность судна море/река	$w_1 / w_2$	м <sup>3</sup> /т	$\frac{W}{D_{ч1}} / \frac{W}{D_{ч2}}$	1,80/2,59



Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
Основная (летняя) навигация				
Ходовое время в рейсе (суммарное, в обоих направлениях)	$t_x^1$	сут.	$\frac{2 \cdot L^1 \cdot K_{MZ}}{24 \cdot V_E}$	3,54
Коэффициент загрузки в прямом/ обратном направлении	$K_{z1}^1 / K_{z2}^1$	-	$\frac{w_2}{g_1} / \frac{w_2}{g_2} \cdot 0,5^*$	1/0,46
Масса перевезенного за рейс груза в прямом/обратном направлении	$Q_1^1 / Q_2^1$	т	$D_{v2} \cdot K_{z1}^1 / D_{v2} \cdot K_{z2}^1$	4103/1898
Стояночное время баржи за рейс в порту отправления	$t_{ct1}^1$	сут.	$\frac{Q_1^1}{H_1} + \frac{Q_2^1}{H_2}$	6,36
Стояночное время баржи за рейс в порту назначения	$t_{ct2}^1$	сут.	$\frac{Q_1^1}{H_4} + \frac{Q_2^1}{H_3}$	5,21
Время кругового рейса	$T_P^1$	сут.	$\frac{T_{P1}^1 + T_{P2}^1 + T_{P3}^1}{3}$	4,76
Количество рейсов за период навигации	$n_P^1$	-	$\frac{T_E^1}{T_P^1}$	52
Масса перевезенного за рейс груза	$Q_P^1$	т	$Q_1^1 + Q_2^1$	6001
Масса перевезенного за период навигации груза	$Q^1$	т	$Q_P^1 \cdot n_P^1$	312045
Грузооборот судна за период навигации	$Q^1 L^1$	т-мили	$Q^1 \cdot L^1$	126378051
Зимняя навигация				
Ходовое время в рейсе	$t_x^2$	сут.	$\frac{2 \cdot L^2 \cdot K_{MZ}}{24 \cdot V_E}$	3,94
Коэффициент загрузки в прямом/ обратном направлении	$K_{z1}^2 / K_{z2}^2$	-	$\frac{w_1}{g_3} / \frac{w_1}{g_4} \cdot 0,8^{**}$	1/0,60
Масса перевезенного за рейс груза в прямом/обратном направлении	$Q_1^2 / Q_2^2$	т	$D_{v1} \cdot K_{z1}^2 / D_{v1} \cdot K_{z2}^2$	5900/3543

Продолжение табл. 2

Стояночное время баржи за рейс в порту отправления	$t_{CT1}^2$	сут.	$\frac{Q_1^2}{H_5} + \frac{Q_2^2}{H_6}$	10,23
Стояночное время баржи за рейс в порту назначения	$t_{CT2}^2$	сут.	$\frac{Q_1^2}{H_8} + \frac{Q_2^2}{H_7}$	10,23
Время кругового рейса	$T_P^2$	сут.	(смотри формулу ниже в тексте статьи)	7,75
Количество рейсов за период навигации	$n_P^2$	-	$T_E^2 / T_P^2$	12
Масса перевезенного за рейс груза	$Q_P^2$	т	$Q_1^2 + Q_2^2$	9443
Масса перевезенного за период навигации груза	$Q^2$	т	$Q_P^2 \cdot n_P^2$	113312
Грузооборот судна за период навигации	$Q^2 L^2$	т-мили	$Q^2 \cdot L^2$	50990400
<b>Переход порожнем</b>				
Ходовое время в рейсе	$t_x^3$	сут.	$\frac{2 \cdot L^3 \cdot K_{MZ}}{24 \cdot V_E}$	2,28
Стояночное время баржи за рейс в порту отправления	$t_{CT1}^3$	сут.	$t_{дон}^5$	0,17
Стояночное время баржи за рейс в порту назначения	$t_{CT2}^3$	сут.	$t_{дон}^6$	0,17
Время кругового рейса***	$T_P^3$	сут.	$t_{CT1}^3 + t_{CT2}^3 + t_x^3$	2,62
<b>Масса перевезенного за год груза</b>	$Q$	т	$Q^1 + Q^2$	<b>425357</b>
<b>Грузооборот судна за год</b>	$QL$	т-мили	$Q^1 \cdot L^1 + Q^2 \cdot L^2$	<b>177368451</b>
<p>*коэффициент 0,5, который входит в формулу коэффициента загрузки в обратном направлении во время летней навигации, учитывает балластные рейсы (грузопоток в обратном направлении негарантированный [6])</p> <p>**коэффициент 0,8, который входит в формулу коэффициента загрузки в обратном направлении во время зимней навигации, учитывает балластные рейсы (грузопоток в обратном направлении негарантированный [6])</p> <p>***имеется ввиду переход Днепродзержинск - Одесса, Одесса - Днепродзержинск</p>				

В моделі передполагается, что в основную (летнюю) навигацию (с 15 марта по 1 декабря [16]) ББС будет перевозить окатыши из Днепро-дзержинска в Измаил.

Принято, что после закрытия навигации на ВВП Украины судно будет переведено на линию Одесса – Измит (зимняя навигация с 1 декабря по 15 марта), таким образом, расчетный эксплуатационный год будет состоять из двух составляющих (летней (260 дней) и зимней навигации (105 дней)), каждая из которых будет иметь свою линию эксплуатации ББС. Таким образом, для определения суммарной провозоспособности проектируемого судна, необходимо будет просуммировать эти две составляющие. За вычетом 20 дней (по 10 на каждую навигацию), летняя навигация  $T_E^1$  составит 250 дней, зимняя  $T_E^2$  – 95 дней.

Как было отмечено выше, для получения максимального экономического эффекта при эксплуатации ББС, используется так называемая модель «вертушки». Смысл ее заключается в следующем: буксир принимает баржу-1 в порту отправления, доставляет баржу-1 в порт назначения, оставляет там под погрузку-разгрузку, бункеруется (при этом не тратится время на ожидание погрузки-разгрузки баржи), принимает баржу-2 (которая уже загружена грузом), доставляет ее в порт отправления, оставляет под погрузку-разгрузку, бункеруется, принимает баржу-3, аналогично с баржей-1, доставляет в порт назначения, принимает баржу-1 и возвращает ее в порт отправления с грузом (см. рис. 1).

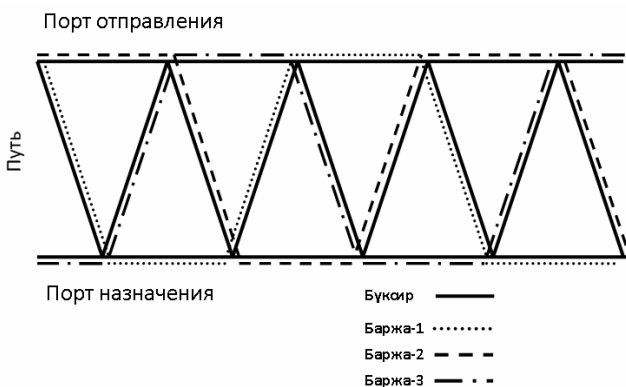


Рис. 1. Концепция модели «вертушки» на примере 1 буксира и 3 барж

В случае идеально работающей логистической цепочки, время ожидания буксиром барж сводится до минимума (стояночное время  $t_{ст}$  будет зависеть только от дополнительных операций, связанных с оформлением документов, бункеровкой). Таким образом, время кругового рейса существенно сокращается, тем самым, увеличивается количество рейсов за навигацию, следовательно, увеличивается количество перевозимого груза, что способствует увеличению прибыли судоходной и грузовых компаний.

Методик расчета подобных схем нет, поэтому было принято решение создать модель работы системы «буксир – баржа – баржа – баржа» для предполагаемых линий эксплуатации с предполагаемым грузом (с учетом норм обработки в выбранных портах) как в летнюю, так и в зимнюю навигацию (см. рис. 2, 3 а и 3 б).

Необходимость создания модели работы ББС заключается в том, что время, затрачиваемое на обработку груза (погрузка-выгрузка одной баржи), превышает ходовое время, затрачиваемое судном при переходе из порта отправления в порт назначения и назад, поэтому в качестве стояночного  $t_{CT}$  просто принять время дополнительных операций буксира  $t_{дон}$  будет некорректно.

Модель позволила определить усредненное время условного (принята такая трактовка из-за нескольких буксируемых барж) кругового рейса  $T_p$  с учетом погрузки-выгрузки барж с реальными нормами обработки в выбранных портах.

Для варианта летней навигации усредненное время условного кругового рейса  $T_p^1$  составляет

$$T_p^1 = \frac{T_{p1}^1 + T_{p2}^1 + T_{p3}^1}{3} = \frac{4,21 + 5,21 + 4,86}{3} = 4,76 \text{ сут.}, \text{ где в числите-}$$

теле – время каждого условного кругового рейса одного цикла «вертушки» (включало в себя  $t_{дон}^1, t_{дон}^2$ ).

Для варианта зимней навигации усредненное время условного кругового рейса  $T_p^2$  может быть оценена как

$$T_p^2 = \frac{T_{p1}^2 + T_{p2}^2 + T_{p3}^2 + T_{p4}^2 + T_{p5}^2 + T_{p6}^2}{6} = \frac{4,94 + 10,23 + 6,41 + 8,76 + 9,73 + 6,41}{6} =$$

$= 7,75 \text{ сут.}, \text{ где в числителе – время каждого условного кругового рейса циклов «вертушки» (включало в себя } t_{дон}^3, t_{дон}^4 \text{ ).}$

С целью получения более достоверного результата для зимней навигации были проанализированы 2 цикла «вертушки». Вынужденные длительные простои буксира в портах объясняются длительностью погрузки-выгрузки мандарин (см. табл. 1, нормы обработки в портах). Если предоставить к перевозке в обратном направлении иной груз, возможен вариант значительного более «быстрого» кругового рейса. Предполагаем, что рассматриваем наихудший вариант. В табл. 2 указано стояночное время, которое было принято в расчете модели, оно учитывало время погрузки-выгрузки одной баржи в одном порту.

Строительная стоимость ББС «Днепро-Макс» класса была оценена на основе данных Морским Инженерным Бюро: буксир – 8,3 млн. долларов США, баржа – 4 млн. долларов США.

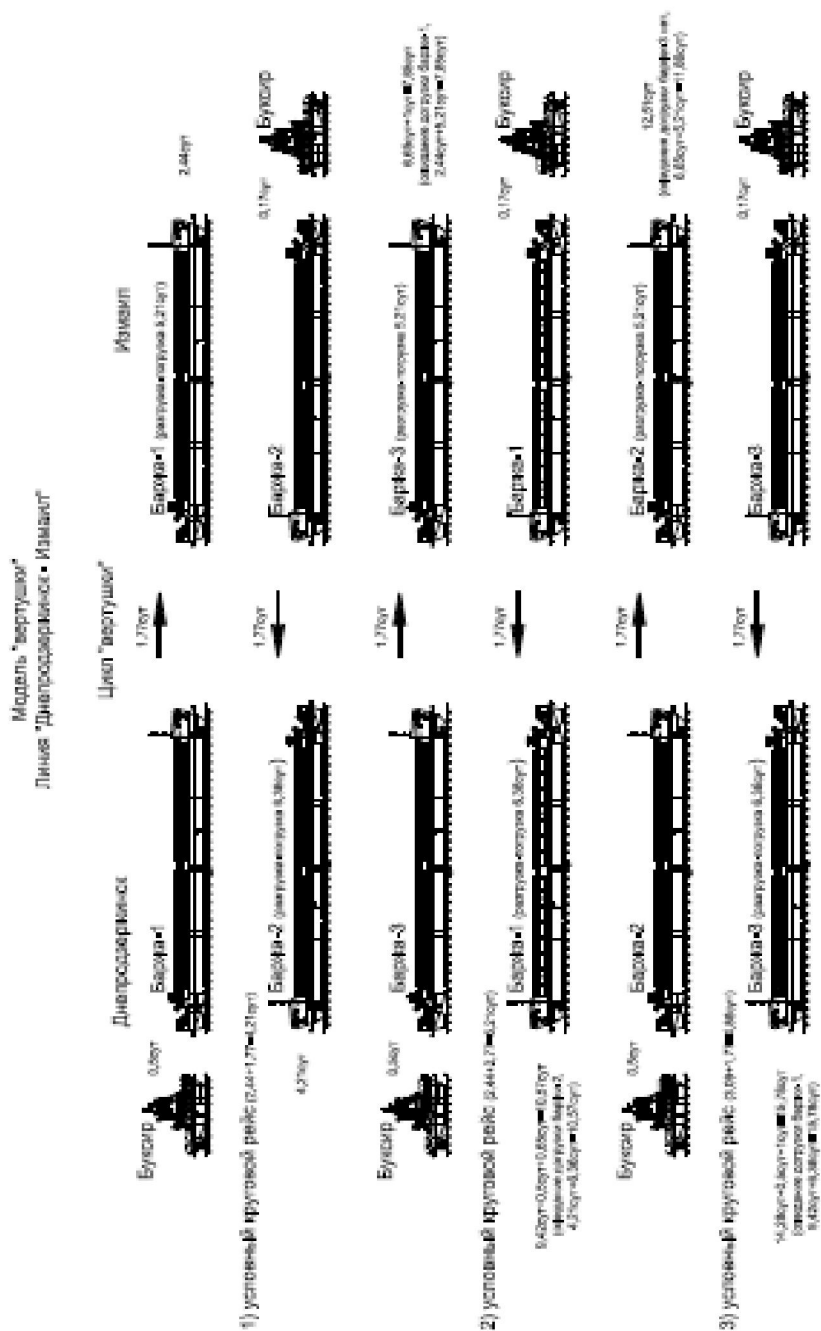


Рисунок 2. Модель «вертушки» в линию навесную с одним цепляком



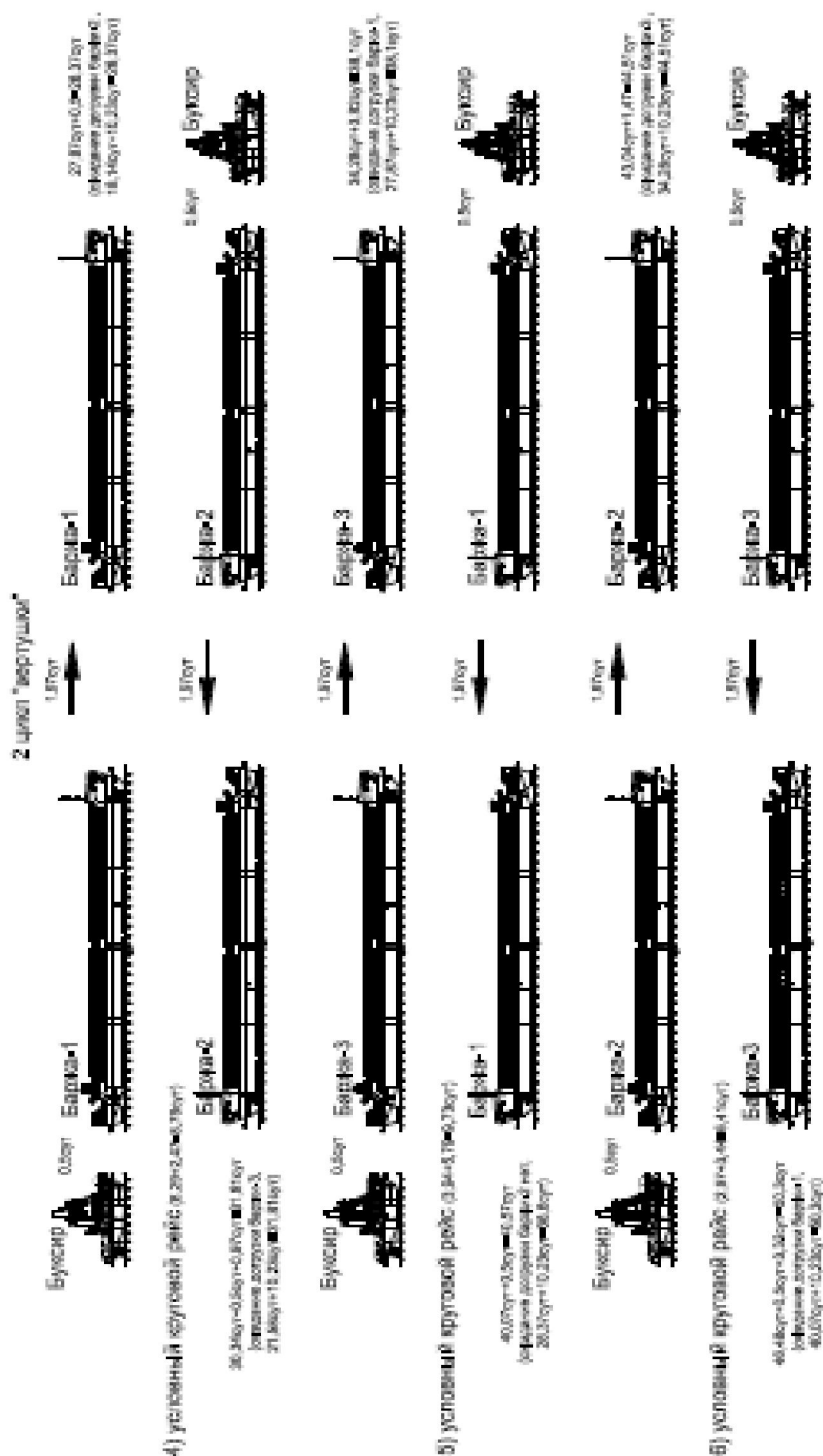


Рисунок 36. Модель «вертушки» в змінному напрямку с двумя цехами. Вторий цех

Так как при моделировании схемы перевозки грузов ББС использовалась модель «вертушки» (с применением трех барж вместо одной), то общая суммарная стоимость ББС включает стоимость буксира и стоимость трех однотипных барж –  $8,3 + 3 \cdot 4 = 20,3$  млн. долларов США (162,4 млн. грн.).

Статьями эксплуатационных расходов для всей системы «буксир и 3 баржи» являются расходы на содержание экипажа  $R_1$  (зарплата, расходы на продовольствие, дополнительные – репатриация, транспортные и т.д.); отчисления на социальные мероприятия  $R_2$ ; расходы на ремонт  $R_3$ ; расходы на снабжение  $R_4$  (инвентарь, пресная вода, масло, техническое обслуживание механизмов во время рейса, бытовые товары и т.д.); расходы на страхование  $R_5$  (имущества, от убытков, корпуса и механизмов); портовые сборы в украинских и иностранных портах (Измит) и сборы за шлюзование (Запорожский и Каховский шлюзы на Днестре)  $R_6$  (корабельный, причальный, канальный, маячный, якорный, санитарный, за услуги Поста регулирования движения судов, швартовый, за работу буксиров при швартовке/отшвартовке); расходы на топливо  $R_7$ ; административно-управленческие и общеэксплуатационные расходы  $R_8$ , а также прочие расходы  $R_9$ .

Общие годовые эксплуатационные расходы  $R^{общ}$  включали в себя все составляющие, отмеченные выше в статье. При оценке расходов учитывались данные, указанные в [8], а также данные судоходной компании, оперирующей судами смешанного плавания. Общие годовые эксплуатационные расходы  $R^{общ}$  составили 23,615 млн. грн. (2,952 млн. долларов США).

Годовые доходы судна определялись как

$$D = (f_1 \cdot Q_1^1 + f_2 \cdot Q_2^1) \cdot n_p^1 + (f_3 \cdot Q_1^2 + f_4 \cdot Q_2^2) \cdot n_p^2, \text{ долларов США,}$$

где  $f_{1,2}$  – тарифная (фрахтовая) ставка за перевозку 1 т груза соответственно в прямом и обратном направлении во время летней навигации, \$/тсут.;  $Q_1^1, Q_2^1$  – количество груза, перевезенного в прямом и обратном направлении за рейс во время летней навигации, т;  $n_p^1$  – количество рейсов в год во время летней навигации;  $f_{3,4}$  – тарифная (фрахтовая) ставка за перевозку 1 т груза соответственно в прямом и обратном направлении во время зимней навигации, \$/тсут.;  $Q_1^2, Q_2^2$  – количество груза, перевезенного в прямом и обратном направлении за рейс во время зимней нави-



гации,  $t$ ;  $n_p^2$  – количество рейсов в год во время зимней навигации. Тарифные (фрахтовые) ставки взяты по данным [19].

Общие годовые доходы судна (буксир+3 баржи) составили 8,995 млн. долларов США (71,996 млн. грн.).

Финансовый результат  $P = D - R^{общ} = 71966386 - 23615276 = 48,351$  млн. грн. (6,043 млн. долл. США) за год работы судна. Этот параметр включает в себя и амортизационные отчисления, которые могут быть использованы предприятием для обновления основных фондов.

Абсолютным показателем экономической эффективности строительства судна является финансовый результат за весь срок его эксплуатации.

Отсутствие информации о конкретных условиях эксплуатации судна в течение этого срока не позволяет спрогнозировать финансовый результат на каждый год. В связи с этим, представим, что в каждом году он будет равняться  $P$ .

Поскольку оценка эффективности инвестиций выполняется для конкретного предприятия, которое и вкладывает эти инвестиции, необходимо было определить те средства, которые останутся у него после уплаты налога на прибыль  $\tilde{P}_t = P - N_t$ , где  $\tilde{P}_t$  – чистая прибыль в году  $t$ ;  $N_t$  – налог на прибыль в году  $t$ .

Налог на прибыль по действующему законодательству составил  $N_t = k \cdot (P - A_t)$ , где  $k$  – налоговая ставка (для морского транспорта в 2012 году  $k = 21\%$ );  $A_t$  – годовые амортизационные отчисления в году  $t$ .

Амортизационные отчисления  $A_t = N_{ам} \cdot S_t$ , где  $N_{ам}$  – годовая норма амортизации (10%);  $S_t$  – остаточная стоимость судна в году  $t$ .

Для учета рисков, связанных с фактором времени, необходимо было определить настоящую стоимость будущих денежных потоков  $\tilde{P}_t^d = d_t \cdot \tilde{P}_t$ , где  $\tilde{P}_t^d$  – дисконтированный денежный поток в году  $t$ ;  $d_t$  – коэффициент дисконтирования в году  $t$ .

Коэффициент дисконтирования  $d_t = \frac{1}{(1+R)^t}$ , где  $R$  – ставка дисконтирования. Ставка  $R$  принимается в размере 0,05 ([7, 17]).

Расчет денежных потоков представлен в табл. 3 в гривнах и в табл. 4 в долларах США.

В качестве основного относительного показателя для оценки экономической эффективности строительства был использован срок окупаемости проекта.

По результатам, представленным в табл. 3 и 4, видно, что срок окупаемости проекта составляет 5 лет.

Таблица 3

*Расчет денежных потоков от работы судна, млн. грн.*

Год	Прибыль	Амортизационные отчисления	Налог на прибыль	Чистая прибыль	Коэффициент дисконтирования	Дисконтированный денежный поток	Суммарный дисконтированный денежный поток
$t$	$P$	$A_t$	$N_t$	$\tilde{P}_t$	$d_t$	$\tilde{P}_t^d$	$\sum \tilde{P}_t^d$
1	48,35	16,24	6,74	41,61	0,95	39,63	39,63
2	48,35	14,62	7,08	41,27	0,91	37,43	77,06
3	48,35	13,15	7,39	40,96	0,86	35,38	112,44
4	48,35	11,84	7,67	40,68	0,82	33,47	145,91
<b>5*</b>	<b>48,35</b>	<b>10,66</b>	<b>7,92</b>	<b>40,43</b>	<b>0,78</b>	<b>31,68</b>	<b>177,59</b>
6	48,35	9,59	8,14	40,21	0,75	30,01	207,60
7	48,35	8,63	8,34	40,01	0,71	28,43	236,03
8	48,35	7,77	8,52	39,83	0,68	26,96	262,99
9	48,35	6,99	8,69	39,67	0,64	25,57	288,56
10	48,35	6,29	8,83	39,52	0,61	24,26	312,82

\* срок окупаемости проекта

Таблица 4

*Расчет денежных потоков от работы судна, млн. долларов США*

Год	Прибыль	Амортизационные отчисления	Налог на прибыль	Чистая прибыль	Коэффициент дисконтирования	Дисконтированный денежный поток	Суммарный дисконтированный денежный поток
$t$	$P$	$A_t$	$N_t$	$\tilde{P}_t$	$d_t$	$\tilde{P}_t^d$	$\sum \tilde{P}_t^d$
1	6,04	2,03	0,84	5,20	0,95	4,95	4,95
2	6,04	1,83	0,89	5,16	0,91	4,68	9,63
3	6,04	1,64	0,92	5,12	0,86	4,42	14,05
4	6,04	1,48	0,96	5,09	0,82	4,18	18,24
<b>5*</b>	<b>6,04</b>	<b>1,33</b>	<b>0,99</b>	<b>5,05</b>	<b>0,78</b>	<b>3,96</b>	<b>22,20</b>
6	6,04	1,20	1,02	5,03	0,75	3,75	25,95
7	6,04	1,08	1,04	5,00	0,71	3,55	29,50
8	6,04	0,97	1,07	4,98	0,68	3,37	32,87
9	6,04	0,87	1,09	4,96	0,64	3,20	36,07
10	6,04	0,79	1,10	4,94	0,61	3,03	39,10

\* срок окупаемости проекта

Полученный срок окупаемости судна меньше срока окупаемости, принятого в отечественном судоходстве (имеются в виду суда смешанного река-море плавания). Для сухогрузных судов смешанного плавания приемлемым сроком окупаемости считается 8-12 лет, в зависимости от выбранной линии и выбранного груза на перевозку.

Были также определены дополнительные показатели эффективности реализации проекта:

1. Продуктивность труда экипажа (имеется в виду система, состоящая из буксира и трех барж) 
$$P_{np} = \frac{D^{общ}}{N_{эк}} = \frac{71966386}{17} = 4233317 \text{ грн./чел.}$$
(0,529 млн. \$/чел.).

2. Продуктивность 1 т грузоподъемности за сутки эксплуатации в период летней навигации 
$$P_{1m}^1 = \frac{Q^1 L^1}{D_{ч2} \cdot T_E^1} = \frac{126378051}{4103 \cdot 250} = 123 \text{ т-мили/тнж-сут.}$$

3. Продуктивность 1 т грузоподъемности за сутки эксплуатации в период зимней навигации 
$$P_{1m}^2 = \frac{Q^2 L^2}{D_{ч1} \cdot T_E^2} = \frac{50990440}{5900 \cdot 95} = 91 \text{ т-мили/тнж-сут.}$$

4. Фондоотдача 
$$F = \frac{D^{общ}}{K} = \frac{71966386}{162400000} = 0,443 \text{ грн./грн.}$$

Продуктивность 1 т грузоподъемности в летнюю навигацию выше за счет более рационального использования «вертушки». К сожалению, ББС при использовании «вертушки» существенно зависит от норм обработки выбранного груза в порту (чем выше норма обработки, тем меньше стояночное время), для зимней навигации выбранный груз в обратном направлении – мандарины – в значительной степени влияет на данный показатель (нормы обработки см. в табл. 1). В случае моделирования перевозки с другим грузом (с другой нормой обработки) возможен абсолютно другой результат.

В табл. 5 приведено сравнение определенных выше показателей эффективности ББС «Днепро-Макс» класса с показателями, полученными для самоходных судов «Днепро-Макс» и «Рейн-Макс» класса.

**Выводы.** В целом можно сказать про значительную экономическую эффективность ББС при работе по модели «вертушки». Получен рекордный для судов смешанного плавания срок окупаемости в 5 лет. Срок окупаемости ББС был рассчитан с учетом возможного «недогруза» барж. Показатели эффективности также доказывают резонансность реализации данного концепта.

Однако надо ясно представлять себе, что эксплуатация ББС реально эффективна только там, где существуют гарантированные, постоянные грузопотоки с развитой логистической цепочкой.

Если предположить увеличение грузопотоков на Дунае [20], то возможно уменьшение срока окупаемости ББС.

Таблица 5

*Сравнение экономических показателей*

Показатели	ББС «Днепро-Макс» класса	Сухогрузное судно «Днепро-Макс» класса	Сухогрузное судно «Рейн-Макс» класса «сквозного» типа
Срок окупаемости, годы	5	10	15
Продуктивность труда экипажа, $P_{пр}$ , грн./чел.	4233317	3047529	2030001
Продуктивность 1 т грузоподъемности в летнюю навигацию, $P_{лет}^1$ , т-мили/тнж-сут.	123	38	152
Продуктивность 1 т грузоподъемности в зимнюю навигацию, $P_{зим}^2$ , т-мили/тнж-сут.	91	57	60
Фондоотдача, $F$ , грн./грн.	0,443	0,270	0,299

На срок окупаемости окажет влияние и повышение норм обработки грузов, так как повышается скорость обработки и уменьшается стояночное время барж.

В любом случае, на выбранных линиях эксплуатации с выбранным грузом, ББС (с использованием модели «вертушки») показал свою эффективность, а если еще и учесть перспективность грузопотоков дунайского и днепровского регионов в будущем, то данный проект обладает значительным экономическим потенциалом.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Атлас Б.А., Войников М.И., Гофман А.Д., Иванов А.К., Немцев В.В., Крюков П.Н., Слатин К.В. Толкаемые составы смешанного река-море плавания – решение важнейших проблем водного транспорта России // Судостроение. – 2010. – № 3. – С. 18-22.
2. Ашик В.В. Проектирование судов. – Л.: Судостроение, 1975. – 352 с.
3. Богданов Б.В., Алчуджан Г.А., Жинкин В.Б. Проектирование толкаемых составов и составных судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 224 с.

4. Богданов Б.В. Речные составные суда и их классификация // Судостроение. – 1978. – № 5. – С. 3-9.
5. Егоров Г.В. Масштабная реализация преимуществ толкаемых составов на практике // Судостроение. – 2011. – № 2. – С. 18-21.
6. Егоров Г.В., Баскаков С.Н., Егоров А.Г., Бойко И.Н., Нильва В.А. Предпосылки создания и концепты нового поколения сухогрузных судов смешанного река-море плавания для Украины // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вып. 35(2). С.12.
7. Краев В.И., Пантина Т.А. Экономическая оценка инвестиций на водном транспорте / Под ред. проф. В.И. Краева. – СПб.: СПб ППУ, 2003. – 299 с.
8. Лісова І.Д., Ярова Н.В. Методичні вказівки щодо виконання розрахунку економічної ефективності дипломного проекту. – Одеса: ОНМУ, 2005. – 15 с.
9. Мытник Н.А. Современное состояние и перспективы развития морских составных судов // Судостроение. – 2009. – № 3. – С. 11-16.
10. Проектирование морских гражданских судов. – Том 9. Составные суда / Под ред. А.В. Бронникова // Итоги науки и техники. Серия «Судостроение». – М.: Союзный институт научной и технической информации, 1979. – С. 52-104.
11. Ростовцев Д.М., Семенов Ю.Н. Составные суда – перспективное направление развития грузового флота // Судостроение. – 1978. – № 9. – С. 3-8.
12. Сайт АСК «Укрречфлот». – URL: <http://www.ukrrichflot.com> (дата обращения 13.10.11).
13. Сайт компании «Гугл». – URL: <http://www.google.com/earth/index.html> (дата обращения 11.01.12).
14. Сайт компании «Дельта-лоцман». – URL: <http://www.deltapilot.ua> (дата обращения 11.01.12).
15. Сайт компании «Сиф-сервис». – URL: <http://www.sifservice.com/index.php/ru/informatsiya/> (дата обращения 11.01.12).
16. Сайт компании «Укрводпуть». – URL: <http://www.ukrvodshliah.org.ua/> (дата обращения 11.01.12).
17. Сайт «Кредит-депозит». – URL: <http://www.creditdeposit.com.ua/Inflation/> (дата обращения 12.01.12).
18. Сайт «Морского инженерного бюро». – URL: <http://meb.com.ua/> (дата обращения 10.10.11).

19. Сайт «Промышленные грузы онлайн». – URL: <http://pg-online.ru/> (дата обращения 12.01.12).
20. Стратегия Европейского союза для дунайского региона (перевод Секретариата Дунайской Комиссии). – Брюссель, 2010. – 16 с.
21. Тарануха Н.А., Мытник Н.А. Влияние оптимизации проектных элементов на сопоставление судов и их транспортных систем в рамках концептуального проектирования // Судостроение. – 2010. – № 3. – С. 22-25.

Стаття надійшла до редакції 30.08.12

**Рецензенти:**

кандидат технічних наук, доцент, зав. кафедрой «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **С.М. Баскаков**

доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського інженерного бюро, науковий консультант В.В. **Козляков**.

УДК 69.05:658.562:728.1

В.А. Гришин

МОРСКИЕ ИСКУССТВЕННЫЕ ОСТРОВА  
(ЧАСТЬ 1)

*Приведены некоторые исторические и современные сведения о сооружении и назначении морских искусственных островов.*

**Ключевые слова:** *Море, острова, назначение, конструктивные решения, гидротехнические сооружения.*

*Приведені деякі історичні і сучасні відомості про споруду і призначення морських штучних островів.*

**Ключові слова:** *море, острови, призначення, конструктивні рішення, гідротехнічні споруди.*

*Some historical and modern data on a construction and appointment of sea artificial islands are resulted.*

**Keywords:** *the sea, islands, appointment, constructive decisions, hydraulic engineering constructions.*

В современном мире все чаще и чаще создаются новые чудеса света. Так, например, на рисунке 1 показан аэропорт Кансай проектной стоимостью на начало строительства в 15 миллиардов долларов. Он представляет собой крупный комплекс сооружений, построенный по проекту Ренцо Пиано (один из создателей знаменитого Центра Помпиду в Париже) на искусственном острове (4000 метров длиной и 1000 метров шириной), насыпанном посреди Осацкого залива близ города Осака в Японии.



Рис. 1. Аэропорт Кансай

Зачем человечеству нужны такие искусственно созданные на морях и океанах острова, на сооружение которых тратятся огромные трудовые и финансовые затраты? В настоящее время для этого имеются весьма серьезные причины. Рассмотрим некоторые из них.

Развитие современных и в перспективе будущих разнообразных отраслей промышленности приведет к резкому увеличению потреблений не только энергоресурсов, но и других важнейших видов минерального сырья. Так по данным Федерального ведомства разведки почв (ФРГ) на современном этапе их потребность на каждые 15 лет будет удваиваться. Запасы многих полезных ископаемых на Суше весьма ограничены и их хватит на непродолжительное время. Между тем 71 % поверхности Земли, или 362 млн. км<sup>2</sup>, покрыто Мировым океаном, хранящим огромные количества полезных ископаемых. Потребность в них может быть решена, как за счет их извлечения из морской воды, так и путем добычи на территориях, покрытых морями и океанами. Реализация таких процессов может быть осуществлена, как вариант, с искусственно сооруженных островов. Например, на рис. 2 изображен искусственный остров, намытый в Китае для добычи полезных ископаемых.



*Рис. 2. Искусственный остров в Китае*

В некоторых странах уже давно наблюдается нехватка территорий для проживания людей и строительства различных предприятий. Эти проблемы, например, решаются еще с XIII века в Голландии, где 24 % земель расположены ниже уровня Северного моря. Здесь для откачивания воды, начиная с XVI века, стали впервые применять несколько сотен построенных ветряных мельниц. В Венеции, сегодня стоящей на 118 островах, соединенных 400 мостами, еще XV веков назад началось рытье каналов, земля из которых использовалась для создания искусственных



островов. В 1634 году в Японии дополнительно к существующим островам был построен искусственный остров Деджима. Он служил морским портом для голландских торговых судов. Первые в России искусственные острова, в основном каменно-набросные, были построены ещё в XVIII веке в Финском заливе близ Кронштадта. В настоящее время проблема нехватки земли решается в более крупных масштабах. Так одним из грандиозных сооружений является создание города Эйбург, который является расширением территории Амстердама. Город был построен на искусственных островах, намытых в озере Эй. Вначале было намыто 6 островов, затем планируется намыть еще 4 острова. По завершении строительства на островах будет располагаться 18000 домовладений для 45000 жителей и будет обеспечена занятость для 12000 человек. На рисунке 3 показан этот комплекс сооружений.



*Рис. 3. Искусственные острова в Нидерландах*

В настоящее время уже существуют и создаются новые искусственные острова, на которых построены порты с хорошо оборудованными терминалами, предназначенными для грузовых операций с крупнотоннажными судами. В первую очередь это относится к супертанкерам и другим судам, перевозившим опасные грузы. На искусственных островах можно строить предприятия, которые нежелательны вблизи городов, расположенных на Суше. Это, например, атомные станции, заводы по переработке отходов больших городов и предприятия, работающие с опасными материалами. Постройка на островах аэродромов вдали от приморских перенаселенных городов позволит их население избавить от вредного воздействия шумового загрязнения, создаваемого самолетами, и увеличит земельные площади так нужные этим городам. Улучшится и сократится во времени доставка пассажиров из города до аэропорта и

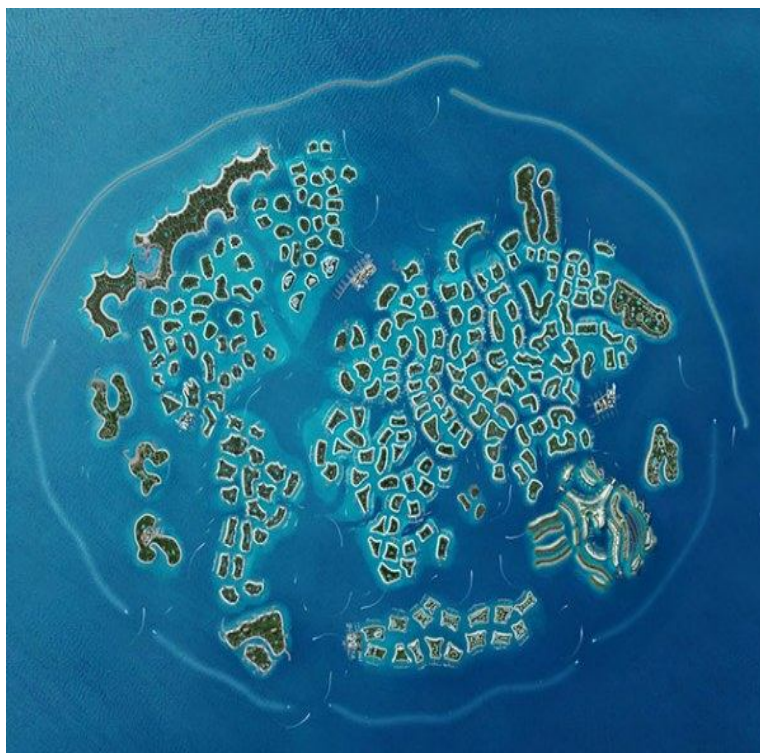
обратно путем использования для этого быстроходных судов. Это также позволит обезопасить посадку и взлет самолетов, связанных с рельефом горной местности вблизи аэродромов. На рисунке 4 показан аэропорт на искусственном острове в Макао, который имеет 24 стояночных мест для самолетов с 4-мя переходными модулями для доставки пассажиров и груза из здания аэропорта в самолеты и наоборот.



*Рис. 4. Аэропорт на искусственном острове в Макао*

Человек должен не только трудиться, но и отдыхать. Прекрасным местом для этого могут служить искусственные морские острова. В настоящее время созданы и создаются прекрасные острова-курорты. Так, например, в Объединенных Арабских Эмиратах недалеко от города Дубаи созданы 300 насыпных островов под названием The World, которые расположены в форме географической карты мира. Самый дешевый из них стоит 15 млн. долларов. Протяжённость всех береговых линий этих островов составляет 500 км. На рисунке 5 приведена их фотография (вид сверху).

Для привлечения большего количества туристов появилась необходимость в увеличении площади пляжей. Поэтому возник другой, не менее грандиозный проект «Пальмовые острова», основу которого составляют три громадных искусственных острова в форме пальмовых деревьев – Пальма-Дейра, Пальма-Джумейра и Пальма-Джеббель-Али. Они также созданы вблизи побережья города Дубаи. На архипелаге планируется разместить пятизвездочные гостиницы, 8000 вилл и жилые кварталы. Вид этих намытых островов показан на рисунке 6.



*Рис. 5. Острова под названием The World*

Строительством искусственных островов занимается и Россия. Одной из главных причин этого является то, что даже при нескольких выходах к морю, туристическая отрасль страдает из-за нехватки курортов. Так, самое известное место для отдыха в России город Сочи – в последнее время из-за дефицита территории не может принять всех желающих отдохнуть, количество которых постоянно увеличивается. В связи с этим было принято решение построить возле Сочи группу искусственных островов, которые все вместе составят курортный комплекс и будут занимать площадь около 330 гектаров. Этим проектом занимается голландский архитектор Эрик Ван Эгераат. Планируется завершить его до 2014 г., как раз к началу зимней Олимпиады. Уникальность этого острова заключается в том, что он своей формой будет напоминать уменьшенную карту России. Остров назван как Федерация и показан на рисунке 7.

Можно еще и еще перечислять грандиозные реализованные или только создаваемые проекты, сооружаемые на морских искусственных островах. Заинтересованные читатели могут ознакомиться с ними в Internete.



Рис. 6. Вид на «Пальмовые острова»



Рис. 7. Остров Федерация в России

Далее рассмотрим в популярной форме, как практически строятся такие острова? Проиллюстрируем этот вопрос на примере сооружения искусственного острова под аэропорт Кансай, показанного на рисунке 1. Международный аэропорт Осака, находящийся в густонаселённой местности не мог быть расширен из-за того, что жители окрестных районов страдали от нехватки земли и от зашумлённости. Поэтому аэропорт был перемещён южнее, в Осацкий залив. Здесь, вдали от жилых районов, аэропорт мог быть открыт 24 часа в сутки, и шум взлетающих и призем-

ляющихся самолётов не будет мешать местным жителям. Проектировщики предложили посреди залива насыпать искусственный остров 4 км длиной и 1,2 км шириной. Это сооружение должно было выдержать жестокие тайфуны, сильные землетрясения и высокие волны цунами. Процесс намыва островов показан на рисунке 8.



*Рис. 8. Намыв искусственных островов.*

Строительство началось в 1987 году. Морская стена, возведённая из огромных каменных глыб и 48000 бетонных блоков, была закончена к 1989 году. Она определила контуры будущего острова. 10000 рабочих, 10 миллионов часов работы, 80 судов потребовались, чтобы утрамбовать 21 миллион кубометров грунта на морском дне и возвести насыпь высотой в 30 метров над уровнем моря. К 1990 году было завершено строительство двухуровневого моста (стоимость 1 миллиард долларов), по нижнему уровню которого проходит железная дорога, а по верхнему – шоссе. Он длиной в 3 километра и соединяет искусственный остров с пригородом Осака. Остров специально спроектирован так, чтобы мог постепенно погружаться в море по мере оседания и уплотнения грунта. Однако на сегодняшний день просадка острова превысила запланированную осадку на 8 метров.

В 1991 году началось строительство терминала. Чтобы компенсировать проседание, его здание оборудовано специальными поддерживающими колоннами, под которые при необходимости можно будет подсунуть металлические подпорки и сбросить здание от разрушения из-за неравномерного оседания грунта. Вид его после строительства показан на рисунке 9.



*Рис. 9. Терминал в аэропорте Кансай*

Аэропорт открылся в 1994 году. 17 января 1995 года Японию поразило страшное землетрясение силой в 7 баллов по шкале Рихтера. Погибло 6434 человека, но аэропорт благодаря удачному проектированию остался цел. Позже, в 1998 году над аэропортом пронёсся тайфун, скорость ветра достигала 200 км/ч. Здание выстояло, благодаря своей конструкции, напоминающей крыло самолёта.

Общая стоимость аэропорта Кансай составила 15 миллиардов долларов. Главной статьёй расходов явилась борьба с оседанием острова. Сразу после строительства понижение уровня острова шло с такой скоростью, что аэропорт считали структурным техническим бедствием. Однако в настоящее время затопление острова замедлилось, и теперь можно сказать, что жизнеспособности аэропорта ничего не грозит вопреки существовавшему пессимистичным прогнозам. Так, в настоящее время скорость проседания острова замедлилась с 50 см до 7 см в год.

В 2003 году, считая, что затопление острова почти остановлено, началось строительство второй взлётно-посадочной полосы длиной в 4000 метров. Для этого возвели второй искусственный остров рядом с первым, сделав его на несколько метров выше. Первое время самолёты, выруливая на вторую взлётно-посадочную полосу, будут преодолевать небольшой подъём, однако позже, когда второй остров осядет, оба острова должны сравняться по высоте. Инженеры боялись, что если они расширят первый остров и построят вторую полосу там, равновесие острова может быть нарушено, и поэтому было решено насыпать второй остров рядом с первым, соединив их узким перешейком. Вследствие этого стоимость работ стала выше планируемых 15 миллиардов долларов. Вторая взлётно-посадочная полоса введена в эксплуатацию 2 августа 2007 года. В дальнейшем планируется возвести второе здание терминала и открыть третью 3500-метровую взлётно-посадочную полосу.

Приведенный анализ строительства аэропорта Кансай показывает, что, казалось бы, простая задача намыть искусственный остров, но на самом деле она таит в себе много дорогостоящих сложностей, особенно связанных с деформациями и перемещениями грунтов в водной среде. Это также подтверждается процессами, происходящими с намытыми островами The World в Дубаи. После окончания их строительства и продажи частным лицам 70 % всех островов они под действием казалось бы незначительных подводных течений постепенно стали сливаться друг с другом и погружаться в море. Это все подтверждает известную истину, что все связанное с морем должно относиться к нему с уважением, За любые промахи оно сурово наказывает.

Для каждого конкретного участка моря и морского побережья характерны определенные природные условия, весь комплекс которых составляет естественный режим данного района. При проектировании морских искусственных островов и строительстве на них гидротехнических, промышленных или курортных сооружений должен учитываться большой комплекс факторов, характеризующих естественные условия района их возведения. К ним относятся гидрологические, гидрографические, геологические, геоморфологические, метеорологические и другие условия. К гидрологическим условиям относятся следующие основные факторы: морское волнение; ледовый режим; колебание уровня моря (нагоны, сгоны, сейши); приливо-отливные явления; морские течения; цунами и другие. Они кардинальным образом влияют на деятельность человечества по освоению морей и океанов. К гидрографическим условиям в первую очередь относятся: глубины и рельеф дна морей и океанов. Геологические и геоморфологические условия, прежде всего, включают: геологическое строение дна; свойства горных пород; изменчивость формы дна; движение наносов и возможные тектонические явления. К метеорологическим условиям относятся: ветровой режим (скорости, направления и продолжительности ветров); температура воздуха; осадки и туманы. Грунтовые острова должны противостоять волновой эрозии летом и воздействиям льда зимой. Поэтому на них должны возводиться берегозащитные сооружения.

Кроме естественных условий также учитываются: назначение острова; наличие грунтовых материалов и способы их транспортировки; наличие плавучих средств и строительной техники; удаленность острова от производственной базы на материке и т. п.

Материалы в конструкциях сооружений на морских островах подвергаются агрессивному воздействию морской среды, особенно разрушительному в зоне переменного уровня воды. Они также подвергаются воздействиям соленой морской воды, низких температур, льда, попеременному замораживанию и оттаиванию, смачиванию и осушке. Все перечисленные особенности коренным образом изменяют технологию строительства морских искусственных островов от строительных процессов, выполняемых на материке и даже от технологии строительства пор-

товых гидротехнических сооружений. Возникают также экологические проблемы. Так, например, в настоящее время ведется серьезная дискуссия в России о строительстве двух искусственных островов в Финском заливе.

Территория Украины включает в себя часть Черного и Азовского морей. Возникают вопросы: позволяют ли природные условия этих морей и имеется ли необходимость для Украины в создании на них искусственных островов, которые могут использоваться для добычи энергоресурсов и различных полезных ископаемых, а также для развития промышленного, курортного и туристического комплексов? В последующих статьях автор намерен рассмотреть по данной тематике некоторые из поставленных вопросов. Приглашаются к дискуссии и другие заинтересованные лица.

*Стаття надійшла до редакції 17.09.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співпрацівник Морського інженерного бюро, науковий консультант **В.В. Козляков**.



УДК 624.042.8:534.17

Д.М. Гитерман

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТАМИ  
ПРИ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЯХ**

*Управление спектром собственных частот при изгибных колебаниях упругих систем осуществляется наложением дополнительных обобщенных связей. Рассматривается критерий определения коэффициента жесткости обобщенной упругой связи, при наложении которой зона, освобождаемая от собственных частот, ограничена сверху основной частотой. Даны рекомендации, позволяющие выделить связи, в определенном смысле оптимальные. Приведен пример нахождения оптимальной опорной конструкции.*

**Ключевые слова:** спектр собственных частот, основная частота, обобщенная связь, прицельная на интервале связь, связь с одной степенью активности, резонансно-безопасная зона

*Керування спектром власних частот при згинальних коливаннях пружних систем здійснюється накладенням додаткових узагальнених в'язей. Розглядається критерій визначення коефіцієнту жорсткості узагальнені пружної в'язі, при накладенні якої зона, що звільняється від власних частот, обмежена зверху основною частотою. Надані рекомендації, що дозволяють виділити в'язі, в певному значенні оптимальні. Наведений приклад знаходження оптимальної опорної конструкції.*

**Ключові слова:** спектр власних частот, основна частота, узагальнена в'язь, прицільна на інтервалі в'язь, в'язь з одним ступенем активності, резонансно-безпечна зона.

*Control of natural frequencies spectrum during bending oscillations of elastic systems is carried out by imposition of additional generalized constraints. Criterion that allows to define stiffness coefficient of generalized elastic constraint is examined; when this constrain is imposing then area released from natural frequencies is limited from above by the fundamental frequency. Recommendations due to defining optimal at special meaning constraints are proposed. An example, illustrating defining of optimal support construction is given.*

**Keywords:** natural frequencies spectrum, fundamental frequency, generalized constraint, interval aiming constraint, single active degree constraint, resonance-safe area.

**Постановка проблемы.** Оптимальное проектирование конструкций, работающих в условиях динамического возбуждения, является акту-

альной и трудной задачей механики деформируемого тела. Одна из основных проблем оптимизации связана с ограничениями, накладываемыми на спектр собственных частот, и сводится к их направленному регулированию. В некоторых задачах процесс управления частотами состоит в максимальном повышении основной частоты, в других — освобождении одной, либо нескольких достаточно широких резонансно-опасных зон от всех собственных частот. Обычно управление спектром частот может осуществляться за счет вариации параметров, характеризующих интенсивность и закон расположения грузов (масс) на конструкции, а также вариации некоторых конструктивных параметров, в частности, изгибной жесткости, расположения опор и т. п.

**Цель работы.** В настоящей работе управление спектром собственных частот при изгибных колебаниях упругих систем осуществляется наложением обобщенных связей. Предлагаемый подход эффективен для конструкций, которые могут быть условно представлены состоящими из основной – несущей и усиливающей ее опорной конструкций. Несущая конструкция кроме собственной массы несет и массу всех грузов, приходящихся на конструкцию, причем масса последних существенно больше собственной массы несущей конструкции. Опорная конструкция несет только собственную массу, которая, как правило, меньше собственной массы несущей конструкции. Предполагается, что основная несущая конструкция задана, а определению подлежит оптимальная в определенном смысле усиливающая конструкция. Исследуется вопрос о существовании оптимальной опорной конструкции, масса которой пренебрежимо мала по сравнению с массой основной несущей конструкции. Задача оптимального управления спектром собственных частот решается только для зоны, ограниченной сверху основной частотой. Проблема создания такой зоны может быть решена при помощи наложения конечного числа так называемых прицельных на интервале связей, каждая из которых изменяет на этом интервале только одну частоту, увеличивая ее до наперед заданного значения.

Рассмотрим упругую конструкцию  $U$ , вообще говоря, с бесконечным числом степеней свободы. Присоединим к конструкции  $U$  безмассовую линейно-деформируемую систему  $S_m$ , называемую  $n$  – точечной опорной конструкцией, которая является источником  $n$  реактивных сил  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , поступательно перемещающихся вместе со своими точками приложения  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . Конструкцию, полученную в результате скрепления систем  $U$  и  $S_m$ , обозначим через  $U^*$ . Будем говорить, что опорная конструкция  $S_m$  имеет  $r$  степеней активности, если при любом деформированном состоянии системы  $U^*$ , вызванном силами, приложенными только к  $U$ , реактивные силы  $P_1, P_2, \dots, P_n$  сводятся к  $r$  обобщенным силам  $Q_1, Q_2, \dots, Q_r$ . Обобщенная сила – это группа сил, пропорцио-

нальных одному параметру, которым эта сила измеряется. Обозначим через  $Y_i$  обобщенное перемещение, соответствующее силе  $P_i$ , то есть перемещение точки  $A_i$  вдоль линии действия  $P_i$ . Потенциальная энергия, которая запасается в процессе деформации упругой системы,  $S_m$  может быть представлена в виде квадратичной формы

$$\Pi = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^r Q_i q_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r \gamma_{ij} Q_i Q_j, \quad (1)$$

где  $q_i$  – обобщенное перемещение, соответствующее обобщенной силе  $Q_i$ , и это обобщенное перемещение является линейной комбинацией  $y_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), а  $\|\gamma_{ij}\|_1^r$  – матрица обобщенных коэффициентов податливости системы  $S_m$ .

Пусть  $\omega_1 \leq \omega_2 \leq \dots$  – последовательность собственных частот конструкции  $U$ , а  $v_1(x), v_2(x), \dots$  – соответствующие этим частотам формы свободных колебаний. Аналогично  $\omega_i^*$  и  $v_i^*(x)$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) – собственные частоты и формы колебаний конструкции  $U^*$ . Как известно,

$$\omega_i \leq \omega_i^* \leq \omega_{i+r}, \quad (2)$$

то есть возможное значение  $\omega_i$  лежит на отрезке  $[\omega_i, \omega_{i+r}]$  оси частот. Положение  $\omega_i^*$  на этой оси зависит от ряда факторов. Во-первых, от свойств опорной конструкции, а именно от ее коэффициентов податливости  $\gamma_{ij}$  и типа обобщенных реактивных сил  $Q_1, Q_2, \dots, Q_r$ , источником которых она является. Во-вторых, от выбора тех из перемещений конструкции  $U$ , которым приравниваются перемещения  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) опорной конструкции  $S_m$ , в частности, от расположения присоединяемой опорной конструкции на  $U$ . В-третьих, от свойств системы  $U$ , характеризующих ее формами свободных колебаний. Перечисленные факторы, кроме податливости конструкции  $S_m$ , определяют важное для решаемой задачи поведение амплитудного обобщенного перемещения  $\delta_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, r$ ), вызванного обобщенной силой  $Q_i \sin(\omega t + \varphi)$  при  $Q_i = 1$  и соответствующего  $j$ -й обобщенной силе. Будем говорить, что опорная конструкция наложена в обобщенном узле формы  $v_i(x)$ , если при деформации конструкции  $U$  по этой форме в системе  $S_m$  не накапливается потенци-

альная энергия, то есть опорная конструкция  $S_m$  либо не деформируется, либо является самоуравновешенной и ведет себя как механизм с абсолютно жесткими звеньями. Очевидно, что если опорная конструкция наложена в обобщенном узле формы колебаний  $v_i(x)$ , то работа реактивных сил на этом деформированном состоянии равна нулю. Частота  $\omega_i$ , соответствующая форме  $v_i(x)$  – особая частота конструкции  $U$ . Эта частота и соответствующая ей форма колебаний являются частотой и формой конструкции  $U^*$ , так как при колебании, соответствующем особой частоте, обобщенная реакция равна нулю.

В ряде практических задач условия надежной эксплуатации конструкции  $U$  и приборов, расположенных на ней, требуют, чтобы в наперед заданном интервале  $(0, \beta)$  не было ни одной собственной частоты этой конструкции. Если  $\omega_r < \beta \leq \omega_{r+1}$ , то есть в интервал  $(0, \beta)$  попадает  $r$  собственных частот конструкции  $U$ , то в качестве опорной конструкции будем подбирать такую, которая при наложении на систему  $U$  изменяет частоты так, что все частоты из освобождаемого интервала  $(0, \beta)$ , возрастая, достигнут либо превысят  $\beta$ . Остановимся предварительно на вопросе о влиянии одной связи, являющейся источником обобщенной реактивной силы  $Q$ , на освобождение интервала  $(0, \beta)$  от собственных частот. В качестве примера рассмотрим многоточечную связь  $S_{1n}$ , с одной степенью активности, называемую в дальнейшем прицельной на интервале  $(0, \beta)$ , которая при наложении на систему  $U$  изменяет только одну собственную частоту из рассматриваемого интервала. Очевидно, что прицельная на интервале  $(0, \beta)$  связь ортогональна ко всем формам колебаний, соответствующим собственным частотам из рассматриваемого интервала, кроме формы, соответствующей изменяемой частоте.

Покажем, что всегда существует  $n$  – точечная опорная конструкция с одной степенью активности, ортогональная по крайней мере к  $n-1$  –й формам собственных колебаний любой бесконечномерной упругой системы  $U$ . Действительно, опорная конструкция  $S_{1n}$  является источником только  $n$  реактивных сил  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , приложенных соответственно в точках  $a_1, a_2, \dots, a_n$  системы  $U$ . Некоторые возможные деформированные состояния системы  $U$ , в частности, интересующие нас формы свободных колебаний обозначим через  $Z_1, Z_2, \dots, Z_{n-1}$ . Искомая связь должна удовлетворять следующей системе  $n-1$  линейных алгебраических уравнений с  $n$  неизвестными

$$\sum_{i=1}^n P_j Z_j(a_i) = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n-1),$$

которая всегда имеет нетривиальное решение. Отсюда следует, что, увеличивая число точек контакта связи с конструкцией  $U$ , можно увеличивать число форм, к которым ортогональна связь, то есть увеличивать число неизменяемых частот. Следовательно, достаточное число точек контакта связи с конструкцией  $U$  определяется числом частот в интервале  $(0, \beta)$ .

В соответствии с неравенством (2) прицельная на интервале  $(0, \beta)$  связь с одной степенью активности может исключить из этого интервала только одну частоту, а условия, необходимые и достаточные для этого исключения, сформулированы в приведенной ниже теореме, которая справедлива и для связей, не ортогональных, вообще говоря, ни к одной из форм колебаний.

Теорема. Для того, чтобы прицельная на интервале  $(0, \beta)$  опорная конструкция  $S_{1n}$ , степень активности которой  $r = 1$ , освобождала при наложении на систему  $U$  интервал  $(0, \beta)$  от собственной частоты, необходимо и достаточно, чтобы амплитудное обобщенное перемещение  $\delta(\omega)$  было не положительно при  $\omega = \beta$ . Обобщенный коэффициент податливости этой опорной конструкции должен удовлетворять неравенству

$$\gamma \leq |\delta(\beta)|. \quad (3)$$

Замечание. Если граница интервала  $\beta$  совпадает с собственной частотой системы  $U$ , то для выполнения условий теоремы необходимо, чтобы опорная конструкция  $S_{1n}$  была наложена в одном из обобщенных узлов каждой формы, соответствующей этой частоте.

Доказательство теоремы опирается на критерий, определяющий место заданного числа в спектре собственных частот [1]. Для освобождения интервала  $(0, \beta)$  от одной из собственных частот, необходимо и достаточно, в соответствии с этим критерием, чтобы выполнялось условие  $-\infty < \delta(\beta) + \gamma \leq 0$ . При  $\beta = \omega_{i+1}$  обобщенное амплитудное перемещение конечно, если опорная конструкция наложена в одном из обобщенных узлов каждой формы, соответствующей частоте  $\omega_{i+1}$ .

Последовательное наложение конечного числа прицельных на интервале связей с одной степенью активности позволят освободить интервал  $(0, \beta)$  от всех собственных частот. Здесь следует отметить, что достаточное число связей совпадает с числом исключаемых частот, а коэффициенты податливости этих связей независимы друг от друга.

Прицельную на интервале связь с одной степенью активности, удовлетворяющую условиям теоремы, будем называть оптимальной, если

при наложении её на систему  $U$  изменяемая частота становится равной верхней границе интервала  $(0, \beta)$ . Для оптимальной связи формула (3) определяет максимальную податливость  $\gamma = |\delta(\beta)|$ , необходимую для освобождения рассматриваемого интервала.

Совокупность  $r$  независимых прицельных на интервале связей, оптимально освобождающих этот интервал от всех  $r$  собственных частот, может быть рассмотрена как одна упругая система  $S_m$ , имеющая  $r$  степеней активности. Проблема нахождения оптимальной опорной конструкции  $S_m$  обобщает теорию связей наибольшей жесткости, являющуюся развитием идей И.Г. Бубнова в задачах упругой устойчивости [2]. При наложении на систему  $U$  связей наибольшей жесткости,  $r-1$  частота из интервала  $(0, \omega_{r+1})$ , вообще говоря, возрастая, превысит значение  $\omega_{r+1}$ , а одна из частот станет равной  $\omega_{r+1}$ . Оптимальная опорная конструкция – это наиболее податливая из опорных конструкций наибольшей жесткости. При наложении на систему  $U$  оптимальной опорной конструкции все частоты из освобождаемого интервала  $(0, \beta)$  достигают  $\beta$ , не превосходя его, то есть жесткость связи не затрачивается на излишнее увеличение исключаемых частот.

Рассмотрим на примере определение характеристик опорной конструкции, оптимально повышающей основную частоту до наперед заданного значения.

Пусть упругая система  $U$  представляет собой прямолинейный призматический стержень жесткости  $EJ$ , свободно опертый по концам на неподатливые опоры. Если интенсивность масс постоянна,  $\omega_i = i^2 \omega_1$ ,  $v_i(x) = \sqrt{\frac{2}{ml}} \sin \frac{i\pi x}{l}$ , где  $\omega_1 = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}$  – основная частота,  $l$  – длина стержня,  $m$  – интенсивность равномерно распределенной по длине массы стержня, а коэффициент  $\sqrt{\frac{2}{ml}}$  выбран таким образом, чтобы формы коле-

баний были нормированы по массе  $\int_0^l v_i^2(x) m dx = 1$ , ( $i = 1, 2, \dots$ ). Функция

влияния амплитудных прогибов, как известно, имеет вид

$$\Gamma(x, s, \omega^2) = \frac{1}{2\lambda^3 EJ} \left[ \frac{\sin \lambda(l-s) \sin \lambda x}{\sin \lambda l} - \frac{sh \lambda(l-s) sh \lambda x}{sh \lambda l} \right],$$

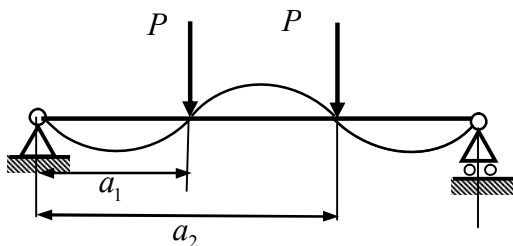
$$(0 \leq x \leq s)$$

$$\Gamma(x, s, \omega^2) = \frac{1}{2\lambda^3 EJ} \left[ \frac{\sin \lambda(l-x) \sin \lambda s}{\sin \lambda l} - \frac{sh \lambda(l-x) sh \lambda s}{sh \lambda l} \right].$$

$$s \leq x \leq l)$$

Значения  $\lambda_i$  определяются соотношением  $\lambda_i^4 = \frac{m\omega_i^2}{EJ}$ ; для стержня, свободно опертого по концам,  $\lambda_i = i\pi/l$  ( $i = 1, 2, \dots$ ).

Опорная конструкция  $S_{3n}$  состоит из трех прицельных на интервале связей с одной степенью активности, повышающих соответственно  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  и  $\omega_3$ , по крайней мере, до  $\omega_4$ . В силу ортогональности форм свободных колебаний, соответствующих различным частотам, связь с одной степенью активности, являющаяся источником сплошных реактивных сил, интенсивность которых пропорциональна  $mv_i(x)$ , ортогональна ко всем формам, кроме  $i$ -й. Очевидно, что каждая многоточечная связь, прицельная на рассматриваемом интервале  $(0, \omega_4)$  – источник конечного числа реактивных сил, достаточно точно заменяющих сплошные реактивные силы, изменяющие только одну частоту. Связь, прицельно повышающая частоту  $\omega_1$ , ортогональна к формам  $v_2, v_3$  и  $v_4$ , то есть реактивные силы должны быть приложены в обобщенных узлах этих форм. Покажем, что число реактивных сил, достаточных для выполнения условий ортогональности связи к формам  $v_2, v_3$  и  $v_4$ , равно двум. Действительно, если к стержню приложить в точках  $a_1 = l/3$  и  $a_2 = 2l/3$  (то есть в узлах третьей формы) две равные по величине и направлению силы (рис. 1), то очевидно, что связь, порождающая эти реактивные силы, ортогональна к  $V_3$ , а кроме того, и к  $v_2$  и  $v_4$ , так как симметричная нагрузка не работает на кососимметричных формах.



Связь, являющаяся источником построенных реактивных сил, повышает первую частоту по крайней мере до  $\omega_4$ . Обобщенное перемещение  $q_1$ , соответствующее обобщенной силе  $Q_1$

$$q_1 = y_1 + y_2 = v(l/3) + v(2l/3).$$

Рис. 1

Амплитудное обобщенное перемещение, вызванное гармонически изменяющейся обобщенной силой  $Q_1 \sin(\omega t + \varphi)$  при  $Q = 1$  и соответствующее ей

$$\delta_1(\omega) = \Gamma\left(\frac{l}{3}, \frac{l}{3}; \omega\right) + \Gamma\left(\frac{l}{3}, \frac{2l}{3}; \omega\right) + \Gamma\left(\frac{2l}{3}, \frac{l}{3}; \omega\right) + \Gamma\left(\frac{2l}{3}, \frac{2l}{3}; \omega\right).$$

Проведя соответствующие вычисления, получим, что искомое значение  $\delta_1(\omega_4) = -3,79 \cdot 10^{-5} \frac{l^3}{EJ}$ , а следовательно, в соответствии с рассмотренной выше теоремой, предлагаемая связь может повысить первую частоту до четвертой, если ее обобщенный коэффициент податливости  $\gamma_1$  удовлетворяет неравенству  $\gamma_1 \leq 3,79 \cdot 10^{-5} \frac{l^3}{EJ}$ .

При  $\gamma_1 = -\delta_1(\omega_4) = 3,79 \cdot 10^{-5} \frac{l^3}{EJ}$  рассматриваемая связь будет оптимальной.

Для связи, прицельно повышающей  $\omega_2$ , сосредоточенные реактивные силы должны заменять сплошную нагрузку, интенсивность которой пропорциональна  $\sin \frac{2\pi x}{l}$ .

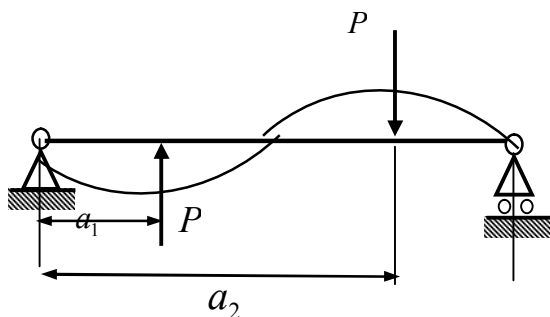


Рис.2

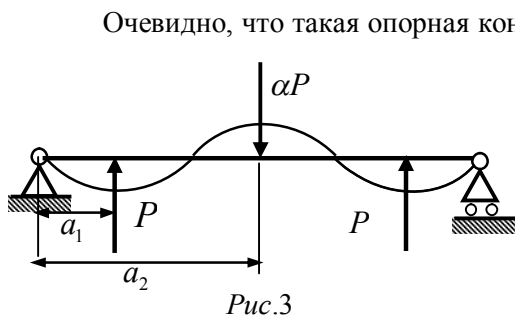
В качестве такой связи рассмотрим кососимметричный шпренгель, являющийся источником двух равных и противоположно направленных реактивных сил, приложенных соответственно в точках  $a_1 = l/4$  и  $a_2 = 3l/4$  (рис.2), то есть в узлах четвертой формы. Очевидно, что предлагаемая связь ортогональна к  $v_1, v_3$  и  $v_4$ .

Таким образом, кососимметричный шпренгель, обобщенный коэффициент податливости которого  $\gamma_2$ , определяется неравенством

$\gamma_2 \leq 1,257 \cdot 10^{-4} \frac{l^3}{EJ}$ , освобождает интервал  $(0, \omega_4)$  от  $\omega_2$ . В случае знака равенства рассматриваемая связь оптимальна. Сосредоточенные реактивные силы, источником которых является связь, прицельно повышающая  $\omega_3$ , должна заменять сплошную нагрузку, пропорциональную  $\sin \frac{3\pi x}{l}$ .

Приложим к стержню в точках  $a_1 = 5l/24$ ,  $a_2 = l/2$ ,  $a_3 = 19l/24$  три сосредоточенные реактивные силы, соответственно  $P$ ,  $\alpha P$  и  $P$  (рис.3).





при произвольном  $\alpha$ , а условие ортогональности к  $v_1$  выполняется только тогда, когда  $\alpha = 1,2$ . Амплитудное обобщенное перемещение

$$\delta_3(\omega) = -5,73 \cdot 10^{-4} \frac{l^3}{EJ},$$

следовательно, связь с предлагаемыми реактивными силами, обобщенный коэффициент податливости которой удовлетворяет неравенству  $\gamma_3 \leq 5,73 \cdot 10^{-4} \frac{l^3}{EJ}$ , исключает  $\omega_3$  из интервала  $(0, \omega_4)$ . В случае знака равенства рассматриваемая связь оптимальна.

**Выводы.** Одновременное наложение всех трех построенных связей, совокупность которых можно рассматривать как одну опорную конструкцию  $S_{3n}$  с тремя степенями активности, освобождает интервал  $(0, \omega_4)$  от всех собственных частот.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нудельман Я.Л., Ляхович Л.С. Уточнение критерия, определяющего место заданного числа в спектре собственных частот и критических сил упругих систем // В кн. Исследования по строительным конструкциям. Т. XIV. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1968. – С. 88-98.
2. Нудельман Я.Л., Ляхович Л.С., Гитерман Д.М. О наиболее податливых связях наибольшей жесткости // В кн. Вопросы механики прикладной математики. – Томск, 1981. – С.113-125.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2012

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету **Н.В.Єфремова.**

УДК 624.072.04 (054)

Б.И. Антонов, В.Б. Удолатий

### СЛОЖНЫЙ ИЗГИБ НЕОДНОРОДНОГО БРУСА

*Рассмотрены вопросы применения метода конечных элементов для исследования сложного изгиба бруса из функционально-градиентного материала.*

**Ключевые слова:** брус, функционально-градиентный материал, метод конечных элементов.

*Розглянуто питання застосування методу скінченних елементів для дослідження складного згину бруса з функціонально-градієнтного матеріалу.*

**Ключові слова:** брус, функціонально-градієнтний матеріал, метод скінченних елементів.

*The questions of application of finite element method are considered for research of compound bend of the squared beam from functionally-gradient material.*

**Keywords:** squared beam, functionally-gradient material, finite element method.

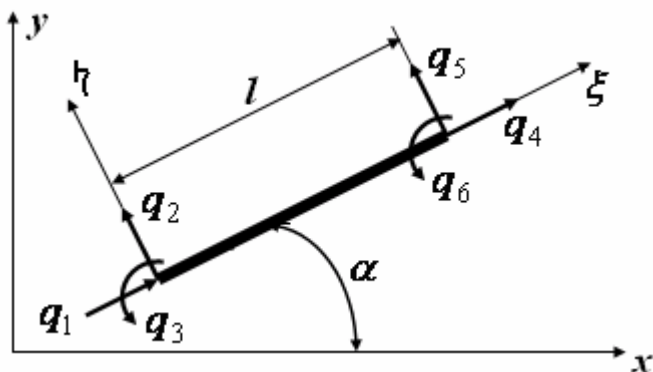
**Постановка проблемы.** Брус, испытывающий изгиб, принято называть балкой. В составе конструкций различных инженерных сооружений имеются балки, которые помимо поперечной нагрузки загружены еще и осевыми силами. Для балок конечной жесткости малого прогиба суммарные внутренние силы и прогибы не могут быть получены суперпозицией внутренних сил и прогибов, вызванных каждым из факторов внешней нагрузки в отдельности. В этом случае необходимо учесть совместное влияние осевых сил и поперечной нагрузки на параметры изгиба балки.

Балки могут быть изготовлены из неоднородного материала, механические свойства которого изменяются вдоль оси по определенному закону. Такой материал принято называть функционально-градиентным. В настоящей работе неоднородность балки будет определяться переменностью вдоль ее оси модуля продольной упругости  $E$  материала.

Анализ напряженно-деформированного состояния балки из неоднородного материала, испытывающей сложный изгиб, представляет сложную математическую задачу, решение которой в большом числе случаев можно получить только численными методами. Целесообразно для решения рассматриваемой задачи применить метод конечных элементов (МКЭ).

**Целью статьи** является разработка матриц жесткости конечного элемента, пригодного для анализа напряженно-деформированного состояния балки, испытывающей сложный изгиб.

**Изложение основного материала.** Рассмотрим КЭ балки, имеющий 6 степеней свободы (рис. 1).



*Рис. 1. Конечный элемент балки, связанный с местной  $\xi, \eta$  и общей  $X, Y$  системами координат*

$$q_1 = u_1; \quad q_2 = v_1; \quad q_3 = v_1';$$

$$q_4 = u_2; \quad q_5 = v_2; \quad q_6 = v_2'.$$

В работе [1] подробно рассмотрена процедура вывода уравнения движения упругой системы (ансамбля КЭ), которое в общем случае имеет вид

$$[M]\{\ddot{Q}(t)\} + [D]\{\dot{Q}(t)\} + ([K_e] + [K_g] + [K_{ef}])\{Q(t)\} = \{P(t)\}, \quad (1)$$

где  $[M]$  – матрица масс;  $[D]$  – матрица коэффициентов демпфирования;  $[K_e]$  – матрица упругой жесткости;  $[K_g]$  – матрица геометрической жесткости;  $[K_{ef}]$  – матрица жесткости упругого основания;

$\{\ddot{Q}(t)\}$  – вектор узловых ускорений;  $\{\dot{Q}(t)\}$  – вектор узловых скоростей;  $\{Q(t)\}$  – вектор узловых перемещений;  $\{P(t)\}$  – вектор внешних узловых сил в общей системе координат  $X, Y$ ;  $\dot{\phantom{x}}$  – дифференцирование по времени  $t$ .

Из уравнения (1) нетрудно получить матричное уравнение равновесия в общей системе координат для анализа сложного изгиба упругой системы, нагруженной поперечной нагрузкой и осевыми силами  $T$

$$([K_e] + [K_g])\{Q\} = \{P\}, \quad (2)$$

Для формирования матриц  $[K_e]$  и  $[K_g]$  балки из неоднородного материала использованы матрица упругой жесткости и матрица геометрической жесткости КЭ с 6 – ю степенями свободы. Элементы указанных матриц в местной системе координат  $\xi, \eta$  вычисляются по формулам [2]

$$[\bar{k}_e]_{6 \times 6} = [B]^{-T} \left( \int_0^l [\psi_e(\xi)]^T [\bar{E}(x)] [\psi_e(\xi)] d\xi \right) [B]^{-1}; \quad (3)$$

$$[\bar{k}_g]_{6 \times 6} = [B]^{-T} \left( \int_0^l [\psi_g(\xi)]^T [S(\xi)] [\psi_g(\xi)] d\xi \right) [B]^{-1}, \quad (4)$$

где

$$[B]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{l} & 0 & 0 & \frac{1}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{3}{l^2} & -\frac{2}{l} & 0 & \frac{3}{l^2} & -\frac{1}{l} \\ 0 & \frac{2}{l^3} & \frac{1}{l^2} & 0 & -\frac{2}{l^3} & \frac{1}{l^2} \end{bmatrix};$$

$$[\psi_e(\xi)]_{2 \times 6} = \begin{bmatrix} \frac{\partial [f_u(\xi)]}{\partial \xi} & 0 \\ 0 & \frac{\partial^2 [f_v(\xi)]}{\partial \xi^2} \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$[\psi_g(\xi)]_{2 \times 6} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial^2 [f_v(\xi)]}{\partial \xi^2} \end{bmatrix}; \quad (6)$$

$$[\bar{E}(\xi)]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} E(\xi)A & 0 \\ 0 & E(\xi)J \end{bmatrix}; \quad (7)$$

$$[S(\xi)]_{2 \times 2} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & N(\xi) \end{vmatrix}. \quad (8)$$

В выражениях (5)-(8) обозначено:  $A, J$  – площадь и центральный момент инерции поперечного сечения КЭ;  $N(\xi)$  – продольная сила;  $[f_u(\xi)] = [1, \xi]$ ;  $[f_v(\xi)] = [1, \xi, \xi^2, \xi^3]$  – матрицы-строки координатных функций, аппроксимирующих осевое  $u(\xi)$  и нормальное  $v(\xi)$  перемещения поперечных сечений КЭ соответственно.

Будем предполагать, что в пределах КЭ модуль продольной упругости материала балки изменяется по линейному закону

$$E(\xi) = E_1 + \frac{E_2 - E_1}{l} \xi, \quad (9)$$

где  $E_1, E_2$  – значения модуля продольной упругости материала в сечениях левого ( $\xi=0$ ) и правого ( $\xi=l$ ) узлов КЭ,  $l$  – длина КЭ.

Предполагается также, что продольная сила в пределах КЭ может изменяться по линейному закону

$$N(\xi) = N_1 + \frac{N_2 - N_1}{l} \xi, \quad (10)$$

где  $N_1, N_2$  – значения продольной силы в сечениях левого ( $\xi=0$ ) и правого ( $\xi=l$ ) узлов КЭ.

Выражения (8) и (9) с учетом зависимостей (10) и (11) преобразуются к виду

$$[\bar{E}(\xi)]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} (E_1 + \frac{E_2 - E_1}{l} \xi)A & 0 \\ 0 & (E_1 + \frac{E_2 - E_1}{l} \xi)J \end{bmatrix}; \quad (7')$$

$$[S(\xi)]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & (N_1 + \frac{N_2 - E_1}{l} \xi) \end{bmatrix}. \quad (8')$$

Преобразование матриц жесткости КЭ (3) и (4) к общей системе координат  $X, Y$  производится по формулам

$$[k_e]_{6 \times 6} = [C]_{6 \times 6}^T [\bar{k}_e]_{6 \times 6} [C]_{6 \times 6}; \quad (11)$$

$$[k_g]_{6 \times 6} = [C]_{6 \times 6}^T [\bar{k}_g]_{6 \times 6} [C]_{6 \times 6}. \quad (12)$$

В выражениях (11) и (12) обозначено

$$[C]_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} [c]_{3 \times 3} & 0 \\ 0 & [c]_{3 \times 3} \end{bmatrix},$$

где

$$[c]_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

В выражении (13) обозначено:  $\alpha$  – угол, определяющий ориентацию местной системы координат  $\xi, \eta$  относительно общей системы координат  $X, Y$  (рис. 1).

Для иллюстрации свойств рассмотренного КЭ выполнен расчет шарнирно опертой по концам балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q$  и постоянными сжимающими осевыми силами  $T$ . Расчетная схема балки приведена на рис. 2.

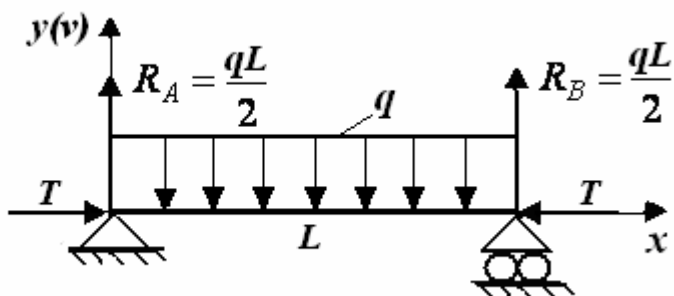


Рис. 2. Расчетная схема балки

Наибольшие прогиб  $v\left(\frac{L}{2}\right)$  и изгибающий момент  $M\left(\frac{L}{2}\right)$  для балки постоянной жесткости ( $EJ = const.$ ) могут быть вычислены по формулам [4]

$$v\left(\frac{L}{2}\right) = -\frac{5}{384} \frac{ql^4}{EJ} f_0(iu_*); \quad (14)$$

$$M\left(\frac{L}{2}\right) = \frac{ql^2}{8} \varphi_0(iu_*). \quad (15)$$

В формулах (14) и (15) обозначено:  $i = \sqrt{-1}$ ;  $f_0(iu_*)$ ,  $\varphi_0(iu_*)$  – функции И.Г. Бубнова, вычисляемые по выражениям [4]

$$f_0(iu_*) = \frac{24}{5u_*^4} \left( \frac{1}{\cos(u_*)} - \frac{u_*^2}{2} - 1 \right); \quad (16)$$

$$\varphi_0(iu_*) = \frac{2}{u_*^2} \left( \frac{1}{\cos(u_*)} - 1 \right). \quad (17)$$

В формулах (16) и (17) обозначено

$$u_* = \frac{L}{2} \beta_* = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{|T|}{EJ}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{|T|}{\dot{O}_{\dot{\delta}}}}, \quad (18)$$

где  $T_{\dot{\delta}} = \frac{\pi^2 EJ}{L^2}$  – критическая сила сжатого бруса.

В табл. 1 приведены значения относительного прогиба  $\bar{v}$  и относительного изгибающего момента  $\bar{M}$  в среднем поперечном сечении балки, вычисленные по формулам (14)-(15) и методом конечных элементов. При расчете по МКЭ балка идеализировалась 8-ю одинаковыми КЭ (длина КЭ составляла  $l = L/8$ ). Балка изготовлена из однородного материала ( $E_0 = 2$  ГПа).

Результаты численного эксперимента, выполненного методом конечных элементов (табл. 1), иллюстрируют хорошее совпадение в пределах инженерной точности с результатами известного аналитического решения (расхождение сравниваемых результатов не превышает 0,06%).

Следует отметить, что при значениях сжимающей силы  $T$ , приближающихся к критической величине  $T_{\text{ед}}$ , относительный прогиб  $\bar{v}$  и относительный изгибающий момент  $\bar{M}$  неограниченно возрастают. Это связано с тем, что рассматриваемая теория сложного изгиба основана на упрощенном дифференциальном уравнении изогнутой оси балки.

Рассмотрим ту же балку (рис. 2), но изготовленную из функционально-градиентного материала. Предположим, что модуль продольной упругости  $E(\xi)$  материала изменяется вдоль ее оси по закону

$$E(\xi) = 2 + 4 \left[ 1 - \frac{|\xi - L/2|}{L/2} \right] \text{ ГПа.} \quad (19)$$

Таблица 1

Относительный прогиб  $\bar{v}$  и относительный изгибающий момент  $\bar{M}$  в среднем поперечном сечении балки

$\frac{ T }{T_{\text{ед}}}$	$u_*$ , формула (18)	$\bar{v} = \frac{384E_0J}{5qL^4} v\left(\frac{L}{2}\right)$		$\bar{M} = \frac{8}{qL^2} M\left(\frac{L}{2}\right)$	
		формула (14)	МКЭ	формула (15)	МКЭ
0	0	-1,000	-1,000	1,000	1,000
0,2	0,702	-1,251	-1,251	1,257	1,258
0,4	0,993	-1,669	-1,668	1,686	1,684
0,6	1,217	-2,505	-2,506	2,546	2,547
0.8	1,405	-5,015	-5,018	5,125	5,123



Анализ выражения (19) показывает, что модуль продольной упругости материала изменяется вдоль оси балки по линейному закону от 2 ГПа в торцевых поперечных сечениях до 6 ГПа в среднем поперечном сечении балки.

В табл. 2 приведены значения относительного прогиба  $\bar{v}$  в среднем поперечном сечении неоднородной балки, вычисленные методом конечных элементов. Там же приведены значения относительного прогиба  $\bar{v}$ , полученные в результате расчета той же балки, изготовленной из однородного материала, для двух значений модуля продольной упругости  $E_1 = E_0 = 2$  ГПа и  $E_2 = 6$  ГПа. Значения критической силы  $T_{\text{ед}}$  для рассмотренных расчетных случаев бруса получены также методом конечных элементов [3]. Других пояснений табл. 2 не требует.

По данным табл. 2 построены графики (рис. 3), характеризующие зависимость относительного прогиба  $\bar{v}$  от величины сжимающей силы  $T$ , значения которой принимались в долях от критической силы  $T_{\text{ед}}$ .

Следует отметить, что график 2, характеризующий относительный прогиб среднего поперечного сечения неоднородной балки, располагается внутри диапазона, ограниченного графиками 1 и 3, характеризующими относительный прогиб среднего поперечного сечения однородных балок.

Таблица 2

Относительный прогиб  $\bar{v}$  в среднем поперечном сечении балки

$\frac{ T }{T_{\text{ед}}}$	$\bar{v} = \frac{384E_0J}{5qL^4} \nu \left( \frac{L}{2} \right)$					
	$E_1 = 2$ ГПа		Зависимость (19)		$E_2 = 6$ ГПа	
	сетка		сетка		сетка	
	4 КЭ	8 КЭ	4 КЭ	8 КЭ	4 КЭ	8 КЭ
0	-1,000	-1,000	-0,474	-0,474	-0,333	-0,333
0,2	-1,251	-1,251	-0,580	-0,580	-0,417	-0,417
0,4	-1,669	-1,667	-0,757	-0,757	-0,555	-0,558
0,6	-2,505	-2,505	-1,106	-1,113	-0,832	-0,834
0,8	-5,015	-5,017	-2,166	-2,180	-1,670	-1,671

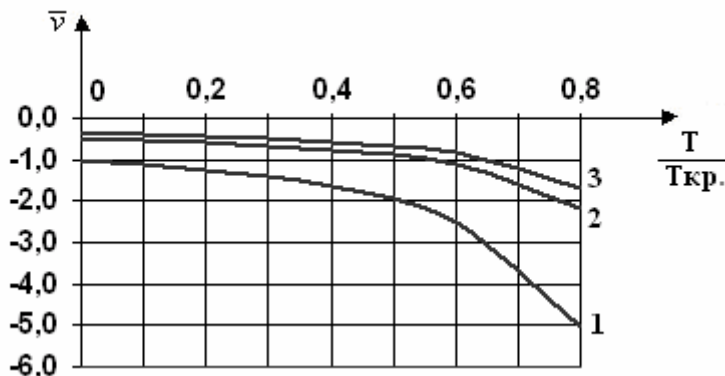


Рис.3. Зависимость относительного прогиба  $\bar{v}$  от величины сжимающей силы  $T$ :

- 1 – однородный материал ( $E = 2$  ГПа);  
2 – неоднородный материал (зависимость (19) для функции  $E$ );  
3 – однородный материал ( $E = 6$  ГПа).

**Вывод.** Результаты, приведенные в табл. 2, и графики относительного перемещения  $\bar{v}$ , изображенные на рис. 3, показывают, что величина и закон изменения по длине балки модуля продольной упругости материала  $E$  существенно влияют на ее деформированное состояние.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Антонов Б.И. Применение высокоточного треугольного конечно-элементного элемента изгибаемой пластины для решения статических и динамических задач // Сб. научн. трудов Петровской академии наук и искусств / Под ред. В.А. Коковина. – Вып. 11. – СПб.: ИК "Синтез", 2002. – С. 6-12.
2. Антонов Б.И., Удолатий В.Б. Статические и динамические задачи бруса из функционально-градиентного материала // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2011. – № 32. – С. 83-91.
3. Антонов Б.И., Удолатий В.Б. Исследование устойчивости бруса из неоднородного материала // Materiály VIII mezinárodní vědecko-praktická konference «Efektivní nástroje moderních věd – 2012». – Díl 31. Výstavba a architektura. Technické vědy: Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o. 2012. – S. 57-65.

4. *Справочник по строительной механике корабля / Г.В. Бойцов, О.М. Палий, В.А. Постнов, В.С. Чувиковский. – В 3-х т. –Т. 1. Общие понятия. Стержни. Стержневые системы и перекрытия. – Л.: Судостроение, 1982.*

*Стаття надійшла до редакції 03.10.2012*

**Рецензент** – канд. техн. наук, доцент кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Одеського національного морського університету  
**В.В. Олейніков.**

УДК 539.3

И.В. Павленко, Н.Г. Сурьянинов

ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ГРИНА  
ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ИЗГИБА ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ  
ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Разработана методика построения функции Грина при решении задачи изгиба ортотропной пластины численно-аналитическим методом граничных элементов. Приводится общий алгоритм построения функции Грина, в соответствии с которым получено ее аналитическое выражение.*

**Ключевые слова:** ортотропная пластина, функция Грина, функция Хевисайда, граничный элемент.

*Розроблено методіку побудови функції Гріна при вирішенні задачі згину ортотропної пластины чисельно-аналітичним методом граничних елементів. Наводиться загальний алгоритм побудови функції Гріна, відповідно до якого отримано її аналітичний вираз.*

**Ключові слова:** ортотропна пластина, функція Гріна, функція Хевісайда, граничний елемент.

*A method for constructing the Green's function in solving the problem of bending of orthotropic plates numerical-analytical boundary element method. Provides an algorithm for constructing the Green's function, whereby it obtained an analytical expression.*

**Keywords:** orthotropic plate, the Dirac delta function, the Heaviside function, boundary element.

**Постановка проблемы и её актуальность.** Развитие различных отраслей машиностроения, авиационно-космической техники, судостроения, строительства и целого ряда других направлений ставит задачи расчета экономичных тонкостенных систем и, в частности, пластин.

При этом на современном этапе уровень развития производства характеризуется широким внедрением новых технологий изготовления высокопрочных материалов, обладающих ортотропными (ортогонально анизотропными) свойствами.

В силу определенных проблем математического характера получить аналитическое решение дифференциального уравнения изгиба ортотропной пластины удастся не всегда. Существенную роль здесь играют условия закрепления краев пластины и локальные нагрузки. Широко применяются численные методы анализа, но здесь, как известно, нет универсального подхода.

**Цель статьи.** Задачи механики деформируемого твердого тела сводятся, как правило, к одному или нескольким дифференциальным уравнениям. Получить их решение в замкнутом виде удается далеко не всегда, поэтому используются приближенные и численные методы расчета.

Одним из быстро развивающихся в последние годы является численно-аналитический метод граничных элементов (ЧА МГЭ), применение которого во многих случаях более эффективно, чем использование метода конечных элементов (МКЭ). С помощью ЧА МГЭ получены решения целого ряда задач [1, 2], однако многие вопросы остаются пока нерешенными.

В работе исследуется одна из важнейших и актуальных проблем, возникающих при использовании алгоритма ЧА МГЭ [1] для решения задач изгиба ортотропных пластин – построение функции Грина.

**Изложение основного материала исследования.** Основное разрешающее уравнение изгиба ортотропной пластины (уравнение Жермен-Лагранжа) имеет вид

$$D_1 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial y^4} = q(x, y), \quad (1)$$

где жесткости определяются формулами

$$D_1 = \frac{E_x h^3}{12(1 - \mu_{xy} \mu_{yx})}; \quad D_2 = \frac{E_y h^3}{12(1 - \mu_{xy} \mu_{yx})};$$
$$D_3 = D_1 \mu_{xy} + 2D_k = D_2 \mu_{yx} + 2D_k; \quad D_k = \frac{Gh^3}{12};$$

$E_x, E_y$  – модули упругости в направлениях осей;

$G$  – модуль сдвига;

$h$  – толщина пластины;

$\mu_{xy}, \mu_{yx}$  – коэффициенты Пуассона.

Используя метод Канторовича-Власова, уравнение (1) можно привести к линейному неоднородному дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами, общим решением которого будет

$$Y = C_1 y_1(y) + C_2 y_2(y) + C_3 y_3(y) + C_4 y_4(y) + y_*(y). \quad (2)$$

Частное решение  $y_*(y)$  в (2) зависит от вида внешней нагрузки; его удобно представить как

$$y_*(y) = \int_0^y G(y, \xi) q(\xi) d\xi,$$

где  $G(y, \xi) = Y(y, \xi)H(y - \xi)$  – функция Грина;

$H(y - \xi)$  – функция Хевисайда.

Если заранее оговорить, что  $y > \xi$ , то  $H(y - \xi) = 1$  и тогда

$$Y(y, \xi) = C_1(\xi)y_1(y) + C_2(\xi)y_2(y) + C_3(\xi)y_3(y) + C_4(\xi)y_4(y). \quad (3)$$

Константы  $C_i(\xi)$  определяются из условия

$$\begin{vmatrix} y_1(\xi) & y_2(\xi) & y_3(\xi) & y_4(\xi) \\ y_1'(\xi) & y_2'(\xi) & y_3'(\xi) & y_4'(\xi) \\ y_1''(\xi) & y_2''(\xi) & y_3''(\xi) & y_4''(\xi) \\ y_1'''(\xi) & y_2'''(\xi) & y_3'''(\xi) & y_4'''(\xi) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/a_0 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Здесь  $a_0 = 1$  – коэффициент при старшей степени дифференциального уравнения задачи.

Решение линейного неоднородного дифференциального уравнения задачи зависит от корней соответствующего ему характеристического уравнения [1]

$$K_{1-4} = \pm \sqrt{r^2 \pm \sqrt{r^4 - s^4}}. \quad (5)$$

Рассмотрим вывод формулы для функции Грина применительно к варианту корней характеристического уравнения, который соответствует свободному опиранию продольных кромок пластины, т.е.

$$y_1 = sh\lambda_2\xi; \quad y_2 = ch\lambda_1\xi; \quad y_3 = sh\lambda_1\xi; \quad y_4 = ch\lambda_2\xi; \quad (6)$$

где  $\lambda_1 = \sqrt{r^2 + \sqrt{r^4 - s^4}}$ ;  $\lambda_2 = \sqrt{r^2 - \sqrt{r^4 - s^4}}$ ;  $|s| < |r|$ .

Перепишем (4) в виде

$$\begin{cases} y_1C_1 + y_2C_2 + y_3C_3 + y_4C_4 = 0; \\ y_1'C_1 + y_2'C_2 + y_3'C_3 + y_4'C_4 = 0; \\ y_1''C_1 + y_2''C_2 + y_3''C_3 + y_4''C_4 = 0; \\ y_1'''C_1 + y_2'''C_2 + y_3'''C_3 + y_4'''C_4 = 1, \end{cases}$$

или, с учетом (6),

$$\begin{cases} y_1 C_1 + y_2 C_2 + y_3 C_3 + y_4 C_4 = 0; \\ \lambda_2 y_4 C_1 + \lambda_1 y_3 C_2 + \lambda_1 y_2 C_3 + \lambda_2 y_1 C_4 = 0; \\ \lambda_2^2 y_1 C_1 + \lambda_1^2 y_2 C_2 + \lambda_1^2 y_3 C_3 + \lambda_2^2 y_4 C_4 = 0; \\ \lambda_2^3 y_4 C_1 + \lambda_1^3 y_3 C_2 + \lambda_1^3 y_2 C_3 + \lambda_2^3 y_1 C_4 = 1. \end{cases} \quad (7)$$

Решая эту систему уравнений, получим

$$\begin{cases} C_1 = \frac{y_4}{\lambda_2(y_1^2 - y_4^2)(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)}; \\ C_2 = -\frac{y_3}{\lambda_1(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_2^2 - y_3^2)}; \\ C_3 = \frac{y_2}{\lambda_1(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_2^2 - y_3^2)}; \\ C_4 = -\frac{y_1}{\lambda_2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_1^2 - y_4^2)}. \end{cases}$$

Здесь  $y_1, y_2, y_3, y_4$  – это функции от  $\xi$ .

Подставляя в (3) значения констант  $C_1 - C_4$ , получим

$$\begin{aligned} G(y, \xi) &= \frac{y_4(\xi)}{\lambda_2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_1^2(\xi) - y_4^2(\xi))} y_1(y) - \frac{y_3(\xi)y_2(y)}{\lambda_1(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_2^2(\xi) - y_3^2(\xi))} + \\ &+ \frac{y_2(\xi)y_3(y)}{\lambda_1(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_2^2(\xi) - y_3^2(\xi))} - \frac{y_1(\xi)y_4(y)}{\lambda_2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_1^2(\xi) - y_4^2(\xi))} = \\ &= \frac{1}{\lambda_2(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_1^2(\xi) - y_4^2(\xi))} [y_1(y)y_4(\xi) - y_1(\xi)y_4(y)] - \\ &- \frac{1}{\lambda_1(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)(y_2^2(\xi) - y_3^2(\xi))} [y_2(y)y_3(\xi) - y_2(\xi)y_3(y)] = \\ &= \frac{1}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2} \left[ \frac{1}{\lambda_2} \frac{sh\lambda_2 y ch\lambda_2 \xi - sh\lambda_2 \xi ch\lambda_2 y}{sh^2 \lambda_2 \xi - ch^2 \lambda_2 \xi} + \frac{1}{\lambda_1} \frac{ch\lambda_1 \xi sh\lambda_1 y - ch\lambda_1 y sh\lambda_1 \xi}{ch^2 \lambda_1 \xi - sh^2 \lambda_1 \xi} \right] = \\ &= \frac{1}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2} \left[ \frac{1}{\lambda_1} sh\lambda_1(y - \xi) - \frac{1}{\lambda_2} sh\lambda_2(y - \xi) \right]. \end{aligned}$$

При построении полной системы фундаментальных функций [3] было получено

$$A_{14} = -\frac{1}{A(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)} \left( \frac{1}{\lambda_2} \Phi_1 - \frac{1}{\lambda_1} \Phi_3 \right) = -\frac{1}{A} \frac{1}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2} \left( \frac{1}{\lambda_1} \Phi_3 - \frac{1}{\lambda_2} \Phi_1 \right),$$

следовательно,

$$G(y - \xi) = -AA_{14}(y - \xi), \quad (8)$$

где  $A$  – коэффициент, вычисленный в [3].

**Заключение.** Можно убедиться, что построенная  $G(y, \xi)$  функция обладает всеми свойствами, характерными для функции Грина:

а)  $G(y, \xi) = 0$  при  $y < \xi$ ;

б)  $G(y, \xi)$  как функция от  $y$  при фиксированном  $\xi$  в интервале  $(0, y_{cp})$ , за исключением точки  $y = \xi$ , удовлетворяют дифференциальному уравнению задачи;

в)  $G(y, \xi)$  и ее производные по  $y$  до  $n$ -го порядка включительно непрерывны для  $y \in (0, y_{cp})$ , за исключением точки  $y = \xi$ , в которой производные по  $y$  непрерывны лишь до  $(n-2)$  порядка, а  $(n-1)$  производная имеет разрыв I рода со скачком

$$\left. \frac{d^{(n-1)}G(y, \xi)}{dy^{(n-1)}} \right|_{y=\xi+0} - \left. \frac{d^{(n-1)}G(y, \xi)}{dy^{(n-1)}} \right|_{y=\xi-0} = \frac{1}{a_0};$$

г) при  $y = \xi$ ,

$$G(\xi, \xi) = G'(\xi, \xi) = \dots = G^{(n-2)}(\xi, \xi) = 0; \quad G^{(n-1)}(\xi, \xi) = \frac{1}{a_0} = 1;$$

д)  $G(y, \xi)$  для дифференциального уравнения задачи (а это дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами) зависит только от разности  $(y - \xi)$ .

Выражение (8) будет использовано в дальнейшем при построении вектора нагрузки в соответствии с алгоритмом численно-аналитического метода граничных элементов.



### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дащенко А.Ф. Численно-аналитический метод граничных элементов / А.Ф. Дащенко, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. – Одесса: ВМВ, 2010. – В 2-х т. – Т.1. – 416 с. – Т.2. – 512 с.
2. Оробей В.Ф. Практикум по решению краевых задач механики: Учебн. пособие для студентов технических специальностей / В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. – Одесса: Астропринт, 2011. – 408 с.
3. Максимович О.В. Определение фундаментальных функций в задаче изгиба ортотропной пластины / О.В. Максимович, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. – Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: ХАИ, 2011. – Вып.3(80). – С.37-42.

*Стаття надійшла до редакції 18.09.12*

**Рецензент** – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теорія механізмів і машин й деталей машин» Одеського національного морського університету **А.В. Коноплев**.

УДК 539.3

Н.Г. Сурьянинов, Е.В. Слабенко

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ  
В ЗАДАЧЕ ИЗГИБА ДЛИННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ**

*Рассмотрено построение фундаментальных решений в задаче изгиба длинных цилиндрических оболочек. Используется численно-аналитический метод граничных элементов. Исходная двумерная задача сводится к одномерной при помощи вариационного метода Канторовича-Власова. Получена полная система фундаментальных функций задачи.*

**Ключевые слова:** цилиндрическая оболочка, фундаментальные функции, метод Канторовича-Власова, метод граничных элементов

*Розглянуто побудову фундаментальних рішень в завданні вигину довгих циліндрових оболонок. Використовується чисельно-аналітичний метод граничних елементів. Вихідна двовимірна задача зводиться до одновимірної за допомогою варіаційного методу Канторовіча-Власова. Отримано повну систему фундаментальних функцій завдання.*

**Ключові слова:** циліндрична оболонка, фундаментальні функції, метод Канторовіча-Власова, метод граничних елементів

*The construction of fundamental decisions is considered in the task of bend of long cylindrical shells. The numerical-analytical boundary elements method is used. An initial two-dimensional task is taken to unidimensional through a variation method Kantorovich-Vlasova. The complete system of fundamental functions of task is got.*

**Keywords:** cylindrical shell, fundamental functions, method of Kantorovich-Vlasova, boundary elements method

**Постановка проблемы и её актуальность.** Конструкции в форме цилиндрических оболочек находят широкое применение в различных областях техники – судостроении, строительстве, машиностроении и многих других. Методы расчета оболочек разработаны значительно хуже, чем методы расчета стержневых систем и пластин, что объясняется сложностью конструкции и соответствующего математического аппарата, используемого для описания напряжённо деформированного состояния оболочки. Поэтому разработка новых подходов к расчету оболочек всегда представляет большой интерес.

**Целью настоящей статьи** является применение численно-аналитического метода граничных элементов к расчёту цилиндрических оболочек.

**Изложение основного материала исследования.** Напряженное состояние цилиндрической оболочки и соответствующая теория ее расчета существенно зависят от длины оболочки. В случае длинной оболочки, опертой по криволинейным краям и нагруженной произвольной плавно изменяющейся нагрузкой, ее напряженное состояние близко к балочному. При неравномерном распределении нагрузки вдоль оболочки и по сечению такой подход дает неверные результаты, и нужно учитывать деформацию контура. Это относится и к случаю закрепления продольных краев оболочки.

В.З. Власов предложил теорию расчета длинных цилиндрических оболочек, которая получила название полумоментной [1, 2]. В соответствии с этой моделью оболочка состоит из бесчисленного множества поперечных изгибаемых элементарных полосок, связанных между собой системой стержней с шарнирными соединениями (рис. 1). Каждый такой стержень может передавать только нормальные  $N_1$  и сдвигающие  $S$  усилия. Изгибающим моментом в продольном направлении, поперечной силой и крутящим моментом можно пренебречь, поэтому вектор состояния такой оболочки  $\bar{P}$  представляется в виде

$$\bar{P}^T = \|W, W', M, Q, S, N, U, V\|. \quad (1)$$

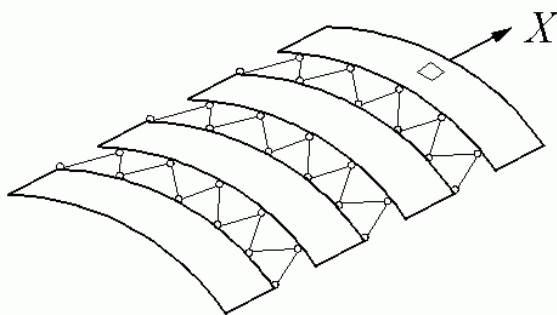
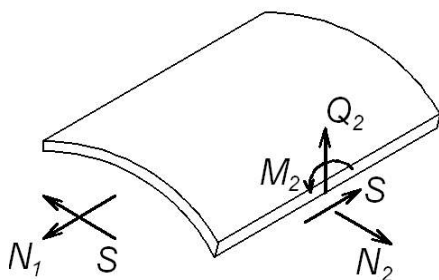


Рис. 1. Модель В.З. Власова

Всего в векторе состояния (1) будут 4 усилия и 4 перемещения (рис. 2).

С учетом сказанного упрощаются все уравнения общей теории оболочек, и в результате приходим к основному разрешающему уравнению задачи

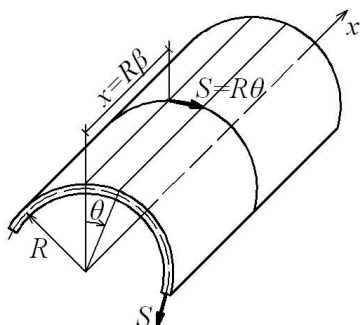
$$\left( \frac{\partial^8}{\partial \theta^8} + 2 \frac{\partial^6}{\partial \theta^6} + \frac{\partial^4}{\partial \theta^4} \right) F + \frac{12R^2}{h^2} \frac{\partial^4 F}{\partial \beta^4} = 0, \quad (2)$$



*Рис. 2. Усилия и перемещения в элементе оболочки*

где  $F$  – новая функция (аналог функции напряжений в теории пластин), через которую выражаются все параметры НДС оболочки,  $\theta$  – безразмерная координата (рис. 3)

$$\beta = x/R; \quad \theta = s/R.$$



*Рис. 3. Используемая система координат*

Для решения задачи будем использовать численно-аналитический метод граничных элементов (ЧА МГЭ) [3, 4]. Эта задача является двумерной, а в ЧА МГЭ пластины и оболочки рассматриваются в виде обобщенных одномерных модулей, поэтому к уравнению (2) мы применили вариационный метод Канторовича-Власова, в результате чего получено дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами

$$Y^{VI}(\theta) + 2Y^{IV}(\theta) + Y^{II}(\theta) + \frac{12R^2\lambda^4}{h^2}Y(\theta) = 0. \quad (3)$$

Здесь  $\lambda$  – некоторый параметр, связанный с частотой собственных колебаний; в задаче об оболочке

$$\lambda = \frac{Rm}{l},$$

где  $h$  и  $l$  – толщина и длина оболочки;

$R$  – радиус оболочки;

$m$  – характеристическое число, определяемое при постановке граничных условий.

Характеристическое уравнение для (3) имеет вид

$$t^8 + 2t^6 + t^4 + k = 0, \quad (4)$$

где  $k = \frac{12R^2\lambda^4}{h^2}$ .

Характеристическое уравнение (4) имеет 8 корней

$$t_{1-4} = \pm\alpha_1 \pm i\beta_1; \quad t_{5-8} = \pm\alpha_2 \pm i\beta_2. \quad (5)$$

Функцию  $Y(\theta)$  запишем в виде

$$Y(\theta) = C_1\Phi_1 + C_2\Phi_2 + C_3\Phi_3 + C_4\Phi_4 + \\ + C_5\Phi_5 + C_6\Phi_6 + C_7\Phi_7 + C_8\Phi_8, \quad (6)$$

где  $\Phi_1 - \Phi_8$  – гиперболо-тригонометрические функции

$$\begin{cases} \Phi_1 = ch\alpha_1 y \sin \beta_1 y; & \Phi_2 = ch\alpha_1 y \cos \beta_1 y; \\ \Phi_3 = sh\alpha_1 y \cos \beta_1 y; & \Phi_4 = sh\alpha_1 y \sin \beta_1 y; \\ \Phi_5 = ch\alpha_2 y \sin \beta_2 y; & \Phi_6 = ch\alpha_2 y \cos \beta_2 y; \\ \Phi_7 = sh\alpha_2 y \cos \beta_2 y; & \Phi_8 = sh\alpha_2 y \sin \beta_2 y. \end{cases} \quad (7)$$

Константы  $C_1 - C_8$  определим из соотношения

$$\overline{\Phi}_i(0)\vec{C}_i = \vec{P}_i(0), \quad i = 1, 2, \dots, 8. \quad (8)$$

Раскрывая (8), имеем восемь алгебраических уравнений, образующих две независимые системы относительно наборов констант с четными и нечетными индексами. В коэффициентах систем задействованы функции  $\Phi_1 - \Phi_8$  и их производные до седьмого порядка включительно, поэтому введем дополнительные обозначения, с учетом которых системы уравнений записываются в виде

$$\begin{cases} H_{21}C_1 + H_{23}C_3 + H_{25}C_5 + H_{27}C_7 = W'_0; \\ H_{41}C_1 + H_{43}C_3 + H_{45}C_5 + H_{47}C_7 = Q_0; \\ H_{51}C_1 + H_{53}C_3 + H_{55}C_5 + H_{57}C_7 = S_0; \\ H_{81}C_1 + H_{83}C_3 + H_{85}C_5 + H_{87}C_7 = V_0. \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} H_{12}C_2 + H_{14}C_4 + H_{16}C_6 + H_{18}C_8 = W_0; \\ H_{32}C_2 + H_{34}C_4 + H_{36}C_6 + H_{38}C_8 = M_0; \\ H_{62}C_2 + H_{64}C_4 + H_{66}C_6 + H_{68}C_8 = N_0; \\ H_{72}C_2 + H_{74}C_4 + H_{76}C_6 + H_{78}C_8 = U_0, \end{cases} \quad (10)$$

ГДЕ

$$\begin{aligned} H_{12} &= (\alpha_1^4 - 6\alpha_1^2\beta_1^2 + \beta_1^4); \quad H_{14} = 4\alpha_1\beta_1(\alpha_1^2 - \beta_1^2); \\ H_{16} &= (\alpha_2^4 - 6\alpha_2^2\beta_2^2 + \beta_2^4); \quad H_{18} = 4\alpha_2\beta_2(\alpha_2^2 - \beta_2^2); \\ H_{21} &= \beta_1(5\alpha_1^4 - 10\alpha_1^2\beta_1^2 + \beta_1^4); \quad H_{23} = \alpha_1(\alpha_1^4 - 10\alpha_1^2\beta_1^2 + 5\beta_1^4); \\ H_{25} &= \beta_2(5\alpha_2^4 - 10\alpha_2^2\beta_2^2 + \beta_2^4); \quad H_{27} = \alpha_2(\alpha_2^4 - 10\alpha_2^2\beta_2^2 + 5\beta_2^4); \\ H_{32} &= -\frac{D}{R^2}(\alpha_1^6 + \alpha_1^4 - 15\alpha_1^4\beta_1^2 - 6\alpha_1^2\beta_1^2 + 15\alpha_1^2\beta_1^4 + \beta_1^4 - \beta_1^6); \\ H_{34} &= -\frac{D}{R^2} \cdot 2\alpha_1\beta_1(3\alpha_1^4 - 10\alpha_1^2\beta_1^2 + 3\beta_1^4 + 2\alpha_1^2 - 2\beta_1^2); \\ H_{36} &= -\frac{D}{R^2}(\alpha_2^6 + \alpha_2^4 - 15\alpha_2^4\beta_2^2 - 6\alpha_2^2\beta_2^2 + 15\alpha_2^2\beta_2^4 + \beta_2^4 - \beta_2^6); \\ H_{38} &= -\frac{D}{R^2} 2\alpha_2\beta_2(3\alpha_2^4 - 10\alpha_2^2\beta_2^2 + 3\beta_2^4 + 2\alpha_2^2 - 2\beta_2^2); \\ H_{41} &= \frac{D}{R^3} \cdot \beta_1(7\alpha_1^6 - 35\alpha_1^4\beta_1^2 + 21\alpha_1^2\beta_1^4 - \beta_1^6 + 5\alpha_1^4 - 10\alpha_1^2\beta_1^2 + \beta_1^4); \\ H_{43} &= \frac{D}{R^3} \cdot \alpha_1(\alpha_1^6 - 21\alpha_1^4\beta_1^2 + 35\alpha_1^2\beta_1^4 - 7\beta_1^6 + \alpha_1^4 - 10\alpha_1^2\beta_1^2 + 5\beta_1^4); \\ H_{45} &= \frac{D}{R^3} \cdot \beta_2(7\alpha_2^6 - 35\alpha_2^4\beta_2^2 + 21\alpha_2^2\beta_2^4 - \beta_2^6 + 5\alpha_2^4 - 10\alpha_2^2\beta_2^2 + \beta_2^4); \\ H_{47} &= \frac{D}{R^3} \cdot \alpha_2(\alpha_2^6 - 21\alpha_2^4\beta_2^2 + 35\alpha_2^2\beta_2^4 - 7\beta_2^6 + \alpha_2^4 - 10\alpha_2^2\beta_2^2 + 5\beta_2^4); \\ H_{51} &= \beta_1 \frac{Eh}{R}; \quad H_{53} = \alpha_1 \frac{Eh}{R}; \quad H_{55} = \beta_2 \frac{Eh}{R}; \quad H_{57} = \alpha_2 \frac{Eh}{R}; \\ H_{62} &= -\frac{Eh}{R}[a + \alpha_1^4 - 6\alpha_1^2\beta_1^2 + \beta_1^4 + b(\alpha_1^6 - 15\alpha_1^4\beta_1^2 + 15\alpha_1^2\beta_1^4 - \beta_1^6)]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{64} &= -\frac{Eh}{R} [4\alpha_1\beta_1(\alpha_1^2 - \beta_1^2) + 2b\alpha_1\beta_1(3\alpha_1^4 - 10\alpha_1^2\beta_1^2 + 3\beta_1^4)]; \\
 H_{66} &= -\frac{Eh}{R} [a + \alpha_2^4 - 6\alpha_2^2\beta_2^2 + \beta_2^4 + b(\alpha_2^6 - 15\alpha_2^4\beta_2^2 + 15\alpha_2^2\beta_2^4 - \beta_2^6)]; \\
 H_{68} &= -\frac{Eh}{R} [4\alpha_2\beta_2(\alpha_2^2 - \beta_2^2) + 2b\alpha_2\beta_2(3\alpha_2^4 - 10\alpha_2^2\beta_2^2 + 3\beta_2^4)]; \\
 H_{72} &= -(\alpha_1^2 - \beta_1^2); \quad H_{74} = -2\alpha_1\beta_1; \quad H_{76} = -(\alpha_2^2 - \beta_2^2); \quad H_{78} = -2\alpha_2\beta_2; \\
 H_{81} &= \beta_1(3\alpha_1^2 - \beta_1^2); \quad H_{83} = \alpha_1(\alpha_1^2 - 3\beta_1^2); \quad H_{85} = \beta_2(3\alpha_2^2 - \beta_2^2); \\
 H_{87} &= \alpha_2(\alpha_2^2 - 3\beta_2^2).
 \end{aligned}$$

Коэффициенты  $H_{ij}$  систем (9),(10) представляют собой арифметические операторы, которые легко программируются и вычисляются, но правые части этих систем – параметры вектора состояния оболочки. В соответствии с алгоритмом ЧА МГЭ [3], константы необходимо выразить в общем виде, как функцию параметров вектора состояния, что позволит получить аналитические выражения фундаментальных функций.

Это достигается решением систем (9) и (10) методом определителей.

Рассмотрим, например, решение системы (9).

Будем считать, что главный определитель этой системы вычислен (это можно сделать в любой соответствующей математической программе) т.е. представляет собой известное число, которое обозначим  $\Delta_{неч}$ . Определители  $\Delta_{C_1}$ ,  $\Delta_{C_3}$ ,  $\Delta_{C_5}$ ,  $\Delta_{C_7}$  также можно вычислить, раскладывая их по столбцу параметров правой части (9).

Решение системы (9) принимает вид

$$\left\{ \begin{aligned}
 C_1 &= \frac{1}{\Delta_{неч}} (\Delta_{W'_0}^{(1)} W'_0 - \Delta_{Q_0}^{(1)} Q_0 + \Delta_{S_0}^{(1)} S_0 - \Delta_{V_0}^{(1)} V_0); \\
 C_3 &= \frac{-1}{\Delta_{неч}} (\Delta_{W'_0}^{(3)} W'_0 - \Delta_{Q_0}^{(3)} Q_0 + \Delta_{S_0}^{(3)} S_0 - \Delta_{V_0}^{(3)} V_0); \\
 C_5 &= \frac{1}{\Delta_{неч}} (\Delta_{W'_0}^{(5)} W'_0 - \Delta_{Q_0}^{(5)} Q_0 + \Delta_{S_0}^{(5)} S_0 - \Delta_{V_0}^{(5)} V_0); \\
 C_7 &= \frac{-1}{\Delta_{неч}} (\Delta_{W'_0}^{(7)} W'_0 - \Delta_{Q_0}^{(7)} Q_0 + \Delta_{S_0}^{(7)} S_0 - \Delta_{V_0}^{(7)} V_0).
 \end{aligned} \right. \quad (11)$$

Аналогичным образом подойдем к определению набора констант  $C_2, C_4, C_6, C_8$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} C_2 = \frac{1}{\Delta_{чѐм}} (\Delta_{W_0}^{(2)} W_0 - \Delta_{M_0}^{(2)} M_0 + \Delta_{N_0}^{(2)} N_0 - \Delta_{U_0}^{(2)} U_0); \\ C_4 = \frac{-1}{\Delta_{чѐм}} (\Delta_{W_0}^{(4)} W_0 - \Delta_{M_0}^{(4)} M_0 + \Delta_{N_0}^{(4)} N_0 - \Delta_{U_0}^{(4)} U_0); \\ C_6 = \frac{1}{\Delta_{чѐм}} (\Delta_{W_0}^{(6)} W_0 - \Delta_{M_0}^{(6)} M_0 + \Delta_{N_0}^{(6)} N_0 - \Delta_{U_0}^{(6)} U_0); \\ C_8 = \frac{-1}{\Delta_{чѐм}} (\Delta_{W_0}^{(8)} W_0 - \Delta_{M_0}^{(8)} M_0 + \Delta_{N_0}^{(8)} N_0 - \Delta_{U_0}^{(8)} U_0). \end{array} \right. \quad (12)$$

Переходим к определению фундаментальных ортонормированных функций.

$$W = A_{11}W_0 + A_{12}W'_0 + A_{13}M_0 + A_{14}Q_0 + A_{15}S_0 + A_{16}N_0 + A_{17}U_0 + A_{18}V_0. \quad (13)$$

С другой стороны

$$\begin{aligned} W = Y^{IV} = & C_1\Phi_1^{IV} + C_2\Phi_2^{IV} + C_3\Phi_3^{IV} + C_4\Phi_4^{IV} + C_5\Phi_5^{IV} + \\ & + C_6\Phi_6^{IV} + C_7\Phi_7^{IV} + C_8\Phi_8^{IV}. \end{aligned} \quad (14)$$

Подставим значения констант (11), (12) в выражение (14) и перегруппируем его относительно параметров вектора состояния. Учитывая (13), коэффициенты при этих параметрах составят первые восемь фундаментальных функций:

$$\begin{aligned} A_{11} = & \frac{1}{\Delta_{чѐм}} [(H_{12}\Phi_2 - H_{14}\Phi_4)\Delta_{W_0}^{(2)} - (H_{12}\Phi_4 + H_{14}\Phi_2)\Delta_{W_0}^{(4)} + \\ & + (H_{16}\Phi_6 - H_{18}\Phi_8)\Delta_{W_0}^{(6)} - (H_{16}\Phi_8 + H_{18}\Phi_6)\Delta_{W_0}^{(8)}]; \\ A_{12} = & \frac{1}{\Delta_{неч}} [(H_{12}\Phi_1 + H_{14}\Phi_3)\Delta_{W'_0}^{(1)} - (H_{12}\Phi_3 - H_{14}\Phi_1)\Delta_{W'_0}^{(3)} + \\ & + (H_{16}\Phi_5 + H_{18}\Phi_7)\Delta_{W'_0}^{(5)} - (H_{16}\Phi_7 - H_{18}\Phi_5)\Delta_{W'_0}^{(7)}]; \\ A_{13} = & \frac{1}{\Delta_{чѐм}} [-(H_{12}\Phi_2 - H_{14}\Phi_4)\Delta_{M_0}^{(2)} + (H_{12}\Phi_4 + H_{14}\Phi_2)\Delta_{M_0}^{(4)} - \\ & - (H_{16}\Phi_6 - H_{18}\Phi_8)\Delta_{M_0}^{(6)} + (H_{16}\Phi_8 + H_{18}\Phi_6)\Delta_{M_0}^{(8)}]; \\ A_{14} = & \frac{1}{\Delta_{неч}} [-(H_{12}\Phi_1 + H_{14}\Phi_3)\Delta_{Q_0}^{(1)} + (H_{12}\Phi_3 - H_{14}\Phi_1)\Delta_{Q_0}^{(3)} - \\ & - (H_{16}\Phi_5 + H_{18}\Phi_7)\Delta_{Q_0}^{(5)} + (H_{16}\Phi_7 - H_{18}\Phi_5)\Delta_{Q_0}^{(7)}]; \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} A_{15} &= \frac{1}{\Delta_{неч}} [(H_{12}\Phi_1 + H_{14}\Phi_3)\Delta_{S_0}^{(1)} - (H_{12}\Phi_3 - H_{14}\Phi_1)\Delta_{S_0}^{(3)} + \\ &+ (H_{16}\Phi_5 + H_{18}\Phi_7)\Delta_{S_0}^{(5)} - (H_{16}\Phi_7 - H_{18}\Phi_5)\Delta_{S_0}^{(7)}]; \\ A_{16} &= \frac{1}{\Delta_{чѐт}} [(H_{12}\Phi_2 - H_{14}\Phi_4)\Delta_{N_0}^{(2)} - (H_{12}\Phi_4 + H_{14}\Phi_2)\Delta_{N_0}^{(4)} + \\ &+ (H_{16}\Phi_6 - H_{18}\Phi_8)\Delta_{N_0}^{(6)} - (H_{16}\Phi_8 + H_{18}\Phi_6)\Delta_{N_0}^{(8)}]; \\ A_{17} &= \frac{1}{\Delta_{чѐт}} [-(H_{12}\Phi_2 - H_{14}\Phi_4)\Delta_{U_0}^{(2)} + (H_{12}\Phi_4 + H_{14}\Phi_2)\Delta_{U_0}^{(4)} - \\ &- (H_{16}\Phi_6 - H_{18}\Phi_8)\Delta_{U_0}^{(6)} + (H_{16}\Phi_8 + H_{18}\Phi_6)\Delta_{U_0}^{(8)}]; \\ A_{18} &= \frac{1}{\Delta_{неч}} [-(H_{12}\Phi_1 + H_{14}\Phi_3)\Delta_{V_0}^{(1)} + (H_{12}\Phi_3 - H_{14}\Phi_1)\Delta_{V_0}^{(3)} - \\ &- (H_{16}\Phi_5 + H_{18}\Phi_7)\Delta_{V_0}^{(5)} + (H_{16}\Phi_7 - H_{18}\Phi_5)\Delta_{V_0}^{(7)}]. \end{aligned}$$

Аналогичным образом определяются выражения остальных 56-и фундаментальных функций.

**Заключение.** Таким образом, в работе получены выражения всех фундаментальных функций задачи, которые используются для решения краевых задач изгиба длинных цилиндрических оболочек при разных граничных условиях в соответствии с алгоритмом ЧА МГЭ [3, 4].

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Власов В.З. *Общая теория оболочек и ее приложения в технике* / В.З. Власов. – М.-Л.: Гостехиздат, 1948. – 784 с.
2. Колкунов Н.В. *Основы расчета упругих оболочек* / Н.В. Колкунов. – М.: Высшая школа, 1972. – 296 с.
3. Даценко А.Ф. *Численно-аналитический метод граничных элементов* / А.Ф. Даценко, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. – Одесса: ВМВ, 2010. – В 2-х т. – Т.1. – 416 с. – Т.2. – 512 с.
4. Оробей В.Ф. *Практикум по решению краевых задач механики: Учебн. пособие для студентов технических специальностей* / В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. – Одесса: Астропринт, 2011. – 408 с.

*Стаття надійшла до редакції 17.09.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор кафедри «Автомобільний транспорт» Одеського національного політехнічного університету **В.Ф. Оробей**.

УДК 620:178.3

А.В. Коноплєв

**ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА МОДЕЛИ КРИВОЙ УСТАЛОСТИ  
НА СУММУ НАКОПЛЕННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ  
ПРИ НЕРЕГУЛЯРНОМ РЕЖИМЕ НАГРУЖЕНИЯ**

*Сделан анализ влияния модели кривой усталости на сумму накопленных повреждений, найденных с помощью линейной гипотезы суммирования повреждений. Показано, что при использовании модернизированного уравнения Вейбулла в качестве модели кривой усталости можно добиться как повышения коэффициента корреляции, так и существенно уточнить сумму накопленных повреждений.*

**Ключевые слова:** сопротивление усталости, коэффициент корреляции, линейная гипотеза накопления повреждений.

*Зроблено аналіз впливу моделі кривої втоми на суму накопчених пошкоджень, які знайдено за допомогою лінійної гіпотези підсумовування пошкоджень. Показано, що при використанні модернізованого рівняння Вейбулла в якості моделі кривої витривалості можна добитися як підвищення коефіцієнта кореляції, так й суттєво уточнити суму накопчених пошкоджень.*

**Ключові слова:** опір втоми, коефіцієнт кореляції, лінійна гіпотеза накопчення пошкоджень.

*The impact analysis of an endurance curve model on the sum of accumulated damages, found with the help of the liner hypothesis of damage summation, was done. It can be achieved both the increase of correlation coefficient and essentially make more exact the sum of the accumulated damages, using the modernized Weibull equation as an endurance curve.*

**Keywords:** endurance resistance, correlation coefficient, liner hypothesis of damage summation.

**Постановка проблемы.** При решении задач, связанных с нерегулярным режимом нагружения чаще всего используют линейную гипотезу накопления повреждений

$$a = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = 1, \quad (1)$$

где  $a$  – сумма накопленных повреждений;

$N_i$  – число циклов на  $i$ -м уровне циклических напряжений;

$N_i$  – долговечность до разрушения на  $i$ -м уровне по кривой усталости;

$K$  – число уровней напряжений.

Формула (1) выражает теоретическую суть гипотезы, однако, если говорить о практическом смысле, то её следует писать в наиболее общем виде [1]

$$a = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i} \geq 1. \quad (2)$$

Такая запись обусловлена тем, что цикловое отношение, как правило, превышает единицу, причём с существенным смещением в большую сторону  $4,0 \geq a \geq 0,25$  [1].

Значения сумм накопленных повреждений, превышающих единицу, свойственны случаям, когда нагрузка имеет тенденцию к повышению. В случае понижения нагрузки эта величина, как правило, становится меньше единицы. При стохастическом режиме нагружения значение  $a$  близко к единице и изменяется в сравнительно узком диапазоне значений от 0,6 до 1,6 [1]. Принято считать, что именно режим нагружения в большей степени, чем другие факторы, влияет на величину суммы накопленных повреждений. К числу этих факторов можно отнести размеры испытуемых объектов, материал, наличие концентраторов напряжений покрытий, упрочнения и т. д.

Несмотря на многочисленные экспериментальные исследования, направленные на проверку линейной гипотезы суммирования повреждений в настоящее время нет однозначной оценки того, как перечисленные факторы оказывают влияние на величину  $a$ . Попытки заменить линейную гипотезу другими теориями накопления повреждений привели к усложнению расчётов. В разное время были предложены нелинейные гипотезы [1], в которых для уточнения величины  $a$ , необходимо определить ряд параметров или коэффициентов, проведя соответствующие дополнительные испытания. В связи с этим в настоящее время большинство расчётов проводят на основе линейной гипотезы суммирования повреждений, резервы точности которой не исчерпаны. Таким дополнительным резервом является выбор модели кривой выносливости.

**Цель настоящего исследования** – уточнение суммы накопленных повреждений и повышение коэффициента корреляции при построении экспериментальной кривой усталости.

**Изложение основного материала исследований.** В формулах (1) и (2) величина  $N_i$  представляет собой долговечность на соответствующем уровне напряжений, а это означает, что её значение связано с выбором математической модели кривой выносливости. Для проведения сравнительного анализа выберем наиболее распространённые и чаще всего

применяемые модели – уравнение Вейбулла и степенное уравнение. Кроме того, рассмотрим также модернизированное уравнение Вейбулла, отличающееся от двух предыдущих более высоким коэффициентом корреляции [2].

$$(\sigma - \sigma_R)^{m_W} \cdot N = 10^{C_W} ; \quad (3)$$

$$\sigma^{m_C} \cdot N = 10^{C_C} ; \quad (4)$$

$$(\sigma - A)^{m'_W} \cdot N = 10^{C'_W} , \quad (5)$$

где  $\sigma$  и  $N$  – переменные значения напряжения и числа циклов до разрушения соответственно;

$\sigma_R$  – предел выносливости;

$m_W, C_W, m_C, C_C, m'_W$  и  $C'_W$  – параметры.

Решив совместно уравнения (1) и (3), (1) и (4) а также (1) и (5) для случая непрерывного увеличения нагрузки, получим соответствующие зависимости для определения сумм накопленных повреждений.

$$a_W = \frac{(\sigma_P - \sigma_R)^{m_W+1} - (\sigma_1 - \sigma_R)^{m_W+1}}{\alpha(m_W + 1)10^{C_W}} ; \quad (6)$$

$$a_C = \frac{\sigma_P^{m_C+1} - \sigma_1^{m_C+1}}{\alpha(m_C + 1)10^{C_C}} ; \quad (7)$$

$$a'_W = \frac{(\sigma_P - A)^{m'_W+1} - (\sigma_1 - A)^{m'_W+1}}{\alpha(m'_W + 1)10^{C'_W}} , \quad (8)$$

где  $a_W, a_C$  и  $a'_W$  – величины сумм накопленных повреждений соответственно для уравнений (3), (4) и (5);

$\sigma_P$  – напряжение, при котором произошло разрушение;

$\alpha = d\sigma/dN$  – скорость непрерывного увеличения нагрузки;

$\sigma_1$  – напряжение, соответствующее началу увеличения амплитуды напряжений.

Для расчёта сумм накопленных повреждений воспользуемся результатами испытаний лабораторных образцов, приведенными в работе [2].

С помощью зависимостей (6), (7) и (8) рассчитаем параметры этих уравнений, коэффициенты корреляции и значения  $a_w$ ,  $a_c$  и  $a'_w$  для образцов из стали 45 и стали 40Х, гладких и с различными концентраторами напряжений, испытанных от разных начальных уровней напряжений и при различных скоростях увеличения амплитуды напряжений (табл.1).

Таблица 1

*Расчётные значения параметров уравнений кривых выносливости, коэффициентов корреляции и сумм накопленных повреждений*

Марка стали, тип образца, параметры, коэффициент корреляции	$\alpha$ , Па/цикл	$\sigma_1$ , МПа	$\bar{a}_c$	$\bar{a}_w$	$\bar{a}'_w$	
1	2	3	4	5	6	
Сталь 45, образцы гладкие (1 тип, $\alpha_\sigma=1,029$ ), $\sigma_R=250$ МПа; $m_c=18,0832$ ; $C_c=49,7649$ ( $R^2=0,7979$ ); $m_w=2,1142$ ; $C_w=8,5882$ ; ( $R^2=0,7609$ ); $m'_w=43,4783$ ; $C'_w=128,6739$ ; $A=-400$ МПа. ( $R^2=0,8004$ ).	100	240	1,6440	1,5955	1,6264	
		270	1,7855	1,8202	1,7612	
		285	1,9455	1,8612	1,9309	
	200	225	1,2175	1,1659	1,2082	
		270	1,3823	1,2800	1,3798	
		285	1,3952	1,2441	1,3971	
Сталь 45, образцы с концентратором напряжений (2 тип, $\alpha_\sigma=1,556$ ), $\sigma_R=204,0$ МПа; $m_c=13,0208$ ; $C_c=36,6367$ ; ( $R^2=0,9342$ ); $m_w=1,3990$ ; $C_w=7,6512$ ; ( $R^2=0,8487$ ); $m'_w=30,9598$ ; $C'_w=90,9505$ ; $A=-329,0$ МПа ( $R^2=0,9346$ ).	50	180	1,1992	1,6886	1,1884	
		230	1,0715	1,4799	1,0559	
		250	0,7096	0,7928	0,7056	
	100	180	1,7991	1,9323	1,8175	
	200	180				
			2,2270	1,7998	2,3291	

Продолжение табл. 1

Сталь 45, образцы с концентратором напряжений (4 тип, $\alpha_\sigma=2,6246$ ), $\sigma_R=145,0$ МПа; $m_C=6,6445$ ; $C_C=20,9409$ ; $(R^2=0,9386)$ ; $m_W=1,8688$ ; $C_W=8,8397$ ; $(R^2=0,9510)$ ; $m'_W=1,9759$ ; $C'_W=9,0767$ ; $A=142,0$ МПа, ( $R^2=0,9511$ ).	100	120	0,7011	0,7286	0,6899	
		170	0,6626	0,7303	0,7243	
		195	0,8095	0,9181	0,9100	
		220	0,5236	0,7269	0,7247	
	200	120	0,7450	0,7801	0,7775	
		170	0,7116	0,7829	0,7775	
		195	0,6341	0,7014	0,6967	
	400	120	0,6905	0,7013	0,7006	
		170	0,7429	0,7597	0,7583	
		195	0,7074	0,7184	0,7177	
	600	120	0,7635	0,7248	0,7271	
		145	0,8454	0,7876	0,7908	
		170	0,7984	0,7550	0,7571	
195		0,7850	0,7300	0,7329		
Средние значения			1,0599	1,0882	1,0754	
Сталь 40X, образцы гладкие (1 тип, $\alpha_\sigma=1,029$ ), $\sigma_R=274,0$ МПа; $m_C=18,6567$ ; $C_C=51,8190$ ; $(R^2=0,8829)$ ; $m_W=1,9153$ ; $C_W=8,2287$ ; $(R^2=0,8701)$ ; $m'_W=8,6806$ ; $C'_W=24,0903$ ; $A=165$ МПа, ( $R^2=0,8832$ ).	50	280	3,5505	3,8193	3,5639	
		310	3,8855	3,8854	3,8596	
		320	3,4216	3,1394	3,3566	
	100	280	5,7452	4,9069	5,5225	
	200	280	5,5955	3,7037	5,0754	
	Сталь 40X, образцы с концентр. напряжений (3 тип, $\alpha_\sigma=1,7723$ ), $\sigma_R=154,0$ МПа; $m_C=7,9554$ ; $C_C=23,9960$ ; $(R^2=0,8412)$ ; $m_W=1,4695$ ; $C_W=7,9902$ ; $(R^2=0,7587)$ ; $m'_W=27,8552$ ; $C'_W=84,9666$ ; $A=-500$ МПа, ( $R^2=0,8517$ ).	50	160	0,8488	1,0989	0,8213
			180	0,9366	1,2736	0,8905
		200	200	0,6291	0,8112	0,5968

Продолжение табл. 1

Сталь 40X, образцы с кон- центр. напряжений (4 тип, $\alpha_\sigma = 2,6246$ ; $\sigma_R = 159,0$ МПа); $m_C = 7,7220$ ; $C_C = 23,0726$ ; ( $R^2 = 0,8925$ ). $m_W = 1,2847$ ; $C_W = 7,2879$ ; ( $R^2 = 0,8589$ ). $m'_W = 3,5778$ ; $C'_W = 12,3556$ ; $A = 105,0$ МПа. ( $R^2 = 0,8958$ ).	50	130	3,2834	3,6556	3,8117
		190	2,2125	2,6420	2,3259
		210	1,5504	1,6221	1,5845
	100	130	2,4496	2,6148	2,4969
	200	130	2,6501	2,5218	2,6148
Средние значения			2,8276	2,7457	2,8093

Приведенные в табл. 1 результаты расчёта показывают, что уравнения (3) и (4) могут иметь более высокие коэффициенты корреляции по отношению друг к другу, однако их значения всегда ниже, чем при использовании модернизированного уравнения Вейбулла.

Наиболее близкий к единице результат для стали 45 соответствует степенному уравнению, в тоже время для стали 40X он соответствует уравнению Вейбулла. При этом модернизированному уравнению Вейбулла в обоих случаях соответствует промежуточный результат. Из этого следует, что по близости суммы накопленных повреждений к единице нельзя судить о правильности выбора математической модели кривой усталости.

Значения погрешностей  $\delta_{R^2}$  величин  $R^2$ , а также погрешностей  $\delta_a^C$  и  $\delta_a^W$  сумм накопленных повреждений степенного уравнения и уравнения Вейбулла  $\bar{a}_C$  и  $\bar{a}_W$ , относительно значений  $\bar{a}'_W$  представлены в табл. 2.

### Выводы.

1. Данные табл. 2 показывают, что использование модернизированного уравнения Вейбулла, позволяет существенно уточнить значение суммы накопленных повреждений. Для уравнения Вейбулла, в частности это уточнение в одном случае составило 37,9 %. Для степенного уравнения оно не превысило 10,9 %, однако и такой результат можно считать существенным.

2. Значения  $\delta_{R^2}$  достигают почти 11 %, что свидетельствует о больших возможностях увеличения коэффициента корреляции за счёт использования модернизированного уравнения Вейбулла в качестве модели кривой усталости.

Таблиця 2

*Расчётные значения погрешностей величин  $\delta_{R^2}$   
и погрешностей сумм накопленных повреждений  $\delta_a^C$  и  $\delta_a^W$*

Тип образца	$\delta_{R^2}$ , %	$\delta_a^C$ , %	$\delta_a^W$ , %	Тип образца	$\delta_{R^2}$ , %	$\delta_a^C$ , %	$\delta_a^W$ , %
Сталь 45, образцы гладкие (1 тип)	4,9	0,7	-3,6	Сталь 40X, образцы гладкие (1 тип)	1,5	3,8	9,0
Сталь 45, образцы с концентратором напряжений (2 тип)	9,2	-1,3	8,4	Сталь 40X, образцы с концентратором напряжений (3 тип)	10,9	4,6	37,9
Сталь 45, образцы с концентратором напряжений (4 тип)	1,3	-3,5	0,6	Сталь 40X, образцы с концентратором напряжений (4 тип)	4,1	5,4	1,7

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. – М.: Мир, 1984. – 624 с.
2. Коноплев А.В. Повышение точности построения кривой усталости при использовании трехпараметрического уравнения Вейбулла // Вісник ОНМУ. – 2007. – № 22. – С. 131-136.

*Стаття надійшла до редакції 18.06.2012*

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія механізмів і машин та деталей машин Одеського національного морського університету **О.Г. Кібаков**.



УДК 681.518

В.В. Вычужанин

### ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

*В статье рассматриваются современное состояние теории и практики построения вентильных электроприводов регулируемой скорости на базе синхронных электрических машин с постоянными магнитами, принципы построения и программирования систем управления на ПЛИС подобными электрическими машинами.*

**Ключевые слова:** синхронные электрические машины с постоянными магнитами, электропривод, программируемые логические интегральные схемы.

*У статті розглядається сучасний стан теорії та практики побудови вентильних електроприводів регульованої швидкості на базі синхронних електричних машин з постійними магнітами, принципи побудови та програмування систем управління на ПЛІС подібними електричними машинами.*

**Ключові слова:** синхронні електричні машини з постійними магнітами, електропривод, програмовані логічні інтегральні схеми..

*This article discusses the current state of theory and practice of the construction of valve actuators on the basis of variable speed synchronous electric machine with permanent magnets, principles of construction and programming of control systems on FPGAs like electric machines.*

**Keywords:** synchronous electrical machine with permanent magnets, electric drive programmable logic integrated circuits.

**Введение.** В самом общем случае вентильным можно назвать любой электропривод, в котором регулирование режима работы электродвигателя производится с помощью управляемых вентильных (полупроводниковых) преобразователей электрической энергии: выпрямителя, импульсного регулятора постоянного тока, преобразователя частоты. В более узком, общепринятом смысле вентильный электропривод (ВЭП) или вентильный двигатель (ВД) представляет собой электромеханотронную систему (рис.1), в которой объединены синхронная электрическая машина, как правило, с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ), электронный коммутатор (ЭК), посредством которого осуществляется питание обмоток якоря машины, и система автоматического управления инвертором, оснащенная необходимыми измерительными устройствами (датчиками). Традиционно управление ключами инвертора (К1 – К6) ВЭП осуществляется в функции положения ротора синхронного двигателя.

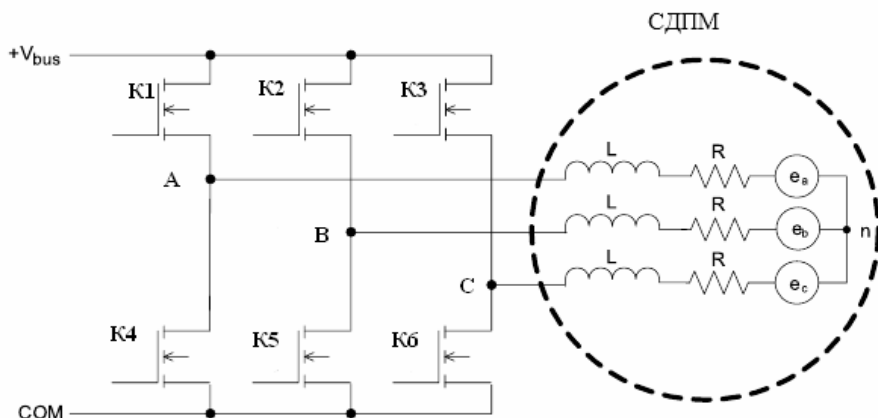


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная  
трехфазного вентильного электропривода (СДПМ и ЭК)

**Актуальность.** Постоянное удешевление магнитных материалов, а также ускоряющееся развитие аппаратной базы систем управления и устройств силовой электроники сделали возможным применение СДПМ в тех областях техники, где традиционно применялись только машины постоянного тока или специальные асинхронные двигатели. Это объясняется целым рядом конструктивных и технико-эксплуатационных преимуществ СДПМ по сравнению с другими типами электрических машин [1,2,3,4]. К таким преимуществам относятся бесконтактность и отсутствие узлов электрических машин, требующих обслуживания. Отсутствие у СДПМ скользящих электрических контактов существенно повышает их ресурс (меньший износ) и надежность. СДПМ имеют абсолютно жесткую механическую характеристику и практически неограниченный диапазон регулирования частоты вращения (1:10000 и более). Имеется возможность регулирования частоты вращения, как вниз (с постоянством длительно допустимого и максимального моментов), так и вверх от номинальной частоты (с постоянством мощности). СДПМ обладает минимальными массогабаритными показателями, токами холостого хода и более высокой производительностью, чем щеточные электродвигатели такого же размера. Большая перегрузочная способность по моменту СДПМ (кратковременно допустимый момент и ток могут превышать номинальные значения в пять и более раз). Для таких электродвигателей характерно высокое быстродействие в переходных процессах по моменту. Наилучшие энергетические показатели (КПД и коэффициент мощности). КПД СДПМ превышает 90% и незначительно отклоняется от номинального при вариациях нагрузки, в то время как у серийных асинхронных двигателей мощностью до 10 кВт максимальный КПД составляет не более 87,5% и зависит от момента.

В настоящее время наибольшее распространение получили одно-, двух- и трехфазные, реже применяются четырехфазные СДПМ. Одно- и двухфазные электродвигатели используются в приложениях, не требующих обеспечения высокой точности скорости вращения ротора при изменениях нагрузки. В ином случае применяются трехфазные электродвигатели (совместно с системами регулирования) [6,7,8,9].

По принципу действия СДПМ это обращенная машина постоянного тока с постоянными магнитами на роторе. Для индуцирования магнитного момента на роторе токи проходят через обмотки статора. Момент СДПМ образуется вследствие реакции магнитных потоков статора и ротора. Магнитный поток статора всегда стремится так развернуть ротор с постоянными магнитами, чтобы поток последнего совпал с ним по направлению. При этом с помощью датчика положения ротора электрический угол между двумя потоками в СДПМ всегда сохраняется в диапазоне  $90 \pm 30^\circ$ , что соответствует максимальному вращающему моменту.

СДПМ благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам являются наиболее перспективными электрическими машинами в диапазоне малых и средних мощностей, особенно для моментных систем электропривода. Эти качества электрической машины обуславливают применение СДПМ в различных системах и устройствах промышленного, военного, медицинского и бытового назначения, системах автоматики и телемеханики, во встраиваемых системах, авиации, офисной технике.

Управление ключами инвертора СДПМ осуществляется в функции положения ротора. При управлении скоростью СДПМ необходимо обладать точными данными о положении ротора, а также иметь возможность производить с максимальным быстродействием расчеты, определяющие величины необходимого ускорения или замедления скорости вращения ротора. Такая специфика функционирования управляемой СДПМ формирует высокие требования к производительности используемых вычислительных программируемых устройств. Однако в ряде случаев, в частности при динамически изменяющейся нагрузке на силовую передачу электродвигателя возникают технико-экономические проблемы, связанные с ограничением производительности и ростом стоимости системы управления СДПМ. Использование вместо разомкнутых синусоидальных схем электроприводов с 6-ступенчатой трапецевидной коммутацией систем контроля и управления на сигнальных процессорах (DSP) или специальных микроконтроллерах (МК) [8] не позволяет снять ограничения по производительности систем управления СДПМ. Это связано с тем, что в большинстве приложений повышенная сложность и рост рассеиваемой мощности в цепи управления СДПМ на DSP или МК отрицательно сказываются на надежности и эффективности подобных систем управления. В этой связи разработка системы управления СДПМ на базе высокопроизводительных вычислительных программируемых устройств является актуальной научно-технической задачей

**Целью работы** является разработка и исследование системы управления СДПМ на базе высокопроизводительных вычислительных программируемых устройств.

**Изложение основного материала.** В последнее время для повышения производительности и эффективности в схемах управления цепями электродвигателей всех типов все более широкое применение находят конфигурируемые системы на кристалле (cSoC), сочетающие программное и аппаратное обеспечение, обладающие высокой производительностью, пониженной потребляемой мощностью, эффективностью и надежностью. Такие системы объединяют микроконтроллер, высоковольтные аналоговые интерфейсы, а также программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС). В целях решения поставленной задачи при разработке системы управления трехфазным СДПМ предлагается использовать ПЛИС.

В системе, например, реализующей трапецеидальное управление контролируется ток электродвигателя, частота вращения, предусматривается возможность реагирования на токовую перегрузку и опрокид электродвигателя (рис.2). Обмотки управляемого электродвигателя соединены звездой и подключены к коммутатору (инвертору) – трехфазному мосту из силовых ключей К1-К6 (MOSFET-транзисторы), которыми управляет контроллер (К). Задачи контроллеру ставятся устройством управления (У), в котором формируются импульсы переменной длительности для регулирования мощности электродвигателя. В регуляторах хода СДПМ установлена ПЛИС семейства Cyclone V фирмы Altera. Блок-схема системы управления СДПМ на основе ПЛИС (рис.3) поддерживает интеграцию следующих IP блоков: транзисторное управление СДПМ; использование методов пространственно-векторной модуляции в ПЛИС для ШИМ напряжения на затворе транзисторов; интерфейс внешнего АЦП для измерения тока обратной связи с электродвигателя; датчик Холла обратной связи для передачи позиционных данных ротора электродвигателя.

Информация о положении ротора поступает к контроллеру от датчиков Холла. Переключение выходных устройств осуществляется в коммутаторе, коммутирующим обмотки электродвигателя и использующим широтно-импульсную модуляцию (ШИМ). Путем изменения длительностей импульсов, подаваемых с фиксированной частотой, напряжение на обмотках электродвигателя повышается (понижается), изменяя соответствующим образом скорость СДПМ. Контроллер обеспечивает несколько вариантов коммутации, включающих прямой ход, реверс, торможение, отключение обмоток.

На рис. 4 приведены временные диаграммы, отражающие характер изменений выходных сигналов с датчиков Холла, противо-ЭДС, а также токов в фазах при трапецеидальном управлении СДПМ.

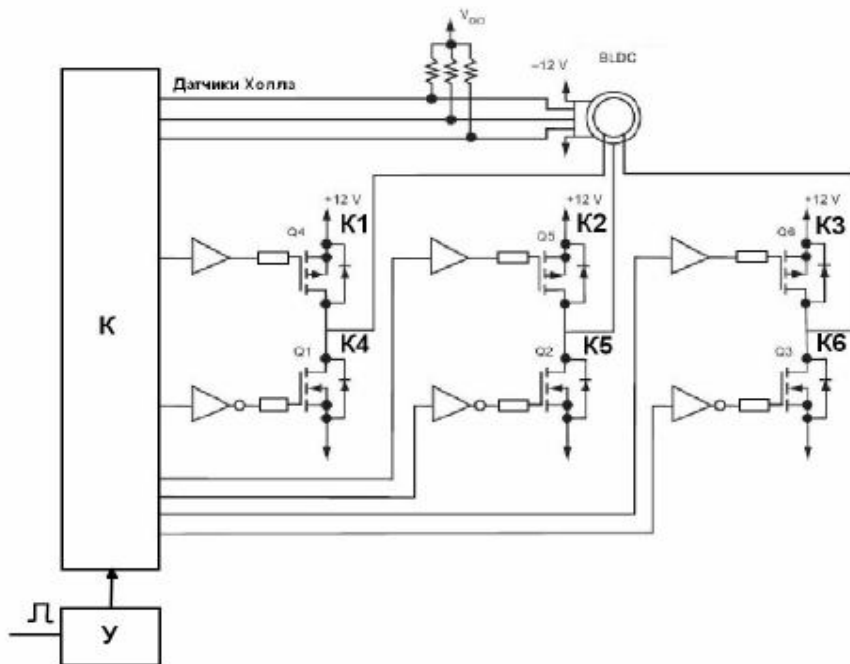


Рис.2. Система управления трехфазным СДПМ

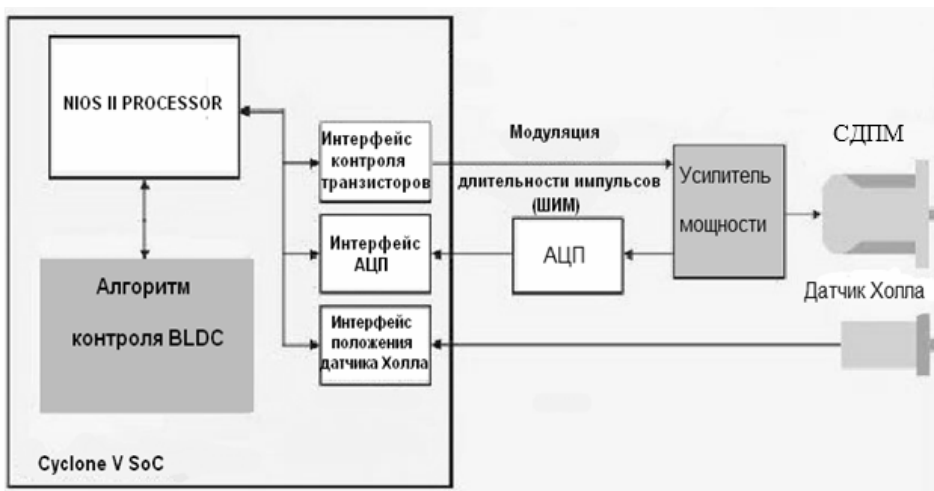
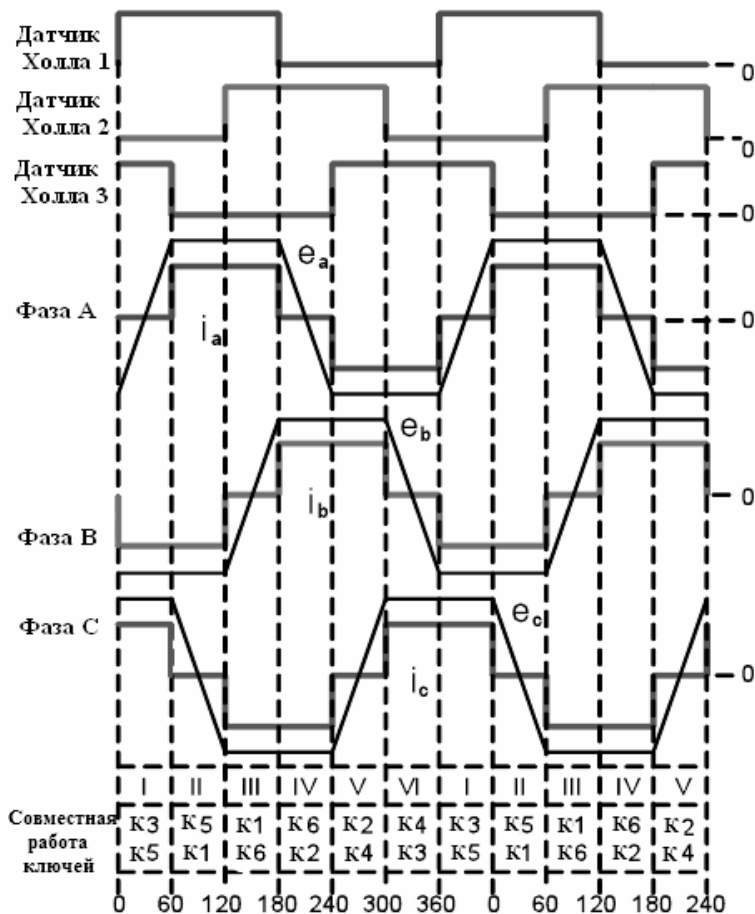


Рис.3. Блок-схема системы управления СДПМ на основе ПЛИС



*Рис.4. Временные диаграммы изменений выходных сигналов датчиков Холла, противо-ЭДС и токов в фазах*

Каждый из датчиков Холла изменяет состояние через 60 электрических градусов вращения электродвигателя. Т.е. при коммутации трехфазных СДПМ с биполярными роторами необходимо шесть этапов для осуществления одного электрического цикла. Необходимое количество электрических циклов соответствует завершению механического цикла и равно числу пар полюсов ротора [90]. В течение каждого из этих шести этапов напряжение прикладывается к двум из трех фазовых обмоток. Фазовый сдвиг напряжения имеет место в интервале 60°. При обесточенном состоянии каждой обмотки противо-ЭДС обеспечивает переходы через нулевой уровень.

Системой управления осуществляется съем сигналов с датчиков для шестиступенчатой коммутационной последовательности по часовой стрелке. Необходимые сочетания транзисторов силовых ключей K1-K6 системы управления (рис.2) приведены на рис.4.

Для реализации коммутационной последовательности предлагается использовать алгоритм, приведенный на рис.5. Указатель, используемый для управления коммутацией, может ссылаться на сочетания транзисторов силовых ключей К1-К6 системы управления с учетом выбранного направления коммутационной последовательности.

В схемах управления СДПМ успешно функционируют DSP или МК при относительно низкой скорости вращения ротора. При высоких скоростях возникает недетерминированный характер прерываний с ограничением пропускной способности микроконтроллера, что ограничивает производительность системы управления.

Использование cSoC с коммутационными функциями, реализованными в логике ПЛИС, позволяет исключить недетерминированный характер прерываний и уменьшить задержки в цепи обратной связи от датчиков положения ротора.



Рис. 5. Блок-схема алгоритма выполнения коммутации

Нижче приведено приклад файлу програмного описання в Verilog для ПЛІС реалізації часової послідовності комутації, виходячи для станих датчиків Холла, що відповідають комбінаціям транзисторів силових ключів К1-К6 системи управління, наведеної на рис.4.

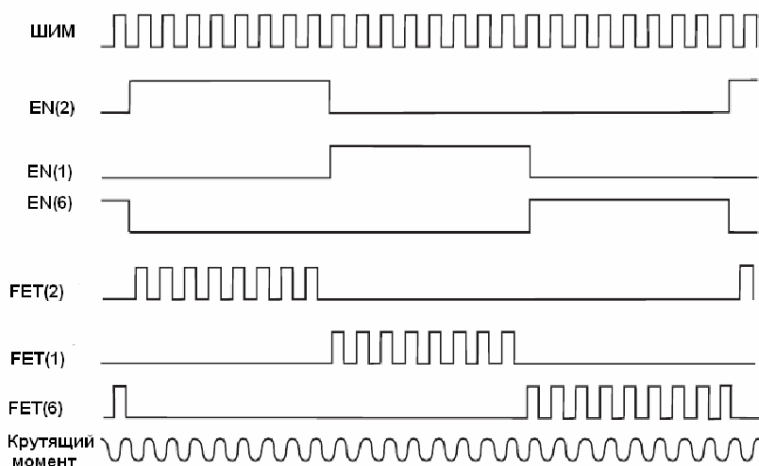
```
assign cw = (SENSOR == 3'b010) ? 6'b100010 :  
            (SENSOR == 3'b011) ? 6'b001010 :  
            (SENSOR == 3'b001) ? 6'b001100 :  
            (SENSOR == 3'b101) ? 6'b010100 :  
            (SENSOR == 3'b100) ? 6'b010001 :  
            (SENSOR == 3'b110) ? 6'b100001 : 0;
```

Для реалізації функцій RUN/STOPn, а також контролю напрямку обертання ротора даноє програмне описання може бути використано і при обертанні ротора проти годинникової стрілки. Пріоритет управління для вибору необхідного напрямку обертання може бути описано на Verilog наступним чином:

```
assign en = (RUN == 1'b0) ? 6'b000000 : // all FETS off if RUN is low  
            (DIR == 1'b0) ? cw : ccw; // otherwise select direction
```

Реалізація функції RUN вільно здійснюється в невеликій кількості елементів ПЛІС. При цьому електродвигач буде працювати в вказаному напрямку з максимальним крутячим моментом.

При регулюванні швидкості обертання електродвигача величина крутячого моменту на роторі контролюється з використанням ШІМ. З допомогою таймера (програмним забезпеченням) або лічильника (апаратним забезпеченням) здійснюється управління робочим циклом або частотою імпульсів з комутацією сигналів управління для транзисторів привода (від К1 до К3), як це показано на рис.6.



*Рис. 6. Временные диаграммы  
при ШИМ-управлении крутящим моментом*



Показанные на рис. 6 побочные эффекты при ШИМ-управлении моментом связаны с возникновением пульсации крутящего момента, а именно высоким и низким уровнями крутящего момента. Это вызывает существенные по величинам повторяющиеся давления на вал ротора, находящийся под нагрузкой. Поэтому необходимо учитывать нагрузочные характеристики системы и проводить настройку ШИМ с выбором минимальной ширины импульса (тактовой частоты) и частоты импульсов для управления крутящими моментами на валу ротора.

При реализации массивов ШИМ (рабочий цикл, сигма-дельта, мульти-фаза) также проявляются преимущества от использования ПЛИС в cSoC, позволяющие обеспечить более высокую тактовую частоту, меньшую рассеиваемую мощность, в сравнении с большинством систем управления на DSP или МК, а также устранить недетерминированное поведение. Файл стадий сигма-дельта преобразований для ПЛИС

```
always @(negedge RESETN or posedge CLK)
    if (!RESETN)
        begin
            count [12:0] <= 0;
        end
        else
            begin
                count <= count + { 1'b0, COMMAND [11:0] };
            end
```

Файл программного описания регулировки крутящего момента для схемы на полевых транзисторах (FETs) привода СДПМ, показанной на рис. 2

```
assign FETS [5] = en [5] & count [12]; // Q6
assign FETS [4] = en [4] & count [12]; // Q5
assign FETS [3] = en [3] & count [12]; // Q4
    assign FETS [2] = en [2]; // Q3
    assign FETS [1] = en [1]; // Q2
    assign FETS [0] = en[0]; // Q1
```

Использование счетчиков для вычисления периода (количество тактов) позволяет определить скорость вращения ротора СДПМ. Соответствующий файл программного описания

```
always @(posedge MCLK or negedge RESETn)
    if (!RESETn) begin
        delay1 <= 0;
        delay2 <= 0;
        mcount <= 20'hFFFFFF;
        cpp <= 20'hFFFFFF;
        stall <= 1'b1;
    end
    else begin
        delay1 <= SENSOR [0];
```

```
        delay2 <= delay1;
    if (delay1 && ~delay2)
        mcount <= 0;
    else
        mcount <= mcount + 1;
    if ((delay1 && ~delay2) || mcount == 20'hFFFFFF ) begin
        cpp <= mcount;
        if (mcount == 20'hFFFFFF ) begin
            stall <= 1'b1;
        else
            stall <= 1'b0;
        end
    end
end
```

Таким образом, применение небольшой по числу логических элементов ПЛИС, выполняющей функции контроллера с использованием обратной связи по положению ротора (сигналы с датчиков Холла), позволяет реализовать управление: RUN/STOPn; направлением вращения (DIR); 12-ти разрядной ШИМ (COMMAND) на основе крутящего момента и обеспечить коммутации 3-фазного СДПМ.

Для датчиков положения ротора использование подобной программы позволяет подсчитать количество циклов MCLK (MasterClock) за время, необходимое для осуществления ротором одного полного оборота. Так если тактовая частота MCLK 1 МГц, то значение фактической скорости ротора (U) составляет 1 мкс за электрический оборот ротора. Формула для расчета числа оборотов ротора в минуту (N)

$$N = (60 \cdot 10^6) / M \cdot U,$$

где M количество циклов электрических связей, необходимых для осуществления одного оборота ротора.

Для сокращения длительности цикла MCLK необходимо получение сигнала в контуре управления, представляющего собой разницу между фактической скоростью ротора U (сигнала обратной связи) и заданной  $U_3$  (TARGET). В Verilog подобный разностный сигнал может быть описан

```
assign diff = U - TARGET; // result is a 20-bit 'signed' value
```

Найденное разностное значение преобразуется в соответствующую команду (COMMAND) для ШИМ. Т.е. необходимо добавить COMMAND определения значений разницы в фиксированный интервал суммирования так, как это показано в приведенном ниже файле.

```
always @(negedge RESETN or posedge CLK)
    if (!RESETN)
        begin
            ucount <= 0;
            COMMAND <= 0;
```

```
        end
        else begin
            if (ucount == update_period)
                begin
                    ucount <= 0;
                    COMMAND <= COMMAND + diff;
                end
            else begin
                ucount <= ucount + 1'b1;
            end
        end
    end
```

Период обновления данных в системе управления должен выбираться так, чтобы команда изменения времени контроля поступала в систему прежде внесения других изменений. Т.е. период обновления следует изначально настроить на несколько самых малых требуемых периодов вращения ротора. В приведенном выше примере разница между фактической скоростью ротора  $U$  и заданной  $U_3$  подается на вход системы управления (при коэффициенте усиления  $K_p=1$ ). Однако может возникнуть необходимость изменить  $K_p$  в соответствии с разницей значения фактической скорости и заданной при разомкнутой ШИМ. Для разомкнутой системы коэффициент  $K_p = 1,25$ .

Ниже приведен программный файл изменения суммирования при  $K_p = 1,25$ .

```
always @(negedge RESETN or posedge CLK)
    if (!RESETN)
        begin
            ucount <= 0;
            COMMAND <= 0;
        end
    else begin
        if (ucount == update_period)
            begin
                ucount <= 0;
                COMMAND <= COMMAND + diff [19:0] + // partial sum 1.0
                    {diff [19], diff[19], diff [19:2]}; // sign extended /4
            end
        else begin
            ucount <= ucount + 1'b1;
        end
    end
end
```

Если  $K_p$  устанавливаются заниженными, то имеет место переходной процесс с продолжительным временем установления. Чтобы улучшить качественные показатели системы управления можно дополнительно

но в систему включить интегральное звено, а в некоторых случаях ввести производную в соответствии с формулой

$$Cmd(t) = Cmd(t - 1) + K_p \cdot diff(t) + K_i \cdot I(t) + K_d \cdot [(diff(t) - diff(t - 1)) / dt],$$

где  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  коэффициенты ПИД контура регулирования  
 $diff(t) = mcount - TARGET$

$I$  – нулевые начальные условия ( $I(t) = I(t - 1) + (diff(t)dt)$ ).

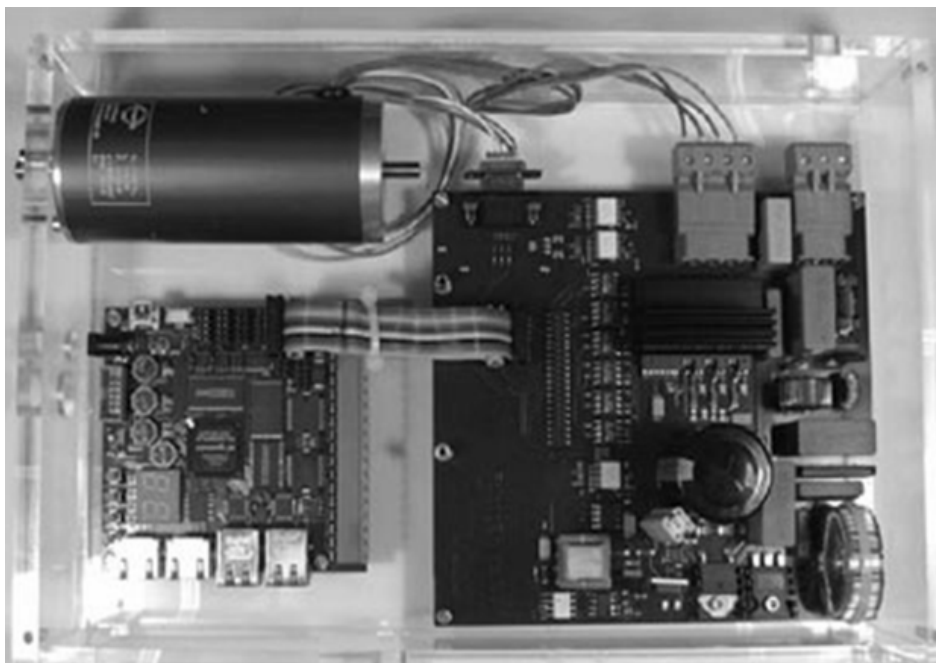
Т.е. подобная реализация в системе управления СДПМ представляет собой дискретный ПИД (пропорционально-интегрально-дифференциальный) контур регулирования. Программный файл реализации в Verilog ПИД регулирования

```
assign nextI <= I + (diff * dt);
assign ddiff <= (diff - diffq) / dt;
always @(negedge RESETN or posedge CLK)
    if (!RESETN)
        begin
            I <= 0;
            ucount <= 0;
            COMMAND <= 0;
            Diffq <= 0;
        end
        else begin
            if (ucount == update_period)
                begin
                    ucount <= 0;
                    diffq <= diff;
                    I <= nextI;
                    COMMAND <= COMMAND + (Kp * diff) + (Ki * nextI) + (Kd * ddiff);
                end
            else begin
                ucount <= ucount + 1'b1;
            end
        end
end
```

Основная проблема, связанная с реализацией ПИД управления заключается в настройке коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  и определении постоянной времени для достижения желаемого качества регулирования. Если допускается работа системы управления при колебательном переходном процессе, то можно вручную настроить коэффициенты, используя метод Циглера-Николса. Если же система не может быть настроена вручную, тогда моделированием определяются начальные значения для каждого параметра электрического цикла работы СДПМ.

Необходимо отметить, что для настройки коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  может использоваться встроенный в cSoC процессор (рис.3). Пользовательский интерфейс программного обеспечения процессора позволяет обеспечить управление направлением вращения, пусковую скорость и остановку электродвигателя. Программное обеспечение также обеспечивает возможность осуществления ручной установки коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$ , а также автоматическую настройку при реализации алгоритма контроля и динамическое регулирование цикла работы СДПМ при изменениях нагрузки.

Для проведения натурных испытаний и исследований, в том числе для настройки коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$  полезно использование оборудования FalconEye, оптимизированного для управления СДПМ с комплектом EBV Elektronik (рис.7) на базе универсальной ПЛИС Cyclone V.



*Рис. 7. Оборудование EBV Elektronik FalconEye для управления СДПМ*

Комплект позволяет реализовать управление в режиме реального времени, при VHDL контроле системы управления СДПМ на ПЛИС Cyclone V, а также обеспечить контроль программного обеспечения процессора Nios II, встроенного в ПЛИС.

В целях проверки функционирования системы управления на ПЛИС для СДПМ при создании крутящего момента на валу ротора моделированием в MATLAB/Simulink были получены результаты (рис.8), отражающие характер изменения: а) крутящего момента; б) токов электродвигателя в трех фазах; в) противо-ЭДС.

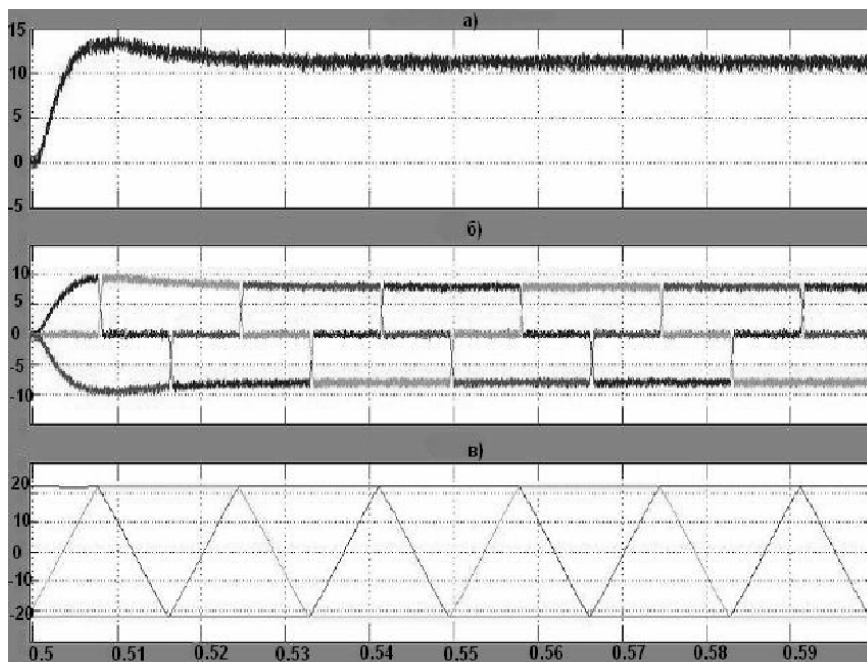


Рис. 8. Результаты моделирования управления СДПМ в MATLAB/Simulink

Как следует из полученных результатов моделирования системы управления на ПЛИС для СДПМ (при трапецеидальной коммутации электронных ключей привода) имеет место минимум пульсаций крутящего момента на валу электродвигателя. Применение ПЛИС-логики для цифровой фильтрации токовых сигналов поступающих с фазных обмоток пропорциональных рассчитанному положению ротора и его скорости делает подобную систему управления менее чувствительной к переходным процессам при изменениях нагрузки.

**Выводы.** При контроле цикла в логических вентилях ПЛИС устраняются недетерминированные задержки во времени присущие программной реализации, а значит, сводятся к минимуму задержки в цепи обратной связи, повышается производительность системы с одновременным снижением требований к пропускной способности встроенного в cSoC процессора. Кроме того управление СДПМ как системой с обратной связью можно реализовать в ПЛИС логике или в программном обеспечении. Например, отдельные цепи ПЛИС могут отслеживать токи обмоток в режиме реального времени и обеспечивать выключение цепей привода, в случаях, если ток в любой из обмоток превышает максимальный порог. Программное обеспечение используется для осуществления магнитного торможения.

Конфигурируемые системы cSoC, содержащие устройство со встроенным процессором, ПЛИС-логику и несколько АЦП позволяют

реализовать точные и высокопроизводительные системы управления. Применение запрограммированных блоков ПИД регулирования, ШИМ и коммутационных функций обеспечивает нетрудоемкую реализацию основных контуров управления в ПЛИС-логике, связав их со встроенным в cSoC процессором.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Matsui N. *Sensorless PM Brushless DC Motor Drives/IEEE Trans. Ind. Electron.* – 1996. – Vol. 43. – № 2. – P. 300-308.
2. Acarnley P.P., Watson J.F. *Review of Position-Sensorless Operation of Brushless Permanent-Magnet Machines/ IEEE Trans. Ind. Electron.* – 2006. – Vol. 53. – № 2. – P. 352-362.
3. Корельский Д.В., Потапенко Е.М., Васильева Е.В. *Обзор современных методов управления синхронными двигателями с постоянными магнитами // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління.* – 2001. – С. 15-159.
4. Padmaraja Yedamale. *Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals Application Note; AN885.* – Microchip Technology Inc.: AZ, USA, 2003.  
*Cros et al. J. A novel current control strategy in trapezoidal EMF actuators to minimize torque ripples due to phase commutation/ EPE Eur. Conf. Power Electron., Applicat. (EPE): Brighton, U.K.* – 1993. – Vol. 4. – P. 266-271.
5. McKeever G.J., Low-Cost J.W. *Sensorless Control of Brushless DC Motors with Improved Speed Range. IEEE Trans. Power Electron.* – 2004. – № 19. – P.296-302.
6. Vinatha U., Pola S., Vittal K.P. *Recent Developments in Control Schemes of BLDC Motors. In Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2006), Mumbai, India.* – 2006. – P. 477-482.
8. Shao J., Nolan D., Teissier M., Swanson D. *A Novel Microcontroller-Based Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drive for Automotive Fuel Pumps. IEEE Trans. Ind. Appl.* – 2003. – № 39. – P. 1734-1740.
7. Панкратов В.В. *Тенденции развития общепромышленных электроприводов переменного тока на основе современных устройств силовой электроники/ Силовая интеллектуальная электроника.* – 2005. – №2. – С. 27-31.

Стаття надійшла до редакції 17.09.2012

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електротехніка та електрообладнання суден» Одеського національного морського університету **В.О. Яровенко**.

УДК 621.431.74.03

В.Г. Ивановский, Е.Б. Олевинский

**РЕЗУЛЬТАТЫ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДИЗЕЛЯ «ПИЛСТИК» РС 2**

*В статье приведены результаты экспериментального исследования рабочего процесса и впрыска топлива, а также анализ эксплуатационных режимов работы дизелей.*

**Ключевые слова:** дизель, впрыск топлива, расход топлива.

*У статті наведено результати експериментального дослідження робочого процесу і вприскування палива, а також аналіз експлуатаційних режимів роботи дизелів.*

**Ключові слова:** дизель, вприскування палива, витрата палива.

*In the article is provided the results of experimental studies of the working process and the fuel injection and analysis of operational modes of diesel engines.*

**Keywords:** diesel, fuel injection, fuel consumption.

**Постановка проблемы.** Рассматривается возможность установить эксплуатационные параметры среднеоборотного дизеля, что важно для контроля их величин в эксплуатации.

В области исследования рабочих процессов дизеля, имеется достаточно научных публикаций, где рассматриваются основные направления совершенствования рабочего процесса судовых дизелей [1].

**Цель** данной статьи – анализ и практические выводы по рациональному топливоиспользованию.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** В качестве главных двигателей морских судов все чаще устанавливаются среднеоборотные дизели большой мощности, которые при малых удельном весе и габаритах обеспечивают высокую экономичность судовой энергетической установки. Наибольшее распространение среди таких двигателей получили дизели фирмы "СЕМТ – Пилстик", установленные на многих судах морского флота.

В связи с перспективностью применения дизелей "Пилстик" представляет несомненный интерес исследования их рабочего процесса.

Энергетическая установка морских судов состоит из двух дизелей марки 18 РС2.2V– 400 мощностью по 6620 кВт каждый, при частоте вращения коленчатого вала 520 мин<sup>-1</sup>.

Дизели РС2 – четырехтактные, V – образные, нереверсивные, с газотурбинным наддувом (установлено по два газотурбокомпрессора VTR – 400) число цилиндров 18, диаметр цилиндра 400 мм, ход поршня 460 мм,



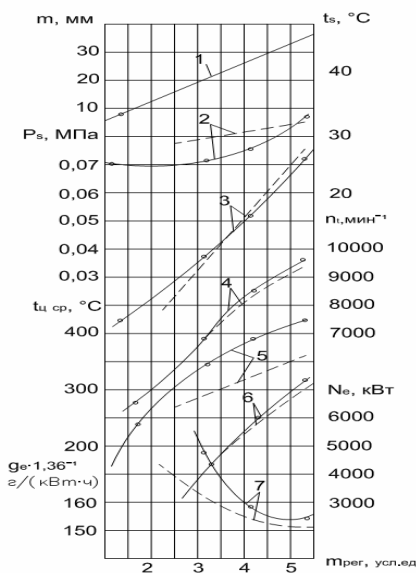
среднее эффективное давление 1,52 МПа. Двигатели работают на трех скоростных режимах:  $n = 520, 480$  и  $360 \text{ мин}^{-1}$ , которые обеспечиваются регулятором Вудвард PGE-58.

Во время испытаний двигатели эксплуатировались на смеси моторного топлива и дизельного топлива. Температура смеси перед двигателем поддерживалась около  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ , а ее плотность равнялась  $0,86 \text{ г/см}^3$ .

Исследование было проведено на третьем цилиндре двигателя. На осциллограмме записывались кривые давления газов в рабочем цилиндре и топлива в трубопроводах высокого давления и всасывания (тензодатчиками), а также кривые перемещения иглы форсунки и отметки угла п.к.в. (индуктивными датчиками).

Исследование проводилось по всем трем нагрузочным характеристикам. Более подробно результаты исследования рассмотрим на основном эксплуатационном режиме:  $n = 480 \text{ мин}^{-1}$ . Для остальных скоростных режимов отметим лишь особенности.

Изменение основных характеристик дизеля на исследованном режиме показано на рис. 1.



*Рис. 1. Характеристики дизеля PC2 на режиме  $n = 480 \text{ мин.}^{-1}$ :  
 1 – положение рейки топливного насоса; 2 и 3 – температура и давление надвучного воздуха; 4 – частота вращения турбоагнетателя;  
 5 – средняя температура газов после цилиндров; 6 – мощность;  
 7 – удельный эффективный расход топлива*

В качестве нагрузочного параметра принято положение указателя регулятора  $m_{\text{рег}}$ , так как оно однозначно определяет положение реек топливных насосов  $m$ , а следовательно (при неизменной регулировке топливных насосов высокого давления, заданной частоте вращения коленчатого вала и сорте топлива), и мощность двигателя.

На рис. 1 положение рейки  $m$  дано для цилиндра № 18. На этом же рисунке пунктирными линиями показано изменение характеристик дизеля, полученных во время стендовых испытаний на топливе с плотностью  $0,845 \text{ г/см}^3$ .

Прежде всего, необходимо отметить существенное увеличение средней температуры выпускных газов после цилиндров  $t_{\text{ц}}$  при работе двигателя на смеси моторного топлива с дизельным. Так, на режиме  $m_{\text{рег}} = 5,5$  температура  $t_{\text{ц}}$  возросла с 335 до 405 °С, т.е. на 70 °С, хотя температура надувочного  $t_{\text{с}}$ , поступающего в цилиндр практически была одной и той же.

Однако существенное увеличение температуры  $t_{\text{ц}}$  не оказало заметного влияния на частоту вращения турбокомпрессоров  $n_{\text{T}}$  и давление надува  $p_{\text{с}}$ .

Во время испытаний на судне отмечено существенное увеличение удельного расхода топлива  $g_{\text{е}}$  по сравнению с расходом  $g_{\text{е}}$  в период стендовых испытаний на 10,0 %. Поэтому, несмотря на увеличение цикловой подачи топлива при том же положении реек топливных насосов, мощность двигателя  $N_{\text{е}}$  повысилась незначительно.

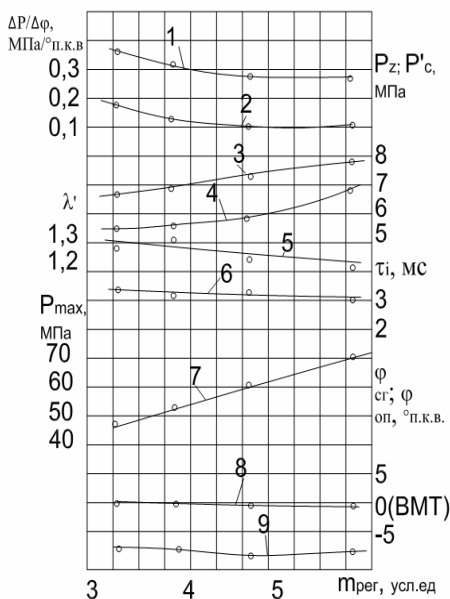
Результаты обработки осциллограмм топливоподачи и рабочего процесса представлены на рис. 2.

Топливные насосы высокого давления имеют комбинированное регулирование на режимах малых и средних цикловых подач ( $m_{\text{рег}} \leq 4,8-5,0$ ) и регулирование только конца подачи на остальных режимах, что и подтверждается кривыми угла действительного опережения впрыска топлива  $\varphi_{\text{ог}}$  и угла начала его сгорания  $\varphi_{\text{сг}}$ . На всех режимах сгорание топлива начинается после в.м.т.

Так как период задержки самовоспламенения  $\tau_i$  сравнительно мал, то процесс сгорания характеризуется низкими показателями механической нагрузки. Действительно, степень повышения давления

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c},$$

где  $P_c$  – давление газов в цилиндре в момент начала сгорания топлива, равна 1,2-1,27, а максимальная  $dp/d\varphi$  и средняя  $\Delta p/d\varphi$  скорости нарастания давления газов не превышают 0,357 МПа на 1 °п.к.в. Следует отметить, что с уменьшением нагрузки растет  $\tau_i$  (понижаются давление и температура конца сжатия), что приводит к росту показателей механической нагрузки. Максимальное давление сгорания  $p_z$  в этом случае уменьшается из-за давления  $p_c$ .



*Рис.2. Характеристики топливоподачи и рабочего процесса дизеля РС2 на режиме  $n = 480 \text{ мин}^{-1}$ :  
1 и 2 – максимальная и средняя скорости нарастания давления;  
3 – максимальное давление сгорания; 4 – давление сжатия в момент начала сгорания; 5 – степень повышения давления; 6 – период задержки воспламенения; 7 – максимальное давление топлива; 8 – угол начала сгорания топлива; 9 – угол действительного опережения впрыска топлива*

На рис.2 также приведена кривая максимального давления топлива  $P_{max}$ , записанная в средней части топливопровода высокого давления.

Отмеченные выше закономерности изменения основных характеристик дизеля РС2 и его рабочего процесса получены и на двух других скоростных режимах, хотя, естественно, значения характеристик другие. Для примера (см. таблицу) проанализируем два режима при  $n = 520 \text{ мин}^{-1}$  – № 1, которых является режимом полной мощности (скорость судна во время испытаний равнялась  $v = 20,8$  узл.), а второй режим № 2 ( $v = 19,6$  узл.) аналогичен режиму  $n = 480 \text{ мин}^{-1}$  при  $m_{perг} = 5,8$  (последний в таблице обозначен как режим № 3). В таблице также приведены основные параметры номинального режима двигателя по данным стендовых испытаний (режим № 4).

Таблиця

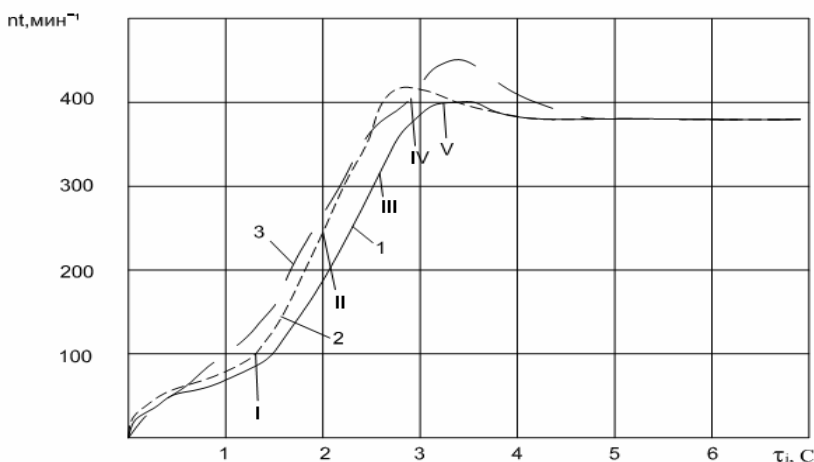
*Характеристики дизеля PC2 при  $n = 520$  и  $480$  мин<sup>-1</sup>*

Характеристики	Единицы измерения	Р е ж и м ы			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Мощность	кВт	5690	5110	4940	6620
Положение указателя регулятора нагрузки	усл.ед.	6,2	5,6	5,8	7,8
Средняя температура выпускных газов после цилиндров	°С	460	422	415	418
Давление наддува	МПа	0,102	0,0765	0,0714	0,127
Частота вращения турбокомпрессоров	мин <sup>-1</sup>	13450	11850	11600	14800
Максимальное давление сгорания	МПа	9,17	8,26	7,95	9,25
Часовой расход топлива	кг/ч	1250	1120	1050	1400
Удельный расход топлива	г/кВт – ч	220	219	212	212
Продолжительность впрыска топлива	°п.к.в.	32	32	30	–
Максимальное давление топлива	МПа	81,5	68,3	67,8	–
Средняя скорость нарастания давления	МПа на 1°п.к.в.	0,0714	0,0714	0,0916	–

Прежде всего, необходимо отметить, что, хотя в режиме № 1 дизель развил только 86 % номинальной мощности, температура выпускных газов после цилиндров на 40 °С выше, чем в режиме № 4, и достигла ограничительного уровня, т.е. дальнейшая нагрузка двигателя недопустима. Для режима № 1 характерен и повышенный удельный расход топлива по сравнению с расходом топлива на стенде. Обращают на себя внимание большие величины продолжительности впрыска (32 °п.к.в.) и максимального давления топлива при впрыске 81,5 МПа.

При сравнении между собой режимов № 2 и № 3, обеспечивающих одинаковую скорость движения судна, видно, что режим № 3 предпочтительнее из-за меньшего расхода топлива, как на единицу мощности, так и на милю пути, если принять во внимание уменьшение часового расхода топлива примерно на 6 %.

Исследование пусковых режимов дизеля РС2, при отключенной муфте сцепления, показало хорошую приемистость двигателя (рис. 3). Заданной регулятором частоты вращения коленчатого вала  $360 \text{ мин}^{-1}$  двигатель достигает спустя 3-3,5 с, причем процесс разгона происходит в течение первых пяти оборотов вала (на рисунке римскими цифрами указаны моменты окончания первых рабочих циклов, соответствующих в.м.т. цилиндра № 10 в момент сгорания топлива в нем).



*Рис. 3. Кривые разгона дизеля РС2*

При обработке осциллограмм установлено, что регулятор начинает перемещение реек топливных насосов высокого давления спустя 0,3 с после начала поступления воздуха в цилиндры, в результате чего уже при первом обороте (если происходит сжатие воздуха в цилиндре) происходит впрыск и воспламенение топлива.

Известно, что пусковые режимы большинства дизелей характеризуется высокими значениями механической нагрузки. Однако во всех исследуемых пусках дизеля РС2 было отмечено низкое значение давления  $p_z$  в самой "нагруженной"

вспышке, которое не превышало  $p_{z \text{ пуск}} = 5,6 \text{ МПа}$  т.е. 60 % давления  $p_z$ , на номинальном режиме, тогда как очень часто  $p_{z \text{ пуск}} = p_{z \text{ ном}}$

Максимальная скорость нарастания давления газов при пусках достигла 1,12-1,22 МПа на  $1^\circ$  п.к.в., а степень повышения давления – 1,7. Указанные цифры находятся на уровне, характерном для среднеоборотных дизелей.

**Выводы.** Результаты исследования позволяют определить основные параметры теплового процесса среднеоборотного двигателя на конкретных режимах работы.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Фомин Ю.Я., Половинка Э.М., Шестопалов В.И. Применение тяжелых топлив в судовых дизелях. –М.: Транспорт. 1971. – 190 с.*

*Стаття надійшла до редакції 31.05.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Р.А. Варбанець.**

УДК 004.932

В.І. Загребнюк, І.С. Рубльов

**ФОРМАТ КОДУВАННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ  
З СУБДИСКРЕТИЗАЦІЄЮ ХРОМАТИЧНИХ КОМПОНЕНТ**

*У роботі наведено алгоритми роботи кодера та декодера формату X2X3. Досліджено такі властивості кодера і декодера як ступінь стиску зображень, час на кодування та декодування, формальна оцінка якості зображень після перетворень. Показано, що в досліджуваному кодекі формату X2X3 можна застосовувати всі схеми субдискретизації як для статичних зображень, так відеоданих.*

**Ключові слова:** цифрові зображення, хроматичні компоненти, субдискретизація, проріджування, схема субдискретизації, інтерполяційне відновлення

*В работе приведены алгоритмы работы кодера и декодера формата X2X3. Исследованы такие свойства кодера и декодера как степень сжатия изображений, время кодирования и декодирования, формальная оценка качества изображения после преобразований. Показано, что в исследуемом кодеке формата X2X3 можно применять все известные схемы субдискретизации как для цифровых изображений так и для видеоданных.*

**Ключевые слова:** цифровые изображения, хроматические компоненты, субдискретизация, схема субдискретизации, интерполяционное восстановление

*We present algorithms for the encoder and the decoder X2X3 format. Such properties as the encoder compression ratio of images, the encoding and decoding time, a formal assessment of image quality after conversion studied. It is shown that the X2X3 format codec can be used with all known subsampling schemes for digital images and videodata.*

**Keywords:** digital images, chromatic components, subsampling, subsampling scheme, interpolation recovery

**Актуальність.** За результатами досліджень компанії Cisco, обсяг світового трафіку медіа-даних щорічно буде збільшуватись на 50 % та може досягти у найближчому майбутньому близько 500 ексабайтів. Така тенденція є свідченням того, що через декілька років може виникнути ситуація, коли технічні можливості сучасних інформаційно-комунікаційних мереж вже не зможуть забезпечувати прийнятну якість обслуговування. Тому однією з актуальних задач є дослідження, спрямовані на підвищення ефективності стиску статичних зображень та відеоданих для зменшення навантаження на комп'ютерні мережі зі збереженням необхідного рівня якості візуального сприйняття.

Дослідження підвищення ефективності стиску зображень загалом зорієнтовані на дослідження перетворень, в яких певні види інформаційної надмірності зображення зменшуються таким чином, щоб забезпечити більшу ефективність стиску даних. У роботах [1, 2] розглядаються перетворення простору RGB у різні координатні колірні системи та деякі модифікації простору YCbCr [3] з метою підвищення ефективності стиску за рахунок зменшення візуальної надмірності зображення. Ще одним перетворенням, яке зменшує просторову надмірність зображення, є субдискретизація (проріджування) хроматичних компонент. Прикладом є стандарт JPEG, в якому для стиску відео використовується субдискретизація хроматичних компонент Cr та Cb колірної координатної системи YCbCr.

Відомо, що субдискретизація хроматичних компонент супроводжується втратами якості візуального сприйняття зображення. Основні причини втрати якості візуального сприйняття та способи їх усунення розглянуті в роботі [4] на прикладі схеми субдискретизації 4:1:1 в NTSC DV та схеми 4:2:2 в студійному відео. В [4] також показано, що в стандарті JPEG вже при використанні схем проріджування 4:2:0 та 4:1:1 на зображенні помітні значні спотворення як границь, так і кольорів, ці схеми не використовуються при стисненні відео. Слід підкреслити, що при стиску статичних зображень зменшення просторової надмірності на практиці не використовується. Отже розроблення методів субдискретизації, які забезпечують необхідну якість візуального сприйняття статичних зображень та відео для схем проріджування 4:2:0, 4:1:1 та 4:1:0 є актуальним.

**Мета роботи.** Метою роботи є розроблення кодеку перетворення зображень з колірної системи RGB в cBX2X3 з всіма схемами субдискретизації та аналіз впливу субдискретизації на ефективність стиску та якість візуального сприйняття статичних зображень.

**Результати дослідження.** Дослідження впливу субдискретизації на ефективність стиску та якість візуального сприйняття статичних зображень у просторі cBX2X3 потребує розроблення формату даних кодеку, який реалізує перетворення з простору RGB у простір cBX2X3 та здійснює субдискретизацію колірних компонент для всіх відомих схем субдискретизації, що наведено в наступному підрозділі. Далі розглядається формат даних кодеку cBX2X3 та відповідного декодеку. Аналіз впливу субдискретизації на ефективність стиску та якість візуального сприйняття статичних зображень здійснено в останньому підрозділі роботи.

### **Субдискретизація у стискуючому просторі cBX2X3**

Пряме перетворення з простору RGB у cBX2X3 має вигляд

$$\begin{pmatrix} B \\ X2 \\ X3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \\ -\lambda_1 & 1-\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \frac{2}{2} & \frac{2}{2} & \frac{2}{2} \\ -\lambda_1 & -\lambda_2 & 1-\lambda_3 \\ \frac{2}{2} & \frac{2}{2} & \frac{2}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}. \quad (1)$$



Тут  $\lambda_i$  – впорядковані по спаданню власні значення ковариаційної матриці, розрахованої для компонент системи RGB. Власні значення  $\lambda_i$  нормовані таким чином, щоб їх сума дорівнювала одиниці –  $\sum_i \lambda_i = 1$

а  $C_i$  – компоненти кольору простору RGB впорядковані у відповідності їх власним значенням.

Відомо [5], що лінійне відображення  $y = Ax + b$   $n$ -вимірного простору самого в себе є стискующим, якщо виконується умова

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 \leq \alpha < 1. \quad (2)$$

Розглянемо простір  $sBX2X3$ . Матрицю перетворення (1) позначимо через  $M$ . Тоді для відображення простору  $C_1C_2C_3$  у підпростір  $sBX2X3$  отримуємо

$$\sum_{i=2}^3 \sum_{j=2}^3 m_{ij}^2 < \frac{1+\lambda_1}{2} = \alpha < 1,$$

тобто це відображення є стискующим.

Перетворення (1) можливо представити в вигляді

$$\begin{cases} B = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \lambda_3 C_3; \\ X_2 = 0,5 \cdot (C_2 - B); \\ X_3 = 0,5 \cdot (C_3 - B). \end{cases} \quad (3)$$

Розглянемо схематично кодування зображення з використанням процедури проріджування хроматичних компонент. Спочатку виконується перетворення (3). Компонента  $B$  зберігається незмінною, а хроматичні компоненти  $X_2, X_3$  проріджуються згідно з обраною схемою.

Для кожної схеми визначається крок проріджування в рядках  $\Delta i$  та стовпцях  $\Delta j$  за наступними формулами:

для схеми

$$4:4:0 - \Delta i = 0, \Delta j = 2;$$

$$4:2:2 - \Delta i = 2, \Delta j = 0;$$

$$4:2:0 - \Delta i = 2, \Delta j = 2;$$

$$4:1:1 - \Delta i = 3, \Delta j = 0;$$

$$4:1:0 - \Delta i = 3, \Delta j = 2.$$

Під час проріджування для кожної хроматичної компоненти  $r$  формується палітра її значень  $P^r_i$ , які залишаються після проріджування, та підраховуються розмір палітри  $N^r_i$  і відносні частоти значень палітри  $w^r_{i,k}, k \in [1, N^r_i]$ . Значення хроматичних компонент у палітрі  $P^r_i$  впорядковуються у порядку спадання  $w^r_{i,k}$ , що має забезпечити більш ефективне їх стиснення нерівномірними кодами.

Відносні частоти зберігаються у файлі лише у випадку коли використовується ентропійне стиснення. Ця операція не збільшує обчислювальну складність перетворення, але забезпечує точне визначення довжини рівномірного коду, як для фотореалістичних, так і для синтетичних зображень.

Під час кодування значення хроматичних компонент замінюються індексами палітри, а довжина рівномірного коду обчислюється за формулою  $K_i = \lceil \log_2 N_{xi} \rceil$ . Тут  $N_{xi}$  – розмір палітри (кількість кольорів)  $i$ -ї хроматичної компоненти,  $\lceil \cdot \rceil$  – найближче ціле зверху. Оскільки у цьому випадку, практично завжди  $K_i$  менше одного байту, хроматичні компоненти кодуються рівномірним кодом довжини  $K_i$ , що приведе до зменшення обсягу файлу зображення без використання ентропійного стиску.

При декодуванні зображення індекси палітри хроматичних компонент спочатку замінюються відповідними значеннями. Позначимо значення хроматичних компонентів у вузлових пікселях  $X_p(i, j)$ ,  $X_p(i, j + \Delta j)$ ,  $X_p(i + \Delta i, j)$ ,  $X_p(i + \Delta i, j + \Delta j)$ , відповідно.

Тоді для білінійної інтерполяції отримаємо формули (що відновлюється)

$$X_p(k, j + y \cdot \Delta j) \approx (1 - y) \cdot X_p(k, j) + y \cdot X_p(k, j + \Delta j),$$

де  $k = i, i + \Delta i$ ,  $y = 1/\Delta j, \dots, (\Delta j - 1)/\Delta j$ ;

$$X_p(i + x \cdot \Delta i, k) \approx (1 - x) \cdot X_p(i, k) + x \cdot X_p(i + \Delta i, k), \quad (4)$$

де  $k = 0, \Delta j - 1$ , а  $x = 0, \dots, (\Delta i - 1)/\Delta i$  або  $y = 1/\Delta i, \dots, (\Delta i - 1)/\Delta i$ .

Позначимо відомі значення хроматичних компонент у 4 вузлових пікселях рядка  $i$  через  $X_p(i, j - \Delta j)$ ,  $X_p(i, j)$ ,  $X_p(i, j + \Delta j)$ ,  $X_p(i, j + 2\Delta j)$ . Тоді для бікубічної інтерполяції проріджених значень отримаємо формулу:

$$X_p(i, j + x \cdot \Delta j) \approx \frac{1}{2} Y \cdot M \cdot X^T \quad (5)$$

У цій формулі матриці  $Y$ ,  $M$  та  $X$  мають вигляд:

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & x & x^2 & x^3 \end{bmatrix},$$

$$X = \begin{bmatrix} X_p(i, j - \Delta j) & X_p(i, j) & X_p(i, j + \Delta j) & X_p(i, j + 2\Delta j) \end{bmatrix},$$

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix},$$

де  $x = 1/\Delta j, \dots, (\Delta j - 1)/\Delta j$ .

Після відновлення пропущених даних можливо здійснити зворотне перетворення з простору  $sBX2X3$  в RGB, яке має вигляд

$$\begin{cases} C_1 = B - 2 \cdot (\lambda_2 \cdot X_2 + \lambda_3 \cdot X_3); \\ C_2 = B + 2 \cdot X_2; \\ C_3 = B + 2 \cdot X_3; \end{cases} \quad (6)$$

**Кодер формату  $sBX2X3$  з субдискретизацією хроматичних компонент.**

Під час кодуванні зображення у стискуючому просторі  $sBX2X3$  в заголовку файлу необхідно записати такі дані: власні значення ковариаційної матриці  $\lambda_i$ , порядок сортування компонент RGB, обрану схему субдискретизації хроматичних компонент, самі палітри хроматичних компонент та їх розміри. Структура заголовку файлу формату  $X2X3$  наведена у табл. 1.

*Таблиця 1*

*Формат заголовку файлу формату  $X2X3$*

Зміщення, байт	Розмір, байт	Призначення
0	4	Сигнатура файлу
4	4	Ширина зображення
8	4	Висота зображення
12	1	Тип формування та оброблення – біти 0-4 Номер схеми субдискретизації – біти 5-7
13	6	Власні значення ковариаційної матриці
19	1	Порядок сортування компонент RGB
20	1	Розмір палітри $X_2 - N_{x2}$
21	1	Розмір палітри $X_3 - N_{x3}$
22	$N_{x2}$	Палітра $X_2$
$22 + N_{x2}$	$N_{x3}$	Палітра $X_3$

Формування файлу (алгоритм роботи кодеру) графічного формату  $X2X3$  складається з наступних кроків.

**Крок 1.** Обчислити ковариаційну матрицю за компонентами RGB та її нормовані власні значення.

**Крок 2.** Впорядкувати власні значення у порядку спадання та впорядкувати у відповідності з власними значеннями компоненти RGB.

**Крок 3.** Сформувати масив для зберігання порядку сортування компонент RGB.

**Крок 4.** Обрати схему субдискретизації. Розрахувати розмір кроку субдискретизації в рядках та стовбцях зображення. Розрахувати кількість кроків субдискретизації в рядках. Розрахувати кількість кроків субдискретизації в стовбцях.

**Крок 5.** В ході перетворення з простору RGB у простір  $s\bar{V}X2X3$  з використанням співвідношень (1) та обраною схемою субдискретизації сформувати палітри хроматичних компонент, підрахувати кількість кольорів у палітрі та обчислити їх відносні частоти.

**Крок 6.** Впорядкувати кольори палітри у порядку спадання відносних частот та сформувати індексний масив у якому значенню хроматичної компоненти ставиться у відповідність індекс палітри.

**Крок 7.** Визначити довжину рівномірного коду для кожної хроматичної компоненти  $K_i = \lceil \log_2 N_{xi} \rceil$ .

**Крок 8.** Сформувати заголовок файлу.

**Крок 9.** Записати у файл значення ахроматичної компоненти  $V$  однобайтними кодами.

**Крок 10.** Записати у файл значення результатів субдискретизації хроматичної компоненти  $X_2$  рівномірним кодом з довжиною  $K_2$ .

**Крок 11.** Записати у файл значення результатів субдискретизації хроматичної компоненти  $X_3$  рівномірним кодом з довжиною  $K_3$ .

**Крок 12.** Закрити файл.

На рис. 1 наведена структура кодеру формату  $X2X3$ .



Рис. 1. Структура кодеру формату  $X2X3$

Для відновлення в декодері пропущених даних в заголовку файлу потрібно зберегти лише номер схеми субдискретизації, розміри зображення. Оскільки на практиці застосовуються тільки шість схем субдискретизації (4:4:4, 4:4:0, 4:2:2, 4:2:0, 4:1:1, 4:1:0), то для збереження номеру схеми достатньо трьох бітів ( 5-7 біти ) 12-го байту заголовку. Молодші п'ять бітів передбачені для кодування типу формування та оброблення.

### **Декодер формату $sVX2X3$ з субдискретизацією компонент $X2$ та $X3$**

Декодування зображення, збереженого у форматі  $X2X3$ , складається з наступних кроків:

**Крок 1.** Зчитування із заголовку файлу розмірів зображення, власних значень та порядку сортування компонент RGB та схеми субдискретизації.

**Крок 2.** Зчитування палітр хроматичних компонент у відповідні масиви.

**Крок 3.** Створення масиву триплетів RGB вихідного зображення для його відображення на моніторі або записування у файл.

**Крок 4.** Створення масиву для компонент простору  $sVX2X3$ .

**Крок 5.** Зчитування ахроматичної компоненти  $B$  в масив  $sVX2X3$ .

**Крок 6.** Вибір інтерполяційного алгоритму відновлення субдискретизованих даних компонент  $X2$  та  $X3$

**Крок 7.** Зчитування індексів хроматичної компоненти  $X2$ , заміна індексу палітри на відповідне значення хроматичної компоненти. Інтерполяція пропущених даних.

**Крок 8.** Зчитування індексів хроматичної компоненти  $X3$ , заміна індексу палітри на відповідне значення хроматичної компоненти. Інтерполяція пропущених даних.

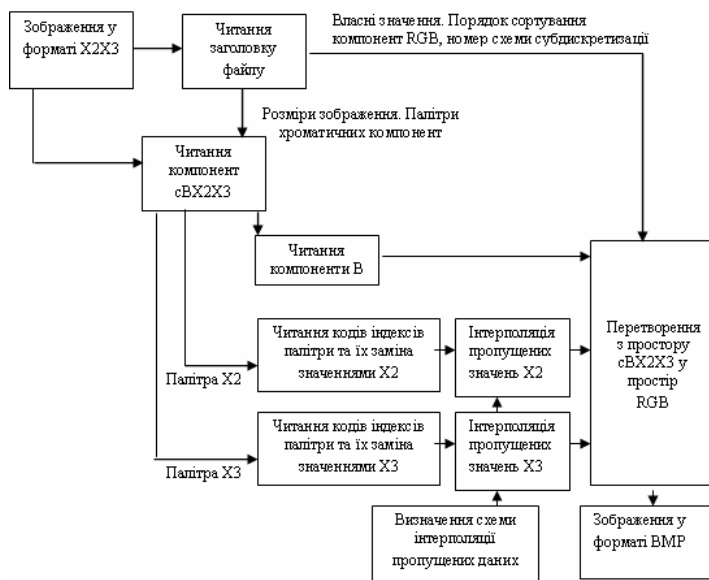
**Крок 9.** Обернене перетворення  $sVX2X3$  в RGB та заповнення відповідного масиву.

**Крок 10.** Виведення зображення на монітор або записування у файл у форматі BMP.

Структура декодера наведена на рис. 2.

### **Аналіз результатів субдискретизації статичних зображень**

Кодер та декодер формату  $sVX2X3$  реалізовані в вигляді двох окремих програмних застосувань. З використанням цих застосувань на множині тестових зображень з бази тестових зображень [6] було здійснено формалізоване оцінювання якості візуального сприйняття, швидкість кодування/декодування та зменшення обсягів файлів за рахунок зменшення візуальної та просторової надмірностей без застосування методів ентропійного стиску.



*Рис. 2. Структура декодера формату X2X3*

На рисунку 3 наведено графіки, що відображають зменшення у відсотках розмірів файлів у форматі X2X3 з субдискретизацією за схемами та 4:4:0, 4:2:0 та 4:1:0. З графіків видно, що зменшення розміру файлу залежить від контексту зображення і у середньому складає для схем 4:4:0, 4:2:2 –  $39 \pm 3\%$ ; 4:2:0, 4:1:1 –  $53 \pm 1\%$  та для схеми 4:1:0 –  $60 \pm 1\%$ . Слід зазначити, що таке суттєве зменшення обсягів файлів зумовлене зменшенням, як візуальної, про що свідчить зменшення розмірів файлів у середньому на 12 % відсотків без субдискретизації, так і просторової надмірностей.

Для формалізованої оцінки якості візуального сприйняття субдискретизованих зображень використовувалось пікове відношення сигнал/шум – PSNR. На рис. 4 приведені графіки середнього, по трьом колірним каналам, значення PSNR для тестових зображень при використанні схеми 4:1:0.

Як слідує з наведених даних для всієї множини тестових зображень значення PSNR перевищують 30 дБ., причому для більшої частки зображень PSNR більше 40 дБ., що є свідченням збереження хорошої якості візуального сприйняття статичних зображень. Слід зазначити, що спотворення контурів об'єктів зображення, а саме розмивання, візуально невідчутні. У якості ілюстрації на рис. 5 наведено зображення, оброблені за використанням схеми 4:1:0.

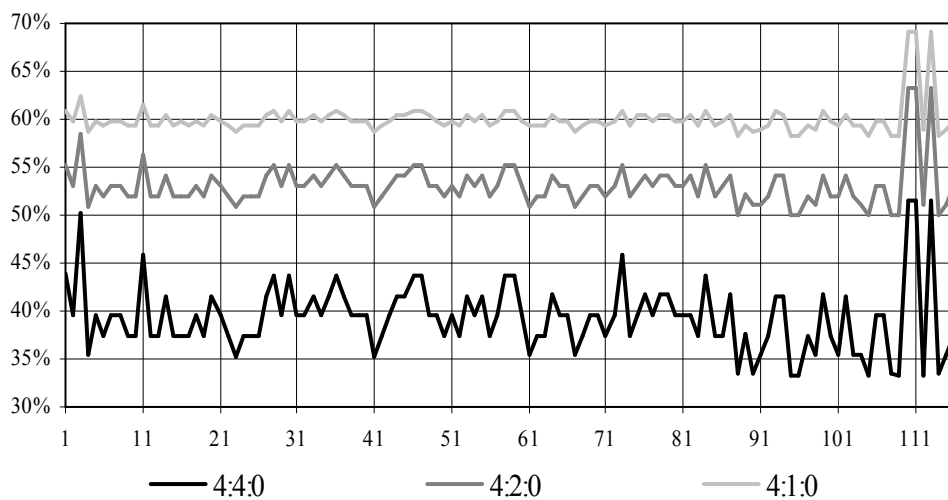


Рис. 3. Розміри файлів для різних схем субдискретизації

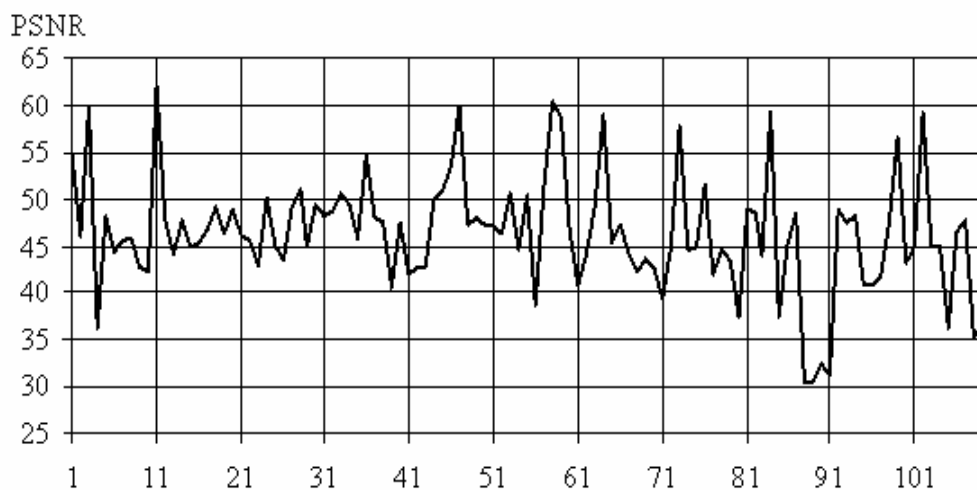


Рис. 4. Значення PSNR для різних зображень

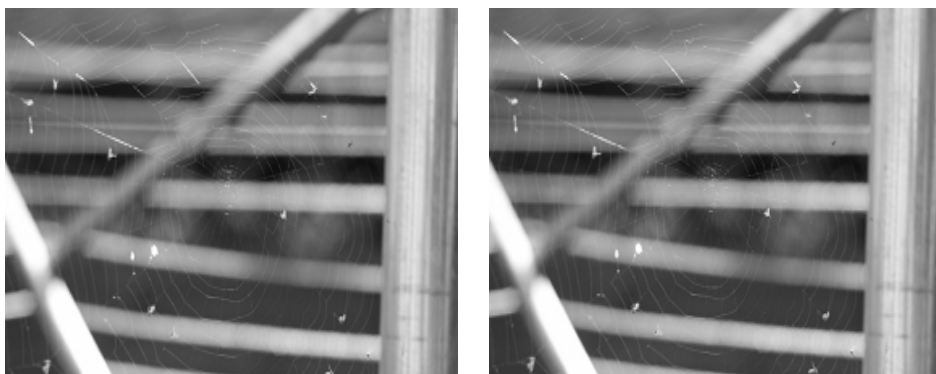


Рис. 5. Результати субдискретизації зображення:  
зліва – вхідне; справа – субдискретизоване

Важливою характеристикою кодеку є час кодування та декодування зображень. Як і слід було б очікувати, витрати часу на кодування зображень та декодування найменші при використанні схеми 4:1:0. У середньому час на кодування/декодування для схем 4:4:0 та 4:2:2 складає 4,5/1,2 мсек./кБайт; 4:2:0 та 4:1:1 – 3,7/1,0 мСек./кБайт, а для 4:1:0 – 3,4/0,9 мсек./кБайт.

Така відмінність у часі кодування та декодування зображень зумовлена наступним: вхідний файл має більший обсяг у порівнянні з збереженим у форматі X2X3, при кодування необхідно обчислити додатково ковариційну матрицю та її власні значення. Слід зазначити що навіть для вхідних файлів обсягом від одного до двох Мбайт, час кодування та декодування значно менше однієї секунди.

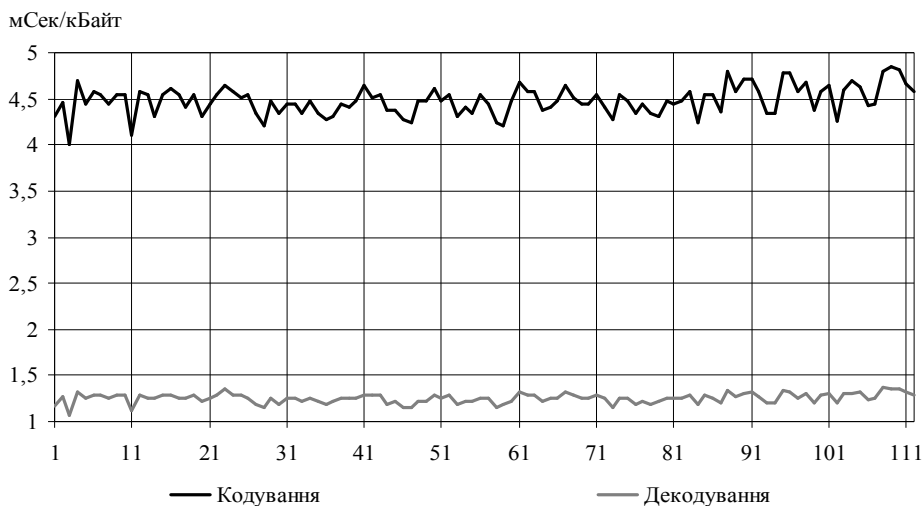


Рис. 6. Час кодування та декодування для схеми 4:2:2



### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hazem Al-Otum, Walid Shahab, Mamoona Smadi Colour image compression using a modified angular vector quantization algorithm // *Journal of Electrical Engineering*. – Vol. – 57. – № 4. – 2006. – 226-234 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://iris.elf.stuba.sk/JEEEC/data/pdf/4\\_106-7.pdf](http://iris.elf.stuba.sk/JEEEC/data/pdf/4_106-7.pdf). – Дата доступу: 15.07.2011
2. Schaefer G., Qiu G., Luo M.R.. Visual pattern based colour image compression. *Proceedings of SPIE, Visual Communication and Image Processing*, pp. 989-997 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ima.ac.uk/papers/schaefer1999a.pdf> – Дата доступу: 03.07.2011
3. Domański M., Rakowski K. Near-Lossless Color Image Compression for Multimedia Applications. *Digital Signal Processing for Multimedia Communications and Services, EURASIP ECMCS*. – Budapest, september, 11-13. – 2001. – P. 181-184 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.multimedia.edu.pl/publications/files/ecmcs179.pdf> – Дата доступу: 06.08.2011
4. Glenn Chan, Towards Better Chroma Subsampling // *SMPTE Motion Imaging Journal*. – May/June 2008. – P. 39-45 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.glennchan.info/articles/technical/chroma/chroma1.htm>. – Дата доступу: 17.06.2011
5. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа: Учебн. пособие / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1976. – 543 с.
6. Berkeley Segmentation Dataset [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/grouping/segbench>. – Дата доступу: 25.11.2011

Стаття надійшла до редакції 21.09.2012

**Рецензент** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри «Фізика оптичного зв'язку» Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова **І.М. Вікулін**.

УДК 620:178.3

А.В. Коноплёв, А.Г. Кобаков

**О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ДОЛГОВЕЧНОСТЕЙ ДО РАЗРУШЕНИЯ  
ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ИСПЫТАНИЙ**

*На основе гипотезы о постоянстве коэффициента вариации долговечностей до разрушения (их логарифмов) исследована возможность увеличения количества значений долговечностей до разрушения на каждом из уровней напряжений при стационарном режиме проведения испытаний за счёт добавления расчётных данных к опытным.*

*Проверка статистической гипотезы о принадлежности этих данных к единой совокупности, а также гипотезы о законе распределения долговечностей до разрушения (их логарифмов) показали, что в обоих случаях эти гипотезы можно принять.*

**Ключевые слова:** сопротивление усталости, долговечность до разрушения, закон распределения.

*На основі гіпотези про сталість коефіцієнта варіації довговічностей до руйнування (їх логарифмів) досліджена можливість збільшення кількості значень довговічностей до руйнування на кожному з рівнів напружень при стаціонарному режимі проведення випробувань за рахунок додавання розрахункових даних до дослідних.*

*Перевірка статистичної гіпотези про належність цих даних до єдиної сукупності, а також гіпотези про закон розподілу довговічностей до руйнування (їх логарифмів) показали, що в обох випадках ці гіпотези можна прийняти.*

**Ключові слова:** опір втоми, довговічність до руйнування, закон розподілу.

*On basis of the hypothesis of constancy the variation of durability until collapse (their logarithms) was researched the capability of increasing number of durability value until collapse at every stress level by the stationary mode of test execution due to supplement the calculated data to experimental.*

*Testing of statistical hypothesis about affiliation these data to one totality, hypothesis of distribution law of durability until collapse (their logarithms) demonstrated that both could be accepted.*

**Keywords:** on the durability distribution until collapse by the stationary test mode

**Постановка проблеми.** Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что логарифм долговечности до разрушения подчиняется нормальному закону распределения случайных величин [1, 2]. Внимание к исследованию распределения логарифма долговечности, а не самой долговечности, связано с тем, что кривые усталости независимо от их математических моделей изображают в логарифмических или полулогарифмических координатах. При этом по оси абсцисс всегда откладывают логарифм долговечности ( $\lg N$ ).

Между тем, практическую ценность представляет вопрос о законе распределения величины долговечности  $N$ . Это обусловлено тем, что в последние годы появились методы определения характеристик сопротивления усталости, основанные на использовании результатов испытаний на постоянном уровне напряжений, в которых исходной величиной для расчётов является долговечность до разрушения [3].

**Цель настоящего исследования** – проверить закон распределения долговечности до разрушения на соответствие нормальному распределению и сопоставить между собой критерии соответствия распределений величин  $N$  и  $\lg N$ .

**Изложение основного материала исследований.** Для решения поставленной задачи необходимо иметь репрезентативную выборку результатов испытаний объектов, порядка 15-20 значений. Получить такие дополнительные данные можно путём расчёта, исходя из условия постоянства отношений [3]

$$\frac{\lg N_1 - \lg \bar{N}_1}{\lg \bar{N}_1} = \frac{\lg N_2 - \lg \bar{N}_2}{\lg \bar{N}_2} = \dots = \frac{\lg N_i - \lg \bar{N}_i}{\lg \bar{N}_i} = \dots = \frac{\lg N_n - \lg \bar{N}_n}{\lg \bar{N}_n} = const, \quad (1)$$

где  $\lg N_1, \lg N_2, \lg N_i$  и  $\lg N_n$  – логарифмы долговечности до разрушения индивидуальных объектов с порядковыми номерами 1, 2, ...,  $i$  ...  $n$ ;  $\lg \bar{N}_1, \lg \bar{N}_2, \lg \bar{N}_i$  и  $\lg \bar{N}_n$  – значения логарифмов долговечностей этих объектов по средневероятной кривой усталости.

Выразим из формулы (1) величину  $\lg N_i$

$$\lg N_i = \lg \bar{N}_i + \frac{\lg \bar{N}_i (\lg N_n - \lg \bar{N}_n)}{\lg \bar{N}_n}. \quad (2)$$

Определим с помощью формулы (2) значения  $\lg N_i$  для образцов из Стали 45 (гладких с концентратором напряжений), испытанных при круговом изгибе [4].

Для проверки принадлежности каждой из расчётных выборок долговечностей единой генеральной совокупности на каждом из уровней напряжений определим значение непараметрического рангового критерия Краскела и Уоллиса [2]. Для этого общее число результатов расчёта и испытаний, принадлежащих независимым выборкам в пределах каждого уровня напряжений, расположим в единые вариационные ряды и каждому значению члена ряда присвоим соответствующий ранг (табл.2).

Таблица 1

*Расчётные значения  $\lg N_i$  для образцов из Стали 45  
(гладких и надрезанных) при различных уровнях напряжений  $\sigma$*

Номер образца	$\lg N_{i1}$ при $\sigma_1=300$ МПа; $\lg \bar{N}_{i1} =$ 4,994	$\lg N_{i2}$ при $\sigma_2=285$ МПа; $\lg \bar{N}_{i2} =$ 5,366	$\lg N_{i3}$ при $\sigma_3=270$ МПа; $\lg \bar{N}_{i3} =$ 5,758	$\lg N_{i4}$ при $\sigma_4=255$ МПа; $\lg \bar{N}_{i4} =$ 6,172	Номер образца	$\lg N_{i1}$ при $\sigma_1=270$ МПа; $\lg \bar{N}_{i1} =$ 4,874	$\lg N_{i2}$ при $\sigma_2=250$ МПа; $\lg \bar{N}_{i2} =$ 5,340	$\lg N_{i3}$ при $\sigma_3=230$ МПа; $\lg \bar{N}_{i3} =$ 5,849	$\lg N_{i4}$ при $\sigma_4=210$ МПа; $\lg \bar{N}_{i4} =$ 6,413
	Образцы гладкие					Образцы с концентратором напряжений			
1	4,859	5,221	5,602	6,005	1	4,888	5,355	5,866	6,431
2	4,936	5,304	5,691	6,100	2	4,941	5,413	5,929	6,501
3	4,993	5,365	5,757	6,170	3	5,013	5,492	6,016	6,596
4	5,054	5,430	5,827	6,246	4	5,064	5,548	6,077	6,663
5	5,299	5,694	6,110	6,549	5	5,167	5,661	6,201	6,799
6	4,947	5,316	5,704	6,114	6	4,833	5,295	5,800	6,359
7	4,947	5,316	5,704	6,114	7	4,899	5,367	5,879	6,445
8	5,096	5,476	5,876	6,299	8	4,946	5,419	5,936	6,508
9	5,109	5,490	5,891	6,315	9	5,005	5,483	6,006	6,585
10	5,208	5,596	6,005	6,437	10	5,083	5,569	6,100	6,688
11	4,794	5,151	5,527	5,924	11	4,808	5,268	5,770	6,326
12	4,821	5,181	5,559	5,959	12	4,876	5,342	5,851	6,415
13	4,977	5,347	5,738	6,151	13	4,891	5,359	5,870	6,436
14	5,013	5,387	5,780	6,196	14	4,935	5,407	5,922	6,493
15	5,071	5,449	5,847	6,267	15	5,035	5,516	6,042	6,625
16	4,805	5,163	5,540	5,938	16	4,631	5,074	5,557	6,093
17	4,855	5,216	5,598	6,000	17	4,632	5,074	5,558	6,094
18	5,017	5,391	5,785	6,201	18	4,898	5,367	5,878	6,445
19	5,063	5,440	5,837	6,257	19	4,901	5,369	5,881	6,448
20	5,206	5,594	6,002	6,434	20	5,012	5,492	6,015	6,595

Ранговые суммы для каждого из уровней напряжений для гладких образцов составят:  $R_1 = 54$ ;  $R_2 = 67$ ;  $R_3 = 39$ ;  $R_4 = 50$ , и для надрезанных -  $R_1 = 72$ ;  $R_2 = 59$ ;  $R_3 = 43$ ;  $R_4 = 36$ .

Таблиця 2

*Ранжирование общего вариационного ряда значений  $\lg N_i$*

Номер п/п	$\lg N_{i1}$	Ранг и номер уровня напряжений	$\lg N_{i2}$	Ранг и номер уровня напряжений	$\lg N_{i3}$	Ранг и номер уровня напряжений	$\lg N_{i4}$	Ранг и номер уровня напряжений
Образцы гладкие								
1	4,794	1(3)	5,151	1(3)	5,527	1(3)	5,924	1(3)
2	4,805	2(4)	5,163	2(4)	5,540	2(4)	5,938	2(4)
3	4,821	3(3)	5,181	3(3)	5,559	3(3)	5,959	3(3)
4	4,855	4 (4)	5,216	4 (4)	5,598	4 (4)	6,000	4 (4)
5	4,859	5(1)	5,221	5(1)	5,602	5(1)	6,005	5(1)
6	4,936	6(1)	5,304	6(1)	5,691	6(1)	6,100	6(1)
7	4,947	7,5(2)	5,316	7,5(2)	5,704	7,5(2)	6,114	7,5(2)
8	4,947	7,5(2)	5,316	7,5(2)	5,704	7,5(2)	6,114	7,5(2)
9	4,977	9(3)	5,347	9(3)	5,738	9(3)	6,151	9(3)
10	4,993	10(1)	5,365	10(1)	5,757	10(1)	6,170	10(1)
11	5,013	11(3)	5,387	11(3)	5,780	11(3)	6,196	11(3)
12	5,017	12(4)	5,391	12(4)	5,785	12(4)	6,201	12(4)
13	5,054	13(1)	5,430	13(1)	5,827	13(1)	6,246	13(1)
14	5,063	14(4)	5,440	14(4)	5,837	14(4)	6,257	14(4)
15	5,071	15(3)	5,449	15(3)	5,847	15(3)	6,267	15(3)
16	5,096	16(2)	5,476	16(2)	5,876	16(2)	6,299	16(2)
17	5,109	17(2)	5,490	17(2)	5,891	17(2)	6,315	17(2)
18	5,206	18(4)	5,594	18(4)	6,002	18(4)	6,434	18(4)
19	5,208	19(2)	5,596	19(2)	6,005	19(2)	6,437	19(2)
20	5,299	20(1)	5,694	20(1)	6,110	20(1)	6,549	20(1)
Образцы с концентратором напряжений								
1	4,631	1(4)	5,074	1(4)	5,557	1(4)	6,093	1(4)
2	4,632	2(4)	5,074	2(4)	5,558	2(4)	6,094	2(4)
3	4,808	3(3)	5,268	3(3)	5,770	3(3)	6,326	3(3)
4	4,833	4 (2)	5,295	4 (2)	5,800	4 (2)	6,359	4 (2)
5	4,876	5(3)	5,342	5(3)	5,851	5(3)	6,415	5(3)
6	4,888	6(1)	5,355	6(1)	5,866	6(1)	6,431	6(1)
7	4,891	7(3)	5,359	7(3)	5,870	7(3)	6,436	7(3)
8	4,898	8(4)	5,367	8(4)	5,878	8(4)	6,445	8(4)
9	4,899	9(2)	5,367	9(2)	5,879	9(2)	6,445	9(2)
10	4,901	10(4)	5,369	10(4)	5,881	10(4)	6,448	10(4)
11	4,935	11(3)	5,407	11(3)	5,922	11(3)	6,493	11(3)
12	4,941	12(1)	5,413	12(1)	5,929	12(1)	6,501	12(1)
13	4,946	13(2)	5,419	13(2)	5,936	13(2)	6,508	13(2)
14	5,005	14(2)	5,483	14(2)	6,006	14(2)	6,585	14(2)
15	5,012	15(4)	5,492	15(4)	6,015	15(4)	6,595	15(4)
16	5,013	16(1)	5,492	16(1)	6,016	16(1)	6,596	16(1)
17	5,035	17(3)	5,516	17(3)	6,042	17(3)	6,625	17(3)
18	5,064	18(1)	5,548	18(1)	6,077	18(1)	6,663	18(1)
19	5,083	19(2)	5,569	19(2)	6,100	19(2)	6,688	19(2)
20	5,167	20(1)	5,661	20(1)	6,201	20(1)	6,799	20(1)

Статистики критерия Краскела и Уоллиса соответственно будут равны [2].

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{12}{n(n+1)} \left( \sum_{i=1}^m \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) = \\ &= \frac{12}{20 \cdot 21} \left( \frac{54^2}{5} + \frac{67^2}{5} + \frac{39^2}{5} + \frac{50^2}{5} \right) - 3(20+1) = 2,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_2 &= \frac{12}{n(n+1)} \left( \sum_{i=1}^m \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) = \\ &= \frac{12}{20 \cdot 21} \left( \frac{72^2}{5} + \frac{59^2}{5} + \frac{43^2}{5} + \frac{36^2}{5} \right) - 3(20+1) = 4,49 \end{aligned}$$

где  $n$  – объём выборки.

Величины  $H_1$  и  $H_2$  не превышают критических значений  $\chi_\alpha^2$  для всех табличных уровней значимости  $\alpha$  [2]. Таким образом, нулевая гипотеза о принадлежности всех выборок единой генеральной совокупности безоговорочно принимается.

Для проверки гипотезы о нормальности распределения величин  $\lg N_i$  на каждом из уровней напряжений рассчитаем критерий Шапиро-Уилка [2].

$$W = b^2 / S^2, \quad (3)$$

где

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (\lg N_i - \lg \bar{N})^2; \quad (4)$$

$$b = \sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (\lg N_{n-i+1} - \lg N_i). \quad (5)$$

где  $k = n/2$ , если  $n$  чётное число и  $k = (n-1)/2$ , если  $n$  нечётное число.

В результате расчёта для гладких образцов получаем:  $W_1 = 0,965$ ;  $W_2 = 1,263$ ;  $W_3 = 1,397$ ;  $W_4 = 0,966$ . Табличное значение  $W_{0,05} = 0,905$  (для  $n=20$  и  $\alpha = 0,05$ ), Таким образом,  $W_1 = 0,965 > W_\alpha$ ;  $W_2 = 1,263 > W_\alpha$ ;

$W_3 = 1,397 > W_\alpha$ ;  $W_4 = 0,966 > W_\alpha$  следовательно, нулевая гипотеза не отвергается ни в одном случае.

Для образцов с надрезом имеем:  $W_1 = 0,936 > W_\alpha$ ;  $W_2 = 0,936 > W_\alpha$ ;  $W_3 = 0,936 > W_\alpha$ ;  $W_4 = 0,936 > W_\alpha$ . В данном случае нулевая гипотеза также принимается.

В работе [2] было показано, что, пользуясь гипотезой о независимости коэффициента вариации долговечности до разрушения, число циклов на любом уровне напряжений может быть определено по формуле

$$N_i = \bar{N}_i + \frac{\bar{N}_i \cdot (N_n - \bar{N}_n)}{\bar{N}_n}. \quad (6)$$

Как и в случае проверки зависимости (2), проведём соответствующие расчёты и аналогичный анализ зависимости (6), с помощью тех же критериев (табл. 3, 4).

Ранговые суммы для гладких образцов составят:  $R_1 = 54$ ;  $R_2 = 66$ ;  $R_3 = 40$ ;  $R_4 = 50$ , и для надрезанных –  $R_1 = 67$ ;  $R_2 = 57$ ;  $R_3 = 42$ ;  $R_4 = 44$ .

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{12}{n(n+1)} \left( \sum_{i=1}^m \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) = \\ &= \frac{12}{20 \cdot 21} \left( \frac{54^2}{5} + \frac{66^2}{5} + \frac{40^2}{5} + \frac{50^2}{5} \right) - 3(20+1) = 1,98 \end{aligned}$$

Таким образом, нулевая гипотеза о принадлежности всех выборок единой генеральной совокупности также не отвергается.

Критерий Шапиро-Уилка соответственно составит  
– для гладких образцов

$$\begin{aligned} W_1 &= 0,919 > W_\alpha; W_2 = 0,919 > W_\alpha; \\ W_3 &= 0,924 > W_\alpha; W_4 = 0,921 > W_\alpha; \end{aligned}$$

Таблица 3

*Расчётные значения  $N_i$  для образцов из Стали 45 9  
(гладких и надрезанных) при различных уровнях напряжений  $\sigma$*

№ обр.	$\lg N_{i1}$	$\lg N_{i2}$	$\lg N_{i3}$	$\lg N_{i4}$	№ обр.	$\lg N_{i1}$	$\lg N_{i2}$	$\lg N_{i3}$	$\lg N_{i4}$
	при $\sigma_1=300$ МПа; $\bar{N}_i=$	при $\sigma_2=285$ МПа; $\bar{N}_i=$	при $\sigma_3=270$ МПа; $\bar{N}_i=$	при $\sigma_4=255$ МПа; $\bar{N}_i=$		при $\sigma_1=270$ МПа; $\bar{N}_i=$	при $\sigma_2=250$ МПа; $\bar{N}_i=$	при $\sigma_3=230$ МПа; $\bar{N}_i=$	при $\sigma_4=210$ МПа; $\bar{N}_i=$
	98628	232274	572796	1485936		74817	218776	706318	2588213
Образцы гладкие					Образцы с концентратором напряжений				
1	72200	170035	419312	1087770	1	77300	226017	728552	2674611
2	86200	203005	500619	1298695	2	87300	255256	822802	3020615
3	98300	231502	570891	1480994	3	103000	301161	970774	3563841
4	113300	266827	658006	1706985	4	115900	338879	1092357	4010186
5	199200	469126	1156882	3001160	5	146900	429519	1384531	5082799
6	87811	206800	509976	1322970	6	67410	197100	635341	2332420
7	87811	206800	509976	1322970	7	79654	232900	750740	2756066
8	127003	299100	737591	1913445	8	89709	262300	845509	3103977
9	131165	308900	761759	1976139	9	104108	304400	981216	3602175
10	167470	394400	972605	2523111	10	126646	370300	1193641	4382015
11	57958	136494	336600	873201	11	62462	182632	588700	2161196
12	62401	146957	362400	940130,9	12	75204	219891	708800	2602099
13	94204	221854	547100	1419276	13	78589	229787	740700	2719208
14	103760	244360	602600	1563253	14	88605	259073	835100	3065763
15	121151	285316	703600	1825265	15	116764	341408	1100500	4040082
16	57480	135369	333824	866000	16	35844	104802	337825	1240200
17	66374	156315	385478	1000000	17	80485	235328	758567	2784800
18	105535	248541	612910	1590000	18	80485	235328	758567	2784800
19	120071	282774	697330	1809000	19	81106	237145	764423	2806300
20	180273	424552	1046959	2716000	20	113635	332255	1071004	3931800

– для надрезанных образцов

$$W_1 = 0,960 > W_\alpha ; W_2 = 0,965 > W_\alpha ;$$

$$W_3 = 0,965 > W_\alpha ; W_4 = 0,964 > W_\alpha .$$

$$H_2 = \frac{12}{n(n+1)} \left( \sum_{i=1}^m \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(n+1) =$$

$$= \frac{12}{20 \cdot 21} \left( \frac{67^2}{5} + \frac{57^2}{5} + \frac{42^2}{5} + \frac{44^2}{5} \right) - 3(20+1) = 2,36$$



Таблица 4

*Ранжирование общего вариационного ряда значений  $N_i$*

№ пп	$\lg N_{i1}$	Ранг и № уровня напряжений	$\lg N_{i2}$	Ранг и № уровня напряжений	$\lg N_{i3}$	Ранг и № уровня напряжений	$\lg N_{i4}$	Ранг и № уровня напряжений
Образцы гладкие								
1	57480	1(4)	135369	1(4)	333824	1(4)	866000	1(4)
2	57958	2(3)	136494	2(3)	336600	2(3)	873201	2(3)
3	62401	3(3)	146957	3(3)	362400	3(3)	940131	3(3)
4	66374	4(4)	156315	4(4)	385478	4(4)	1000000	4(4)
5	72200	5(1)	170035	5(1)	419312	5(1)	1087770	5(1)
6	86200	6(1)	203005	6(1)	500619	6(1)	1298695	6(1)
7	87811	7.5(2)	206800	7.5(2)	509976	7.5(2)	1322970	7.5(2)
8	87811	7.5(2)	206800	7.5(2)	509976	7.5(2)	1322970	7.5(2)
9	94204	9(3)	221854	9(3)	547100	9(3)	1419276	9(3)
10	98300	10(1)	231502	10(1)	570891	10(1)	1480994	10(1)
11	103760	11(3)	244360	11(3)	602600	11(3)	1563253	11(3)
12	105535	12(4)	248541	12(4)	612910	12(4)	1590000	12(4)
13	113300	13(1)	266827	13(1)	658006	13(1)	1706985	13(1)
14	120071	14(4)	282774	14(4)	697330	14(4)	1809000	14(4)
15	121151	15(3)	285316	15(3)	703600	15(3)	1825265	15(3)
16	127003	16(2)	299100	16(2)	737591	16(2)	1913445	16(2)
17	131165	17(2)	308900	17(2)	761759	17(2)	1976139	17(2)
18	167470	18(2)	394400	18(2)	972605	18(2)	2523111	18(2)
19	180273	19(4)	424552	19(4)	1046959	19(4)	2716000	19(4)
20	199200	20(1)	469126	20(1)	1156882	20(1)	3001160	20(1)
Образцы с концентратором напряжений								
1	35844	1(4)	104802	1(4)	337825	1(4)	1240200	1(4)
2	62462	2(3)	182632	2(3)	588700	2(3)	2161196	2(3)
3	67410	3(2)	197100	3(2)	635341	3(2)	2332420	3(2)
4	75204	4(3)	219891	4(3)	708800	4(3)	2602099	4(3)
5	77300	5(1)	226017	5(1)	728552	5(1)	2674611	5(1)
6	78589	6(3)	229787	6(3)	740700	6(3)	2719208	6(3)
7	79654	7(2)	232900	7(2)	750740	7(2)	2756066	7(2)
8	80485	8.5(4)	235328	8.5(4)	758567	8.5(4)	2784800	8.5(4)
9	80485	8.5(4)	235328	8.5(4)	758567	8.5(4)	2784800	8.5(4)
10	81106	10(4)	237145	10(4)	764423	10(4)	2806300	10(4)
11	87300	11(1)	255256	11(1)	822802	11(1)	3020615	11(1)
12	88605	12(3)	259073	12(3)	835100	12(3)	3065763	12(3)
13	89709	13(2)	262300	13(2)	845509	13(2)	3103977	13(2)
14	103000	14(1)	301161	14(1)	970774	14(1)	3563841	14(1)
15	104108	15(2)	304400	15(2)	981216	15(2)	3602175	15(2)
16	113635	16(4)	332255	16(4)	1071004	16(4)	3931800	16(4)
17	115900	17(1)	338879	17(1)	1092357	17(1)	4010186	17(1)
18	116764	18(3)	341408	18(3)	1100500	18(3)	4040082	18(3)
19	126646	19(2)	370300	19(2)	1193641	19(2)	4382015	19(2)
20	146900	20(1)	429519	20(1)	1384531	20(1)	5082799	20(1)

### Выводы

1. Для расширения баз опытных данных с целью проведения статистического анализа, либо для решения иных задач, связанных с оценкой характеристик сопротивления усталости, можно использовать гипотезу о постоянстве коэффициента вариации как долговечностей до разрушения, так и их логарифмов примерно с одинаковой степенью достоверности.

2. Проверка статистической гипотезы о законе распределения случайных величин показала, что нормальный закон распределения, которому подчиняется распределение логарифма долговечностей до разрушения, в равной мере может быть применён и к самой долговечности.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. – М.: Мир, 1984. – 624 с.
2. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
3. Коноплев А.В. Определение индивидуальных характеристик сопротивления усталости // Вісник ОНМУ. – 2007. – № 21. – С. 89-96.
4. Олейник Н.В., Коноплев А.В., Кобаков А.Г. Методы ускоренного определения характеристик сопротивления усталости в практических приложениях. – Одесса: Астропринт, 2000. – 138 с.

*Стаття надійшла до редакції 05.09.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету  
**В.Д. Євдокимов.**

УДК 629.123

А.В. Малахов, Е.А. Осташко, С.Н. Старостин

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА  
В КАВИТАЦИОННОМ СЕПАРАТОРЕ СУДОВЫХ ЛЬЯЛЬНЫХ ВОД**

*Для гидродинамического метода сепарации многофазных потоков на основе процесса суперкавитации рассмотрена инженерная методика расчета рабочего процесса. Сформулирована технологическая схема изменения производительности судового сепаратора.*

**Ключевые слова:** многофазный поток, сепарация, кавитатор.

*Для гідродинамічного методу сепарації багатофазних потоків на основі процесу суперкавітації розглянута методика розрахунку робочого процесу. Сформульована технологічна схема зміни продуктивності судового сепаратора.*

**Ключові слова:** багатофазний потік, сепарація, кавітатор.

*For the fluid dynamics method of multiphase flows separation on the base of supercavity process there was considered the methodic of working process calculation. For ship's bilge water separator the technological scheme for production variation was formulated.*

**Keywords:** multiphase flow, separation, cavitator.

**Введение.** Для решения проблемы сепарации многофазной смеси нефтепродуктов с водой в условиях работы судна в ходе выполненных исследований был предложен метод сепарации на основе гидродинамического процесса суперкавитации. Разработанная конструкция судового сепаратора базировалась на создании кавитационной суперкаверны внутри спрофилированной рабочей камеры и постоянном отборе водяного пара из нее.

Кавитатор представляет собой плоскую трубу, которая в поперечном сечении имеет вид прямоугольника. На входе и выходе рабочей камеры кавитатора, установлены разделительные пластины, предназначенные для поддержания внешней границы возникающей суперкаверны в пространственно устойчивом состоянии.

**Постановка задачи** – разработать методику расчета рабочего процесса внутри рабочей камеры сепаратора судовых льяльных вод, работающего на принципе суперкавитации.

**Основные материалы исследований.** Основной величиной, определяющей работу кавитационного канала является перепад давления на его внешних границах. Падение гидродинамического давления внутри

двумерного каналу, стінки якого представляють дві паралельні площини в першому приближенні можна розраховувати по закону Вейсбаха-Дарси [1, 2]

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{H} \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного трия;

$L$  – довжина каналу, м;

$H$  – висота каналу, м;

$\rho$  – густина потоку, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – швидкість потоку, м/с.

При допомозі рівняння (1) для декількох значень густини потоку судових льодяних вод була отримана номограма залежності величини падіння тиску від швидкості руху оброблюваного потоку. Вона показана на малюнку 1. Отримані дані відповідають турбулентному режиму руху, а розрахунок величини коефіцієнта гідравлічного трия  $\lambda$  здійснювався по формулі Блазиуса з урахуванням відсутності впливу шероховатості стінок каналу

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (2)$$

При знаходженні числа Рейнольдса  $Re$  в якості характерного розміру використовувалась висота каналу  $H$ . Кінематична в'язкість потоку во всіх розрахунках приймалась незмінною і рівною  $\nu = 2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>.

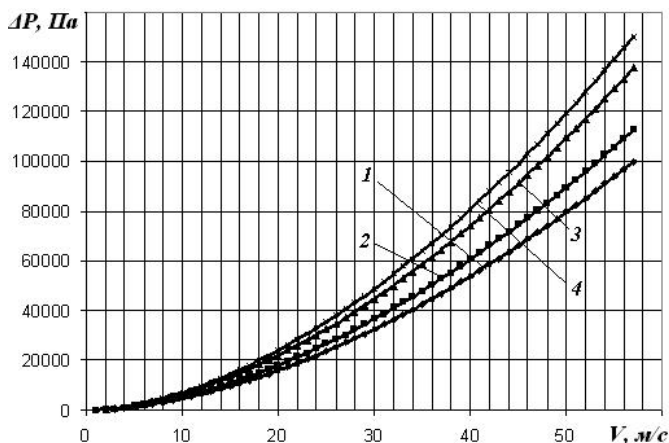


Рис.1. Залежність перепаду тиску в кавітаторі від входної швидкості потоку:

1 –  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>; 2 –  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>;  
3 –  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>; 4 –  $\rho = 1200$  кг/м<sup>3</sup>

Анализ рисунка 1 позволяет сделать вывод о том, что рост плотности многофазного потока приводит к увеличению величины перепада давления внутри кавитатора. Другими словами, при прочих равных условиях процесс кавитации с ростом плотности будет начинаться при меньших значениях входной скорости обрабатываемого потока.

С эксплуатационной точки зрения особый интерес представляет расчет рабочего процесса внутри рабочей камеры сепаратора. Инженерная методика расчета рабочего процесса внутри кавитатора должна базироваться на уравнении 1 и номограмме 1. Именно величина падения давления по длине рабочей камеры кавитатора с учетом физических свойств обрабатываемого многофазного потока является определяющей при расчете геометрических размеров рабочей камеры сепарационной установки.

Основные положения расчета рабочего процесса внутри кавитатора в ходе исследований были сформулированы следующим образом:

1. Величина производительности сепаратора может оцениваться по значению массового расхода отбираемого из суперкаверны водяного пара. Масса пара, генерируемого внутри кавитационной полости, рассчитывается по формуле Герца-Кнудсена

$$G = \alpha P_{н.п.} \left( \frac{M}{2\pi R t} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где  $G$  – масса пара испаряющегося/конденсирующегося за единицу времени на единице поверхности;

$\alpha$  – коэффициент аккомодации (для воды  $\alpha = 0,04-1,0$ );

$P_{н.п.}$  – давление насыщенного водяного пара внутри каверны;

$M$  – молекулярный вес водяного пара;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$t$  – абсолютная температура.

2. Время наполнения каверны водяным паром, при условии, что она имеет форму в виде сферы радиусом  $r$  можно определять как

$$\tau = \frac{r}{3\alpha} \left( \frac{2\pi M}{R t} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

3. Пространственное изменение сферического парового объема можно описывать уравнением вида

$$\left( \frac{dr}{dt} \right)^2 = \frac{2}{3} \frac{P_{\infty}}{\rho} \left( \frac{r_{max}^3}{r^3} - 1 \right). \quad (5)$$

4. В случае нарушения устойчивости каверны время схлопывания ее сферического объема может рассчитываться по формуле Релея

$$t = 0,915 r_{max} \sqrt{\frac{\rho}{P_{\infty}}}. \quad (6)$$

5. Условие баланса между давлением внутри каверны и давлением насыщенного водяного пара должно описываться неравенство вида

$$t_p > \frac{r_{max}}{3\alpha} \left( \frac{2\pi M}{Rt} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

где  $t_p$  – время выхода каверны на стационарное состояние;

$r_{max}$  – максимальный размер каверны при ее расширении.

Из (7) видно, что для температуры многофазного потока равной 20 °С, равенство между давлением водяного пара внутри каверны и давлением насыщенного водяного пара будет иметь место при

$$\frac{r_{max}}{t_p} \leq 17,8 \text{ м/с.}$$

6. Оценка массы растворенных газов, возникающих внутри кавитационной каверны прямоугольной формы на первоначальной стадии возникновения каверны внутри сепаратора может осуществляться по выражению

$$G_2 = \frac{4}{3} \frac{c_2}{K} bL^3, \quad (8)$$

где  $G_2$  – масса газа внутри каверны в момент ее выхода на устойчивое состояние;

$c_2$  – начальная концентрация газа в потоке судовых льяльных вод;

$K$  – постоянная Генри;

$b$  – толщина каверны;

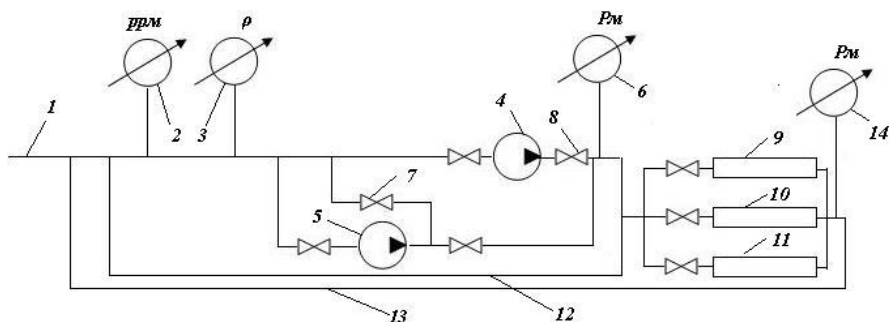
$L$  – длина каверны.

При эксплуатации судового сепаратора льяльных вод их исходный состав может быть величиной переменной, что в конечном итоге выразится в изменении его производительности. Для устранения этого недостатка в ходе эксплуатации необходимо постоянно поддерживать неизменной величину массового расхода получаемого в ходе сепарации водяного пара. Для этого была разработана технологическая схема регулирования напорно-расходных характеристик сепаратора, которая показана на рисунке 2. Как видно из рисунка, принцип ее работы основывается на использовании автоматизированной схемы управления.

Основными средствами КИПа являются измеритель концентрации 2, консистомер 3 и манометр 6. Функционирование схемы подразумевает использование трех следующих вариантов работы сепаратора.

Первый вариант работы – нормативная эксплуатация, при которой обрабатываемый многофазный поток характеризуется рабочим диапазоном плотности и концентрации нефтесодержащих примесей.

Как видно на схеме, многофазный поток движется по линии 1. В том случае, когда плотность и/или состав судовых льяльных вод не выходят за пределы рабочего диапазона судового сепаратора, при помощи насоса 4 создается необходимое давление на входе в рабочую камеру кавитатора 9.



*Рис. 2. Схема изменения производительности сепаратора:  
1 – линия подачи судовых льяльных вод; 2 – измеритель концентрации;  
3 – консистомер; 4, 5 – насос; 6, 14 – манометр; 7, 8 – клапан;  
9, 10, 11 – кавитационный канал; 12 – внутренний контур обработки;  
13 – внешний контур обработки*

Характеристика сети, т.е. величина рабочего напора развиваемого насосом 4, находится по уравнению

$$H_m = \frac{P_{\text{вых}}}{\rho g} + \left( \Sigma \zeta + \frac{0,3164 l}{\sqrt[4]{Re} d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} + \frac{0,3164 L V^2}{\sqrt[4]{Re} H 2g}, \quad (9)$$

где  $P_{\text{вых}}$  – давление на выходе из кавитационного канала;

$\zeta$  – коэффициент местных потерь;

$Re$  – число Рейнольдса;

$l, d$  – длина и диаметр рабочих трубопроводов;

$Q$  – расход судовых льяльных вод;

$L, H$  – длина и ширина рабочего канала кавитатора;

$V$  – скорость потока на входе в кавитатор.

Численное значение  $P_{\text{вых}}$  в уравнении (9) соответствует показаниям манометра 14, который должен устанавливаться сразу на выходе из рабочей камеры кавитатора.

Второе слагаемое в уравнении соответствует потерям напора по длине кавитатора. Третье слагаемое соответствует гидравлическим потерям напора во всей гидравлической сети сепаратора (суммарные потери по длине и во всех местных сопротивлениях).

Второй вариант работы установки – плотность потока судовых льяльных вод и концентрация примесей в них по сравнению с рабочими значениями являются заниженными.

В этом случае необходимо увеличивать производительность сепарационной установки. Как видно на рисунке 2 в технологической схеме предусматривается подключение по схеме параллельного гидравлического соединения дополнительных рабочих кавитационных каналов.

Суммарная характеристика гидравлической сети сепаратора при таком режиме эксплуатации пересчитывается по правилам расчета параллельного соединения:

- общий расход в кавитаторах

$$Q = \sum_I^n Q_i \quad (10)$$

- потери напора на каждой отдельной ветви сети

$$\sum h_l = \dots = \sum h_n = \frac{P_{\text{вых}}}{\rho g} + \left( \Sigma \zeta + \frac{0,3164 l}{\sqrt[4]{Re} d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} \quad (11)$$

В целом, конечное значение потребного напора всего сепаратора необходимо повышать на величину, соответствующую выражению (11). Другими словами, величина напора, развиваемого насосом 4 (см. рис. 2)

должна увеличиваться на численное значение  $\sum_I^n h_n$ . При расчете суммарной характеристики сети значение  $n$  принимается равным числу подключаемых кавитаторов.

Третий вариант работы установки – плотность потока и концентрация примесей в нем превышают предустановленные нормативные значения.

При таком режиме эксплуатации рабочий насос установки 4 уже не будет обеспечивать необходимые расходно-напорные параметры гидравлической сети. В конечном итоге будет наблюдаться срыв характеристики. Такие условия работы сепаратора являются наиболее плохими, поскольку резкое изменение величины напора или расхода в сепараторе в конечном итоге приведет к поломке мест соединения рабочих трубопроводов с рабочей камерой сепаратора и его разгерметизации. Единственным техническим решением такой проблемы может быть установка дополнительного нагнетателя. В этом случае в технологической схеме предусматривается установка насоса 5 по схеме последовательного подключения на линии обработки 12. Ввод насоса в эксплуатацию осуществляется за счет клапана 7.

Получаемое давление во всей гидравлической системе сепарационной установки на третьем режиме работы необходимо рассчитывать по правилам последовательного гидравлического соединения:

- суммарный расход в камерах сепарации

$$Q = Q_i \quad (12)$$

- потери напора на каждой линии обработки судовых льяльных вод

$$\sum h = \sum_I^n h_i = n \left[ \frac{P_{\text{вых}}}{\rho g} + \left( \Sigma \zeta + \frac{0,3164 l}{\sqrt[4]{Re} d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} \right]. \quad (13)$$



Во всех трех случаях работы сепарационной установки предполагалось, что скоростной напор на входе и выходе из сепаратора является идентичным. В том случае, когда это равенство не соблюдается, т.е. когда скорость потока судовых льяльных вод в начале и конце рабочей камеры различны необходимо учитывать скоростной напор. Для случая, когда обрабатываемый поток характеризуется высокими значениями чисел Рейнольдса (турбулентный режим движения) потребный напор установки определяется как

$$H_n = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2g} + \sum h + \frac{P_k}{\rho g}. \quad (14)$$

При движении на относительно не высоких скоростях влияние многофазности потока судовых льяльных вод на пространственные и гидродинамические характеристики суперкавитационной каверны является очень важным. Обычно такая оценка производится с помощью величины скорости распространения звука, которая в обычной чистой воде приблизительно равна 1450 м/с. При наличии воздуха этот показатель резко уменьшается. Для изотермического движения потока с большой скоростью, когда воздух не успевает выделяться удельный объем многофазного потока можно записать в виде

$$V = \frac{1}{\rho_\Sigma} = (1 - M_g)V_{\text{воды}} + M_g V_g, \quad (15)$$

где  $M_g$  – масса воздуха в единице объема судовых льяльных вод;

$\rho_\Sigma$  – суммарная плотность многофазного потока;

$V_{\text{воды}}$  и  $V_g$  – удельный объем воды и воздуха в смеси.

С учетом того, что  $V_{\text{воды}} = \text{const}$ , а  $V_g = \frac{k}{p}$  выражение (15) можно

переписать как

$$\frac{1}{\rho_\Sigma} = \frac{(1 - M_g)}{\rho_{\text{воды}}} + \frac{M_g k}{p}, \quad (16)$$

где  $k = RT$ ;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – абсолютная температура;

$p$  – давление.

Из (16) величина давления составляет

$$p = \frac{M_g \rho_\Sigma k}{1 - (1 - M_g) \frac{\rho_\Sigma}{\rho_{\text{воды}}}}. \quad (17)$$

С учетом того, что скорость звука в упругой среде, к которой можно относить также и судовые льяльные воды определяется как

$$c = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}} \quad (18)$$

в соответствии с производной

$$\frac{\partial p}{\partial \rho_{\Sigma}} = M_{\epsilon} k + \frac{2(1-M_{\epsilon})}{\rho_{\text{води}}} p + \frac{(1-M_{\epsilon})^2}{M_{\epsilon} k} \left( \frac{p}{\rho_{\text{води}}} \right)^2 \quad (19)$$

окончательное значение распространения скорости звука в судовых льяльных водах при сепарации можно записать в виде

$$c = \sqrt{M_{\epsilon} k} + \frac{(1-M_{\epsilon})p}{\rho_{\text{води}} \sqrt{M_{\epsilon} k}}. \quad (20)$$

При численных значениях:

- масса воздуха в единице объема судовых льяльных вод –  $M_{\epsilon} = 10^{-4}$ ;
- абсолютная температура –  $T = 293 \text{ K}$ ;
- давление –  $p = 405468 \text{ Па}$ ;
- удельная газовая постоянная для сухого воздуха –  $R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}$ ,

выражение (20) дает оценку распространения скорости звука в судовых льяльных водах равную  $c = 139 \text{ м/с}$ . Полученное значение в десять раз меньше аналогичного параметра для однофазного потока чистой воды. Число Маха при скорости сепарируемого потока судовых льяльных вод  $30 \text{ м/с}$  становится равным  $M = V/c = 0,21$ , что в свою очередь указывает на необходимость учета эффектов сжимаемости.

#### **Выводы:**

1. Основной величиной, определяющей работу кавитационного канала является перепад давления на его внешних границах. В общем случае он должен определяться с учетом скоростного напора.
2. При прочих равных условиях с ростом плотности обрабатываемого потока судовых льяльных вод процесс кавитации будет начинаться при меньших значениях входной скорости.
3. При эксплуатации судового сепаратора льяльных вод их исходный состав может быть величиной переменной, что в конечном итоге выразится в изменении его производительности. Для устранения этого недостатка разработана технологическая схема, позволяющая в ходе эксплуатации постоянно поддерживать неизменной величину массового расхода получаемого в ходе сепарации водяного пара.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Международная конвенция MARPOL 73/78.*
2. *Малахов А.В., Ткаченко И.В. Гидродинамика разделения многофазных смесей на основе воды // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: ХАИ, 2008. – № 4 (51). – 34-38.*

3. Малахов А.В., Ткаченко И.В., Гугуев О.Е. Экспериментальное изучение гидродинамического процесса суперкавитации при сепарации судовых льяльных вод // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 27. – С. 110-116.
4. Савченко Ю.Н. Исследования суперкавитационных течений // Прикладна гідромеханіка. – 2007. Т. 9(81). – № 2-3.
5. Сиротюк М.Г. Влияние температуры и газосодержания жидкости на кавитационные процессы // Акустический журнал. – 1966. Т.12. – В.1. – С. 87-92.

*Стаття надійшла до редакції 17.09.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електротехніка та електрообладнання суден» Одеського національного морського університету **В.О. Яровенко**.

УДК 621.431.74

С.Н. Гловацкая, С.В. Руденко

**МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ УНИВЕРСИТЕТА НА БАЗЕ ССП**

*Предложена модель процесса стратегического управления международной деятельностью университета на базе сбалансированной системы показателей.*

**Ключевые слова:** международная деятельность, видение, перспективы, стратегическое управление, сбалансированная система показателей.

*Запропоновано модель процесу стратегічного управління міжнародною діяльністю університету на базі збалансованої системи показників.*

**Ключові слова:** міжнародна діяльність, бачення, перспективи, стратегічне управління, збалансована система показників.

*The authors proposed to use the Balanced Scorecard as a strategic management system for university international activity.*

**Keywords:** international activities, vision, perspectives, strategic management system, balanced scorecard.

**Актуальность.** Одним из важнейших аспектов деятельности университета является его международная деятельность. Главной целью международной деятельности университета является его интернационализация путем вхождения в мировое образовательное и научное пространство. Для достижения этой цели руководство университета должно разработать эффективную стратегию ее достижения. При разработке стратегии международной деятельности необходимо оценивать финансовые выгоды университета от этого вида деятельности, а также такие нематериальные активы, как имидж университета, потенциальные возможности, лояльность партнеров, опыт, заинтересованность и гибкость сотрудников.

Сосредоточение внимания только на финансовых показателях не дает полной информации об эффективности стратегии международной деятельности университета и не позволяет построить прогноз ее развития. Поэтому необходимо использовать и нефинансовые показатели, которые должны не только дополнять финансовые показатели, но и находиться в логической связи с ними.

**Цель.** Разработать модель процесса стратегического управления международной деятельностью университета на базе ССП.

**Изложение основного материала.** Использование сбалансированной системы показателей (ССП) в качестве базового инструмента для управления стратегией международной деятельности университета дополнит систему ее финансовых показателей, а также:

- позволит обеспечить рост доходов университета от международной деятельности;
- расширит партнерские отношения с зарубежными учебными заведениями и научными центрами;
- выявит ключевые внутренние процессы, на усовершенствовании которых должен сосредоточиться университет, чтобы улучшить свой международный имидж;
- позволит создать систему постоянной оценки с «обратной связью», позволяющей систематически оценивать динамику изменений эффективности международной деятельности;
- будет способствовать привлечению зарубежных инвестиций в университетскую науку и образование, поможет сориентировать в этом направлении работу с персоналом, развитие внутренних структур университета, корпоративной культуры и внутреннего климата;
- повысит удовлетворенность персонала.

Предлагаемая модель управления международной деятельностью университета основывается на использовании системы сбалансированных показателей [1, 2, 3]. Суть такой ССП для международной деятельности университета заключается в формировании стратегии в нескольких перспективах, постановке стратегических целей и измерении степени достижения данных целей при помощи показателей. ССП должна проецироваться на всю международную деятельность университета путем разработки индивидуальных целей в рамках уже разработанных общеуниверситетских стратегий и стимулировать понимание сотрудниками своего места в реализации стратегии университета.

От правильно и понятно сформулированной стратегии международной деятельности зависит развитие университета в целом. При этом важно понимать, что хорошо разработанную стратегию еще надо успешно реализовать. Основное назначение ССП – обеспечение разработки показателей и контроль выполнения стратегии развития международной деятельности университета. ССП должна стать ядром системы управления международной деятельностью в университете.

При помощи ССП стратегия станет регулярной деятельностью всех структурных подразделений университета, вовлеченных в процесс управления путем планирования, учета, контроля и анализа сбалансированных показателей.

Таким образом, стратегия развития международной деятельности в университете может претендовать на полноту и эффективность только в том случае, если в ней найдут отражение различные ее аспекты.

Перспективы (составляющие) – это наиболее значимые сферы, в которых университет стремится достигнуть результатов. Перспектива является важнейшим элементом стратегии.

При разработке стратегии международной деятельности университета на базе ССП предлагается рассмотреть ее в рамках пяти перспектив развития (рис. 1):



*Рис.1. Перспективы ССП для управления стратегией международной деятельности в университете*

- финансы;
- партнеры;
- клиенты;
- внутренние процессы;
- обучение и развитие сотрудников.

Разработка сбалансированной системы показателей международной деятельности университета начинается с обсуждения руководством университета проблемы определения конкретных стратегических целей международной деятельности на основе имеющегося видения и стратегии. Видение – это взгляд на желаемое, практически достижимое будущее университета, а также на то, каким путем достичь этого будущего.

Финансовая перспектива в ССП определяет управление затратами и содержанием стратегического плана. Для того чтобы определить финансовые цели, необходимо оценить свои возможности и возможности партнерских и клиентских отношений. Клиентами в данном случае являются абитуриенты, студенты, аспиранты и слушатели курсов повышения квалификации, т.е. физические либо юридические лица, получающие образовательные и другие виды услуг предоставляемые универ-

ситетом. К партнерам следует отнести зарубежные организации и университеты, с которыми заключены договора о сотрудничестве.

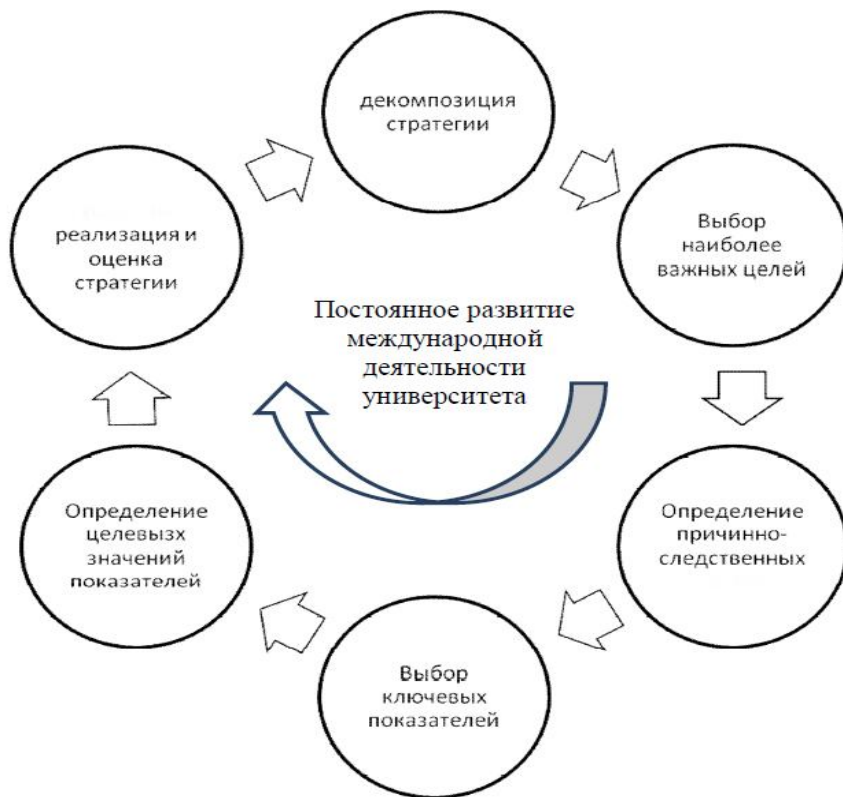
Как только установлены финансовые и партнерские цели, руководство университета разрабатывает цели для внутренних процессов. Внутренний процесс – последовательность действий (подпроцессов), направленных на получение заданного результата, ценного для университета. От того, как университет развивает и совершенствует свои внутренние процессы, зависит не только его успешная деятельность в настоящем, но и выживание в будущем. Система оценки внутренних процессов должна фокусировать внимание на улучшении качества и сокращении их временного цикла. ССП должна высветить те из них, которые являются наиболее значимыми для получения наилучших результатов. При этом удастся обнаружить абсолютно новые внутренние процессы, которые руководство университета должно довести до совершенства, с тем, чтобы предложенная стратегия привела к успеху.

Последний компонент ССП, а именно обучения и развития персонала, это серьезные инвестиции в переподготовку кадров, информационные технологии и системы. Следует также отметить, что обучение и карьерный рост сотрудников университета являются обязательными условиями его прогресса. Публикации научных работ, участие в конференциях, симпозиумах и выставках формирует профессиональный имидж университета. Инвестиции в людей, системы и процедуры станут генераторами успешных инноваций и модернизации внутренних процессов в университете.

На рис.2 представлена модель процесса стратегического управления международной деятельностью университета на базе ССП. Этот процесс можно рассматривать как динамическую совокупность взаимосвязанных процессов (этапов), логически вытекающих один из другого. При этом существует и обратная связь и взаимное влияние каждого процесса на остальные.

На первом этапе предлагается провести декомпозицию стратегии университета в сфере международной деятельности на конкретные стратегические цели, детально отображающие ее различные стратегические аспекты. При интеграции индивидуальных целей необходимо установить причинно-следственные связи между ними таким образом, чтобы полный набор целей отображал стратегию международной деятельности университета в целом.

Стратегические цели должны описывать планируемые результаты в конкретной области международной деятельности университета. При этом каждая стратегическая цель должна быть связана с одной из перспектив развития.



*Рис.2. Модель процесса стратегического управления международной деятельностью университета на базе ССП*

На втором этапе проводится выбор наиболее важных целей, основываясь на следующих соображениях:

- цели должны быть измеримыми;
- на достижение целей можно влиять;
- цели приемлемы для различных сотрудников университета и согласованы с общей целью деятельности университета.

В качестве стратегических целей по отдельным перспективам развития международной деятельности университета предлагается принять:

- в перспективе «финансы» – увеличение дохода университета от международной деятельности;
- в перспективе «партнеры» – поиск новых зарубежных партнеров, удовлетворенность партнеров сотрудничеством;
- в перспективе «клиенты» – увеличение числа иностранных студентов и аспирантов, удовлетворенность качеством учебного процесса;
- в перспективе «внутренние процессы» – повышение качества учебного процесса и научных исследований в университете, активизация деятельности по обмену преподавателями, студентами и аспирантами, по-



вышение качества международной проектной деятельности, повышение имиджа университета, повышение эффективности рекламной и маркетинговой деятельности, улучшение материально-технической базы;

– в перспективе «обучение и развитие» – сохранение кадровой базы, повышение квалификации сотрудников международного отдела, доступ к стратегической информации.

На третьем этапе необходимо связать стратегические цели причинно-следственными цепочками. Этот этап является одним из основных элементов ССП. Устанавливаемые причинно-следственные связи должны отражать наличие зависимостей между отдельными целями.

Очевидно, что стратегические цели не являются независимыми и оторванными друг от друга, наоборот, они тесно друг с другом связаны и влияют друг на друга. Достижение одной цели служит достижению другой и так далее, до главной цели. Такие связи должны быть изображены в стратегической карте ССП университета.

На четвертом этапе проводится выбор ключевых показателей для оценки эффективности международной деятельности университета.

Показатели являются средством оценки продвижения к реализации стратегической цели. Однако это и средство для оценки результативности и эффективности внутренних процессов. Показатели служат как для оценки результативности процессов, так и для оценки степени достижения целей одновременно.

В стратегическом менеджменте различают показатель опережающий – показатель, изменения которого во времени происходят за короткий срок и показатель отсроченный – показатель, который говорит о конечных целях стратегии.

Показатели можно идентифицировать только тогда, когда существует ясность в отношении целей. Выбор ключевых показателей достаточно ответственный и неоднозначный процесс. Особенно это становится очевидным, когда происходит определение нефинансовых показателей. Финансовые показатели в образовательных учреждениях отслеживаются постоянно, а вот назначение нефинансовых показателей, тем более на первом этапе, достаточно сложный процесс из-за их неоднозначности. При оценке показателей по международной деятельности имеет смысл расположить их по степени значимости в каждой из пяти перспектив и оставить не более пяти ключевых и наиболее важных из них по каждой цели.

Предлагаемые цели и соответствующие ключевые показатели их достижения при управлении стратегией международной деятельности университета приведены в табл. 1.

С учетом вышесказанного стратегическая карта ССП для международной деятельности университета приведена на рис.3.

На пятом этапе необходимо определить целевые значения выбранных показателей. Целевое значение показателя – это численное значение показателя, к которому следует стремиться для достижения цели.

*Таблиця 1*

*Цели и показатели ССП  
по международной деятельности университета*

<b>Перспектива</b>	<b>Стратегическая цель</b>	<b>Ключевые показатели</b>
<b>1. Финансы</b>	1.1. Увеличение доходов от международной деятельности	1.1.1. Объем средств полученных от международной деятельности
<b>2. Партнеры</b>	2.1. Поиск новых партнеров  2.2. Удовлетворенность партнеров сотрудничеством	2.1.1. Количество международных договоров. 2.2.1. Количество новых международных договоров заключенных со старыми партнерами
<b>3. Клиенты</b>	3.1. Увеличение количества иностранных студентов  3.2. Удовлетворенность качеством учебного процесса	3.1.1. Количество иностранных студентов и аспирантов 3.2.1. Индекс удовлетворенности иностранных студентов. 3.2.2. Количество иностранных студентов, продолживших обучение в аспирантуре или прошедших переподготовку и повышение квалификации
<b>4. Внутренние процессы</b>	4.1. Повышение качества учебного процесса и научных исследований  4.2. Активизация деятельности по обмену преподавателями, студентами и аспирантами	4.1.1. Доля НПП, имеющего научные степени кандидата и доктора наук 4.1.2. Количество научных статей, напечатанных в международных изданиях 4.1.3. Количество зарубежных поездок 4.1.4. Количество докладов на международных конференциях 4.1.5. Количество патентов и изобретений 4.2.1. Количество преподавателей, прошедших стажировку, научную и педагогическую работу за границей 4.2.2. Количество студентов и аспирантов, прошедших обучение и практику за границей

*Продолжение табл. 1*

	<p>4.3. Повышение качества международной проектной деятельности</p> <p>4.4. Повышение имиджа университета</p> <p>4.5. Повышение эффективности рекламной и маркетинговой деятельности</p> <p>4.6. Улучшение материально-технической базы</p>	<p>4.3.1. Количество международных образовательных проектов и программ</p> <p>4.3.2. Количество международных научно-технических проектов</p> <p>4.4.1. Рейтинг университета среди вузов Украины</p> <p>4.4.2. Членство университета в международных организациях</p> <p>4.4.3. Количество иностранных специалистов, посетивших университет</p> <p>4.5.1. Количество выставочно-презентационных мероприятий</p> <p>4.5.2. Количество наград и дипломов на международных выставках</p> <p>4.5.3. Количество статей и публикаций об университете</p> <p>4.6.1. Обеспечение иностранных студентов общежитиями</p> <p>4.6.2. Количество иностранных студентов, проживающих в общежитии</p>
<p><b>5. Обучение и развитие сотрудников</b></p>	<p>5.1. Сохранение кадровой базы</p> <p>5.2. Повышение квалификации сотрудников международного отдела</p> <p>5.3. Доступ к стратегической информации</p>	<p>5.1.1. Удовлетворенность сотрудников, вовлеченных в международную деятельность</p> <p>5.1.2. Текучесть кадров международного отдела</p> <p>5.1.3. Средняя заработная плата сотрудников международного отдела</p> <p>5.2.1. Количество сотрудников прошедших повышение квалификации</p> <p>5.2.2. Затраты на обучение сотрудников</p> <p>5.3.1. Количество ПК с доступом к стратегической информации</p>

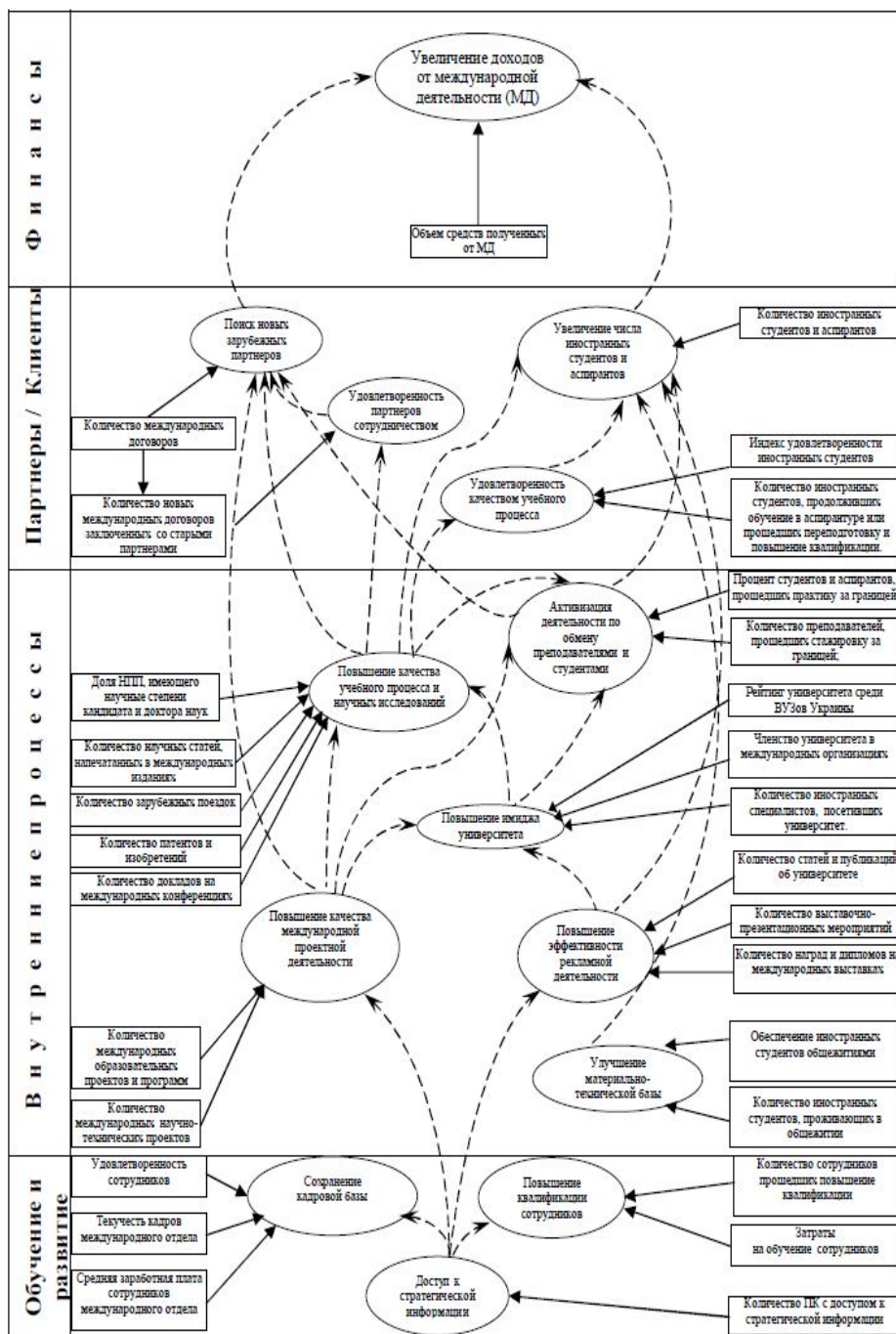


Рис.3. Стратегическая карта ССП  
для международной деятельности университета

Следует заметить, что без наличия целевых значений показатели, разработанные для измерения стратегических целей, не имеют смысла. Определение же целевых значений показателей вызывает сложности не только при разработке ССП. Принципиальная сложность определения целевого значения того или иного показателя состоит в том, чтобы найти реально достижимый уровень. Очевидно, что каждый университет сам определяет целевые значения показателей в зависимости от разработанной стратегии международной деятельности и средних (рекомендуемых) значений устанавливаемых Министерством образования для всех университетов.

На завершающем этапе разрабатываются соответствующие мероприятия в виде отдельных проектов для достижения поставленных целей, а также проводится анализ степени их достижимости. Стратегические мероприятия (проекты) обеспечивают выполнение стратегии. Все проекты, реализуемые в университете, должны быть увязаны с ССП, направлены на достижение поставленных целей в течение заданного периода времени и при установленном бюджете.

При этом необходимо оценивать:

- соответствие выбранных показателей для оценки степени достижения выработанных целей;
- простоту расчета значений показателей;
- достижимость целевых значений выбранных показателей.

Оценка показателей заключается, прежде всего, в том, чтобы понять возможность расчета фактического значения показателя на основе данных отчетного периода. Кроме того, необходимо проводить сравнения плановых и фактических значений выбранных показателей и выяснять причины отклонений. Такой анализ сопровождается либо корректировкой целевого значения показателя, либо разработкой корректирующих мероприятий, направленных на достижение установленного ранее целевого значения показателя.

Кроме того, целесообразно прогнозировать целевые значения показателей на длительный период времени.

Мероприятия (проекты) для достижения целевых значений показателей также должны подвергаться анализу, а именно необходимо оценивать:

- сроки выполнения всех мероприятий согласно утвержденному плану;
- соблюдение бюджета времени, финансовых и других видов ресурсов.

Если разработанные проекты для достижения стратегических целей не завершены, их следует завершить. При необходимости должны быть разработаны новые проекты.

Внедрение управления международной деятельностью на базе ССП – процесс, требующий значительного времени, часть из которого

уходит на отлаживание системы и ее поддержку. Для улучшения процесса стратегического управления международной деятельностью на базе ССП руководство университета и ответственная структура должны постоянно проводить анализ и оценку эффективности международной деятельности.

**Выводы.** Предлагаемая модель управления международной деятельностью университета основывается на использовании системы сбалансированных показателей. Суть такой ССП заключается в формировании стратегии в нескольких перспективах, постановке стратегических целей и измерении степени достижения данных целей при помощи показателей. ССП должна проецироваться на всю международную деятельность университета путем разработки индивидуальных целей в рамках уже разработанных общеуниверситетских стратегий и стимулировать понимание сотрудниками своего места в реализации стратегии университета.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Роберт С. Каплан, Дейвид П. Нортон. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2003. – 304 с.
2. Kaplan R.S. and Norton D.P. The Balanced Scorecard: Measures That Drive Performance // Harvard Business Review. – January. – February. – 1992. – P.71-79.
3. Kaplan R.S., Norton D. Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System // Harvard Business Review. – 1996. – January/February. – P. 82.

*Стаття надійшла до редакції 17.09.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління системами безпеки життєдіяльності» Одеського національного політехнічного університету **В.Д. Гогунський**.

УДК 621. 431. 74

С.В. Руденко, А.В. Шахов

АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ  
РЕАЛИЗАЦИИ ПРИРОДООХРАННОЙ ПРОГРАММЫ  
В МКР. «ЛУЗАНОВСКИЙ» г. ОДЕССЫ

*В статье анализируются эколого-социальные результаты реализации региональной программы «Основные направления экологической безопасности и поддержания экологического природоохранной равновесия в районе расположения промывочно-пропарочной станции Одесса-Сортировочная Одесской железной дороги», в мкр. «Лузановский» г. Одессы.*

**Ключевые слова:** программа, результат, показатели, концентрация, риск.

*У статті аналізуються еколого-соціальні результати реалізації регіональної природоохоронної програми «Основні напрямки екологічної безпеки і підтримки екологічної рівноваги в районі розташування промивно-пропарювальної станції Одеса-Сортувальна Одеської залізниці», у мкр. «Лузанівський» м. Одеси.*

**Ключові слова:** програма, результат, показники, концентрація, ризик.

*The eco-social results of realization of the regional nature protection program “Basic directions of ecological safety and maintenance of ecological equilibrium in the district location of the washing-steaming station Odessa-Sortirovochnaya of Odessa railway” in micro region “Luzanovskij”, Odessa, are analyzed in this article.*

**Keywords:** program, result, indexes, concentration, risk.

**Введение.** На протяжении почти десяти лет жители микрорайона «Лузановский», осознав свое конституционное право на безопасную для проживания окружающую среду и на компенсацию ущерба в случае нарушения этого права, заняли активную гражданскую позицию в деле защиты экологической безопасности своего района. В результате активных действий общественности власти обратили внимание на проблему микрорайона и во исполнение:

– поручений Президента Украины от 08.09.1999 г. за № 439/27343-01, от 16.09.1999 г. за № 354/28320-01 и от 05.10.1999 г. за № 22/106762-15К;

– поручений Кабинета Министров № 20570/2 от 09.12.1999 г. и № 20570/2 от 15.01.2000 г.;

– решения Одесского городского совета № 421-XXIII «Про комплекс мероприятий по улучшению экологической обстановки микрорайона «Лузановский» от 9.12.1999 г.

была разработана и утверждена региональная природоохранная программа «Основные направления экологической безопасности и поддержания экологического равновесия в районе расположения промывочно-пропарочной станции Одесса-Сортировочная Одесской железной дороги».

**Цель.** Основная цель статьи – проанализировать эколого-социальные результаты, полученные в результате реализации природоохранной программы в микрорайоне «Лузановский» г. Одессы.

**Изложение основного материала.**

**Экологические результаты реализации программы**

Общий экологический результат природоохранной программы заключается в уменьшении негативного действия на окружающую среду и улучшение ее состояния в результате снижения объемов загрязнений, которые поступают в окружающую среду.

В качестве показателей, которые оценивают экологические результаты природоохранной программы использовались:

– уровень действия вредного фактора – концентрации химических веществ в воздухе, почве и воде.

– величина объема загрязнений (объем вредных выбросов в атмосферу по отдельным ингредиентам, объем вредных веществ, которые поступают в водные объекты со сточными водами), которые поступают в окружающую среду.

Ликвидация технологических прудов, экологизация технологического процесса обработки цистерн эстакады для приема и обработки цистерн, а также перевод котельной на газообразное топливо привела к уменьшению концентрации вредных веществ в воздухе, воде и почве (табл. 1, 2 и 3), а также к значительному уменьшению объемов выбросов этих веществ атмосферу микрорайона (табл. 4).

*Таблица 1*

*Уровень концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе*

$C_xH_y$ , мг/м <sup>3</sup>		$CO_2$ , мг/м <sup>3</sup>		$SO_2$ , мг/м <sup>3</sup>		$NO_2$ , мг/м <sup>3</sup>	
ПДК	maxC	ПДК	maxC	ПДК	maxC	ПДК	maxC
1	0,6	3	3	0,05	0,01	0,04	0,03



Таблиця 2

*Уровень концентрации загрязняющих веществ в водных ресурсах*

	Хлориды и сульфаты мг/л	Нефте- продукты мг/л	Соединения азота мг/л	Железо мг/л	Орган. вещества мг/л	
					ХПК	БПК <sub>5</sub>
ПДК	360	0,05	0,51	0,3	20	6
C <sub>max</sub>	354	0,06	0,5	0,3	19	7

Таблиця 3

*Уровень концентрации загрязняющих веществ в почвах*

Нефтепродукты, мг/кг		Свинец, мг/кг	
ПДК	maxC	ПДК	maxC
2000	1670	30	25

Таблиця 4

*Сопоставление выбросов загрязняющих веществ в атмосферу  
до и после реализации программы*

Номер	Наименование группы источников	Проведенные мероприятия	Наименование загрязняющих веществ	Выбросы, т/год.	
				до	после
1.	Котельная	Перевод котельной на газообразное топливо	Диоксид азота,	23,07	41,8
			Оксид углерода,	82,89	103,9
			сажа,	6,43	0
			сернистый ангидрид	208,04	0
2.	Технологические пруды	Ликвидация	Углеводороды предельные и непредельные,	48,76	0
			бензол,	1,98	0
			толуол,	1,62	0
			ксилол,	2,03	0
			фенол,	1,58	0
			сероводород	0,03	0
				0,49	0

*Продолжение табл.4*

3	Эстакада для обработки цистерн	Ликвидация	Углеводороды непредельные, бензол, толуол, ксилол, сероводород	7,04 0,0034 0,0034 0,0034 0,17	0 0 0 0 0
4	Нефтеловушка	Ликвидация	Углеводороды предельные и непредельные, бензол, толуол, ксилол, фенол, сероводород	12,97 0,48 0,25 0,64 0,73 0,01 0,03	0 0 0 0 0 0 0
5	Емкости для хранения нефтепродуктов	Ликвидация	Углеводороды предельные	0,081	0
6	Прочие	Ликвидация	Химические соединения	0,21	0
Итого по вредным выбросам, т/год.				399,4	145,7

***Социальный результат реализации природоохранной программы***

Социальный результат – это улучшение физического развития населения, сокращение заболеваемости и, в конечном итоге, увеличение продолжительности жизни и периода активной деятельности, улучшение условий труда и отдыха, поддержание экологического равновесия в территориальной экосистеме и сохранение рекреационных зон.

В качестве социального показателя предлагается ввести показатель риска для здоровья жителей ТЭС.

Общепризнанным считается, что риск – это мера для количественного измерения опасности, представляющая собой величину ущерба от воздействия опасного фактора и вероятность его возникновения [1]. Именно такое определение риска используется при оценке уровня безопасности для объектов повышенной опасности. В данном исследовании вопросы, связанные с риском возникновения чрезвычайных ситуаций и аварий, не рассматриваются, а речь идет об опасности («ползущей угро-

зе») для человека и живых организмов, связанной с загрязнением окружающей среды.

Ввоспользуемся вариантом определением риска [2], в котором последний определяется как произведение последствий события  $P$  на меру возможности его наступления  $q$

$$R = Pq.$$

При этом

$$R = \text{последствие события}(P) \times \text{вероятность события}(q) = \\ = \left[ \frac{\text{последствие}}{\text{событие}} \right] \times \left[ \frac{\text{событие}}{\text{единица времени}} \right] = \left[ \frac{\text{последствие}}{\text{единица времени}} \right]$$

Под «событием» следует понимать превышение действующих нормативов на данной территории, а в качестве «последствия» – ущерб здоровью или даже гибель людей, проживающих на данной территории. В этом случае риск характеризует собой вероятность развития у населения неблагоприятных для здоровья эффектов в результате загрязнения среды, и выражается в виде ожидаемого числа случаев заболевания среди населения или его части («популяционный риск») [3].

Показатель риска для здоровья в такой форме заложен в известной методике, которая базируется на данных медицинской статистики [4]. Поведение человека, как сознательное, так и рефлекторное, основано на оценке ситуации во взаимосвязи с возможными отрицательными последствиями [5]. Такие понятия как «опасность», «угроза» связаны, прежде всего, с информацией о риске для здоровья. Загрязнение окружающей среды создает опасность для здоровья человека. Поэтому оценка риска, который вызывается загрязнением окружающей среды, является одной из важнейших проблем прогнозирования качества окружающей среды. От качества среды зависит уровень заболеваемости, здоровье и продолжительность жизни [6].

Вычисление реального риска для здоровья населения  $R$  для некоторой территории выполняется по формуле

$$R = \frac{n}{N},$$

где  $n$  – количество человек, которые получили повреждение здоровья за год;

$N$  – общее число людей, проживающих на данной территории.

Величина  $n$  определяется как сумма двух составляющих [7]

$$n = n_0 + n_C,$$

где  $n_0$  – количество человек, которые имели бы повреждение здоровья при соблюдении нормативов качества окружающей среды;

$n_C$  – количество человек, которые получили повреждение здоровья в результате взаимодействия с загрязненной окружающей средой.

Учитывая составляющие  $n$ , можно записать выражение для определения риска для здоровья в такой форме:

$$R = \frac{n_0 + n_C}{N} = R_0 + R_C,$$

где  $R_0$  – риск, не зависящий от загрязнения окружающей среды;

$R_C$  – риск для здоровья, создаваемый техногенным загрязнением.

При анализе риска используется также величина относительного риска  $R_{отн}$  [8]. Относительный риск позволяет выполнить сравнение уровня экологического риска для разных регионов и территорий. Формула для его определения имеет следующий вид:

$$R_{отн} = \frac{R}{R_0} = 1 + \frac{R_C}{R_0}.$$

Как показала практика [9], при оценке качества окружающей среды полезно ввести понятия предельно-допустимого уровня (ПДУ) риска для здоровья. Приведенный выше подход позволяет лишь оценить качество окружающей среды в настоящем, но не позволяет прогнозировать его в будущем. Кроме этого, он имеет ряд недостатков, которые связаны со следующими обстоятельствами.

Учет и отчетность лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) основаны на регистрации обращаемости. Однако, среди реально заболевших лиц далеко не все обращаются за медицинской помощью, причем доля обращающихся среди заболевших зависит от разных причин: тяжести заболевания, доступности конкретного вида медицинской помощи в ближайшем ЛПУ, возраст и пол больных, характер их трудовой деятельности. Наряду с территориальными ЛПУ имеются ведомственные и частные учреждения. Определить долю лиц, проживающих в зоне обслуживания ЛПУ, но получающих медицинскую помощь в других учреждениях, крайне сложно. Кроме того, нередко имеет место двойная регистрация одного и того же заболевания в разных лечебных учреждениях. Жители одной и той же территории обращаются по поводу разных заболеваний в разные ЛПУ: поликлиники, диспансеры, диагностические центры, травматологические пункты. Кроме того, специализированные кабинеты (например, эндокринологические, урологические) часто обслуживают население, проживающее в зонах нескольких поликлиник.

ПДУ риска для здоровья населения не должен быть превышен, независимо от возможных экономических и социальных преимуществ того или иного вида хозяйственной деятельности для общества в целом. Любой уровень риска для здоровья, превышающий ПДУ, должен рассматриваться как чрезмерный, т.е. недопустимый. Например, в Голландии [10] на государственном уровне в качестве государственного закона для ПДУ риска, обусловленного хозяйственной деятельностью, принято значение риска смерти, равное  $10^{-6}$ . В ряде других стран, использующих такой подход в законодательной деятельности, для ПДУ риска установлены большие значения. Однако уровень риска смерти выше  $10^{-4}$  в качестве значения для ПДУ однозначно признан неприемлемым (чрезмерным). Общепринятая классификация риска приведена на рис. 1, которая ориентирована на систему критериев приемлемости риска.

В соответствии с этими критериями, первый диапазон риска (риск равный или меньший  $1 \times 10^{-6}$ , что соответствует одному дополнительному случаю серьезного заболевания или смерти на 1 млн. экспонированных лиц) характеризует такие уровни риска, которые воспринимаются всеми людьми, как пренебрежимо малые, не отличающиеся от обычных, повседневных рисков (уровень *De minimis*). Подобные риски не требуют никаких дополнительных мероприятий по их снижению и их уровни подлежат только периодическому контролю.

Второй диапазон (риск более  $1 \times 10^{-6}$ , но менее  $1 \times 10^{-4}$ ) соответствует предельно допустимому риску, т.е. верхней границе приемлемого риска. Именно на этом уровне установлено большинство зарубежных и рекомендуемых международными организациями гигиенических нормативов для населения в целом (например, для питьевой воды ВОЗ в качестве допустимого риска использует величину  $1 \times 10^{-5}$ , для атмосферного воздуха –  $1 \times 10^{-4}$ ). В некоторых случаях при таких уровнях риска могут проводиться дополнительные мероприятия по их снижению.

Третий диапазон (риск более  $1 \times 10^{-4}$ , но менее  $1 \times 10^{-3}$ ) приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения в целом. Появление такого риска требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий. Планирование мероприятий по снижению рисков в этом случае должно основываться на результатах более углубленной оценки различных аспектов существующих проблем и установлении степени их приоритетности по отношению к другим гигиеническим, экологическим, социальным и экономическим проблемам на данной территории.

Четвертый диапазон (риск в течение всей жизни, равный или более  $1 \times 10^{-3}$ ) неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. Данный диапазон обозначается как *De manifestis Risk* и при его достижении необходимо давать рекомендации для лиц, принимающих решения о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска.



Рис. 1. Классификация риска для здоровья

При планировании долгосрочных программ, установлении региональных гигиенических нормативов целесообразно ориентироваться на величину целевого риска – такого уровня риска, который должен быть достигнут в результате проведения мероприятий по управлению риском. В большинстве стран, а также в рекомендациях экспертов ВОЗ, величина целевого риска принимается равной  $10^{-6}$ .

Обоснование предлагаемого метода оценки риска для здоровья от воздействия техногенных факторов базируется на следующих допущениях.

1. Теоретическую основу для развития этого метода составляют:

- аксиома о потенциальной опасности – любая деятельность опасна;
- принцип минимума Либиха – комфортность жизнедеятельности определяется экологическим фактором, который находится на самом низком уровне относительно потребностей организмов.

Из этих предпосылок следует, что при действии вредных факторов более сильные последствия отвечают большей интенсивности факторов.

2. Нормирование эффекта воздействия осуществляется относительно существующих экологических нормативов, которые играют роль закрепленных точек, формирующих координатную базу отсчета в системе «уровень воздействия – риск для здоровья». Для предельно допустимых уровней воздействия принимается норма эффекта «один из миллиона», что вытекает из условий установления экологических нормативов. Вторая закрепленная точка соответствует отсутствию эффекта, когда воздействие на здоровье человека не проявится.

3. Для описания самой зависимости «уровень воздействия – риск для здоровья» предлагается использовать линейную зависимость.

4. Время экспозиции принимается равным протяжению жизни – времени экспозиции, принятому для предельно допустимых уровней воздействия.

Можно принять, что предельно допустимому уровню (ПДУ) воздействия фактора  $f_{ПДУ}$  соответствует частота нарушений здоровья  $1 \cdot 10^{-6}$ , которая как отмечено выше является приемлемой. Очевидно, что для вредных факторов всех классов уровню нулевого воздействия  $f_0$  соответствует уровень повреждения здоровья  $r = 0$ . Таким образом, на основе этих предположений можно установить две закрепленные точки, а исходя из линейного характера зависимости  $r = r(f)$ , можно записать

$$r = \frac{f}{f_{ПДУ}} \cdot 10^{-6}.$$

При химическом загрязнении атмосферного воздуха следует принимать  $f_{ПДУ} = RfC$ . В настоящее время отсутствует доступная для широкого использования отечественная база данных, рекомендуемых (или нормативных) референтных концентраций  $RfC$ . При отсутствии данных можно вместо  $RfC$  использовать ПДК<sub>сс</sub> (предельно допустимая концентрация среднесуточная, мг/м<sup>3</sup>)

$$r = \left( \frac{C}{ПДК_{сс}} \right)^q \cdot 10^{-6},$$

где  $C$  – средняя концентрация вещества, мг/м<sup>3</sup>;

$q$  – безразмерная константа, учитывающая степень вредности веществ в зависимости от класса опасности.

В табл. 5 представлены расчетные концентрации вредных веществ и расчетный уровень риска здоровью в жилой зоне микрорайона «Лузановский» до и после реализации программы. В качестве фоновых концентраций использованы средние данные по Одессе. Полученные расчетным путем оценка риска здоровью для жителей мкр. «Луза-

новский»  $R = 4,7 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup> был определен на основе экспериментальных замеров загрязнения атмосферы (табл.5). Уровень риска за счет уменьшения выбросов вредных веществ после реализации программы составляет величину  $R = 2,4 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>, что соответствует уровню среднего риска по г. Одессе. Таким образом, величина риска здоровью для жителей мкр. «Лузановский» уменьшилась в 1,96 раза или на 48,9 %.

Таблица 5

*Оценка среднего риска  
для здоровья жителей г. Одессы и мкр. Лузановский*

Вещество	Конц., в долях ПДК	Класс опасности	Коэффициент $q_i$	Риск
Средние концентрации по г. Одессе				
Формальдегид	8	2	1,3	$1,492 \cdot 10^{-5}$
Фенол	2,6	2	1	$0,26 \cdot 10^{-5}$
Фтористый водород	2,1	2	1,3	$2,623 \cdot 10^{-6}$
Окись углерода	3,2	4	0,9	$2,848 \cdot 10^{-6}$
Сажа	1,6	3	1	$0,16 \cdot 10^{-5}$
Величина риска для здоровья для жителей Одессы				$2,46 \cdot 10^{-5}$
Дополнительные факторы в Лузановке				
$C_xH_y$	7,5	4	0,9	$6,131 \cdot 10^{-6}$
SO <sub>2</sub>	6	3	1	0,000006
NO <sub>2</sub>	3,45	3	1	0,00000345
H <sub>2</sub> S	4,4	2	1,3	$6,862 \cdot 10^{-6}$
Величина риска для здоровья для жителей Лузановки				$4,70 \cdot 10^{-5}$

**Выводы.** В результате реализации программы:

- суммарные выбросы вредных веществ в атмосферу уменьшились в 2,74 раза, а их концентрации в жилой зоне не превышают нормативных значений;
- ликвидирован опасный источник загрязнения вод Куяльницкого лимана – технологические пруды накопителей нефтеотходов. проведена рекультивация земель и озеленение территории;
- риск для здоровья жителей мкр. Лузановский уменьшился в 1,58 раза и достиг значения среднего уровня риска по г. Одессе.



### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кирюшкин В.Е. Основы риск-менеджмента / В.Е. Кирюшкин, И.В. Ларионов. – М.: АНКИЛ, 2009. – 130 с.
2. Глуценко В.В. Риски инновационной и инвестиционной деятельности в условиях глобализации – Железнодорожный / В.В. Глуценко. – М.: ООО НПЦ «Крылья», 2006. – 230 с.
3. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. – 2001. – № 85. – 293 с.
4. Барышников И.И. Здоровье человека: в сб.: Медико-географические аспекты оценки здоровья населения и состояния окружающей среды / И.И. Барышников, Ю.И. Мусийчук. – СПб., 1992. – С.11-36.
5. Moghissi A.A. Methodology for environmental human exposure and health risk assessment / A.A. Moghissi, R.E. Narland, F.J. Congel, K.F. Eckerman // Dyn. Exposure and Hazard Assessment Toxic chem. / Ann Arbor. – Michigan, USA, 1980. – P. 471-489.
6. Шишков В.З. Психология безопасности / В.З. Шишков, В.И. Тарадай. – К.: НИНЦОП, 1996. – 62 с.
7. Шафран Л.М. Состояние здоровья жителей микрорайона «Лузановский» и неотложные меры по его сохранению и улучшению / Л.М. Шафран, Л.И. Мураховская // Чрезвычайные ситуации и гражданская защита. – 1999. – № 1 (5). – С. 10-12.
8. Новиков Г.А. Техногенный риск и качество жизни / Г.А. Новиков // Безопасность труда в промышленности. – 1991. – № 12. – С.48.
9. Управление проектами: Справочное пособие / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро и др.; под ред. И.И. Мазура и В.Д. Шапиро. – М.: Высшая школа, 2001. – 875 с.
10. Голландия: управление риском в масштабах страны // Наука и жизнь. – 1991. – № 12. – С. 62-65.

Стаття надійшла до редакції 17.09.2012

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління системами безпеки життєдіяльності» Одеського національного політехнічного університету **В.Д. Гогунський.**

УДК 658.336.8

Т.Г. Григорян, Е.А. Квасневский, К.В. Кошкин

### ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМИ ЦИКЛАМИ ПРОЕКТОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

*Рассмотрены особенности управления жизненными циклами проектов повышения безопасности АЭС, их типовые структуры и содержание, принимаемые решения и роли членов команды проекта.*

**Ключевые слова:** управление проектами, жизненный цикл, управление жизненным циклом проекта, АЭС, проект повышения безопасности АЭС.

*Розглянуто особливості управління життєвими циклами проектів підвищення безпеки АЕС, їх типові структури та зміст, рішення, що приймаються, та ролі членів команди проекту.*

**Ключові слова:** управління проектами, життєвий цикл, управління життєвим циклом проекту, АЕС, проект підвищення безпеки АЕС.

*The features of NSS safety improvement projects lifecycle, there structures and content, decisions made, and project team members roles are described.*

**Keywords:** project management, project lifecycle, project lifecycle management, NSS, NSS safety improvement project.

**Постановка проблемы.** Для максимально эффективного использования преимуществ, предоставляемых современным проектным управлением, организация должна документировать общую картину процесса управления проектами. При отсутствии хорошо документированной картины жизненных циклов (ЖЦ) для каждой категории проектов будет невозможно воспользоваться всеми преимуществами современного систематического управления проектами [1. С. 75]. Разработка и документирование процессов ЖЦ проектов повышения безопасности (ППБ) объектов атомной энергетики, являющейся доминирующим поставщиком в Украине, позволит повысить эффективность процессов управления проектами, накапливать лучший опыт среди множества проектных команд на различных АЭС для организации непрерывного совершенствования процессов УП и переноса успешного опыта с одних проектов на другие.

**Анализ исследований и выделение нерешенной части проблемы.** В общем случае, ЖЦ проекта состоит из основных фаз: инициация, планирование и разработка, осуществление, закрытие [2]. Однако, "эти фазы настолько широки и названия настолько обобщенны, что они оказываются"

ся малопригодными для документирования жизненного цикла конкретного проекта таким образом, чтобы процесс мог быть широко понимаем, воспроизводим и постоянно совершенствовался" [1. С. 78]. В результате, Р. Арчибальд делает вывод о том, что для эффективного управления необходимо определение 5-10 фаз и подфаз для каждой категории проектов.

В работе [3] предложена методика "Method 123", представляющая значительный практический интерес и направленная на повышение результативности и успешности работы проектных менеджеров. Суть методики сводится к разработке комплекса типизированных шаблонов структур проектов, процессов и документов, позволяющих значительно сократить время менеджера проекта на выполнение рутинных операций и повысить удобство работы [3].

В соответствии с внутренним стандартом АЭС в структуре ППБ АЭС выделяют 4 основополагающие фазы :

- выполнение предпроектных разработок и подготовка концептуального технического решения (КТР);

- выполнение подготовительных работ и утверждение технического решения по модификации (ТРМ);

- выполнение строительно-монтажных (СМР) и пуско-наладочных работ (ПНР), а также утверждение технического решения об опытной эксплуатации (ТРОЭ);

- проведение опытной эксплуатации и утверждение технического решения о вводе в промышленную эксплуатацию (ТРПЭ).

Особенностями ППБ АЭС является высокая сложность, в сочетании со сложностью, обусловленной как сложностью самого объекта, так и чрезвычайно высокими требованиями к качеству продукта проекта и самих процессов управления.

**Цель работы** – повышение эффективности управления ППБ АЭС за счет определения и систематизации знаний об особенностях различных стадий ЖЦ данных проектов.

**Основной материал статьи.** При формировании детального описания процессов управления ЖЦ проектов необходимо определять жизненный цикл проекта (фазы, подфазы, содержание работ), принимаемые решения и связанные с ними уровни полномочий и должностей. Все ППБ АЭС реализуются в контексте Комплексной сводной программы повышения безопасности, утвержденной Кабинетом министров Украины [4] и базируются на концепции глубоко эшелонированной защиты [5]. Анализ содержания показывает, что любой ППБ АЭС представляет собой агрегирование нескольких подпроектов.

В связи с этим, целесообразно применение модели ЖЦ проекта с множественными решениями (*multi-solution project life cycle*), предложенной А. Эскелином. Такие проекты включают в себя семь фаз, указанных в базовой структуре ЖЦ: инициация (*initiation*), планирование (*planning*), исследование (*research*), оценка (*evaluation*), согласование (*negotiation*), реализация (*implementation*), эксплуатация (*operation*) [6]. В ППБ АЭС

также возможно наличие последовательных фаз, присущее фазовой модели ЖЦ (*phased project life cycle*) [6], например, в проектах, включающих в себя проведение тендеров. Однако, в силу специфики, количество подрядчиков, выполняющих работы в данной отрасли, исчисляется единицами, и поэтому данная модель может иметь ограниченное и условное применение. Именно поэтому модель ЖЦ с многими решениями, фактически, является единственно возможной для практического применения в ППБ АЭС.

Будучи основанными на принципах обеспечения безопасности, применяемых в атомной энергетике [5], ППБ АЭС, выполняемые в составе Комплексной сводной программы повышения безопасности [4], относятся к различным категориям (номера после упоминания – отнесение к классификации категорий проектов, предложенной в [1]):

- *совершенствование оборудования и систем* (модернизация, замена, внедрение нового), **7.7, 9.1, 10.2**;
- *НИР*, **10.1**;
- *капитальное строительство*, **5.1-5.4**;
- *совершенствование процессов* (технология, организация, персонал), **2.2, 2.4, 9.2**;
- *развитие АСУ ТП*, **2.2, 3.1-3.2, 6**.

Данный перечень категорий подпроектов является условно статичным – для определенных ППБ в условиях конкретных АЭС могут возникать и управляться подпроекты иных категорий. Однако, представленное множество категорий подпроектов является ядром, формирующим структуру абсолютного большинства ППБ АЭС. Примеры подпроектов различных категорий в составе некоторых ППБ АЭС, представлены в табл. 1.

В силу сложности и комплексности ППБ АЭС их нельзя однозначно отнести к проектам с прогнозирующим или адаптивным ЖЦ [1]. В основной массе, безусловно, данные проекты характеризуются прогнозирующим ЖЦ, которые «ставят оптимизацию выше адаптивности» [1. С. 82]. Однако, особенности предметной области накладывает свои ограничения – планы часто корректируются в связи с необходимостью научных исследований, высокой стоимостью работ и оборудования и, как следствие, сложностью финансирования, а также ограниченным множеством поставщиков услуг и решений, существенно усложняющим выполнение работ по договорам подряда. Очевидно, что на отдельных этапах, для подпроектов возможно и более целесообразно применение адаптивного ЖЦ, сильной стороной которого является возможность получения конкретных результатов в сжатые сроки, для оперативного реагирования на ситуацию и формирования обратной связи от участников ППБ. Таким образом, принципиально важным является вывод о целесообразности применения различных подходов к планированию и управлению, непосредственно связанных с логикой ЖЦ подпроектов. Это позволит использовать сильные стороны каждого из методов планирования и управления в

Таблиця 1

*Подпроекти различных категорий в некоторых ППБ АЭС*

Наименование ППБ АЭС	Совершенствование оборудования и систем	НИР	Капитальное строительство	Совершенствование процессов	Развитие АСУТП
Внедрение оборудования для усовершенствования уплотнения главного разъема реактора	X			X	X
Разработка организационно-технических мероприятий по управлению аварией: течь теплоносителя из 1 контура во 2 эквивалентным сечением Ду100	X	X		X	
Модернизация системы автоматической пожарной сигнализации помещений АЭС	X			X	X
Оснащение установками автоматического контроля силового маслонаполненного оборудования главной схемы выдачи мощности	X	X	X	X	X
Обеспечение сейсмостойкости трубопроводов, конструкций, зданий и сооружений	X	X	X	X	
Разработка оперативного вероятностного анализа безопасности		X		X	X
Совершенствование инструкций по ликвидации аварий при пониженной мощности и в ППР		X		X	X

различных подпроектах. Например, на основе прогнозирующего плана может быть разработан контракт с фиксированной функциональностью по фиксированной цене, что более эффективно при регламентации работ с поставщиками и подрядчиками. В таком контракте точно указывается, что должно быть создано, сколько это стоит и когда продукт будет по-

ставлен. В отличие от прогнозирующего, в адаптивном плане может быть обозначен бюджет и сроки выполнения работ по проекту без точного фиксирования функциональности продукта. Адаптивное планирование предполагает возможность пересмотра требуемой функциональности и, фактически, определяет проект с переменными границами функциональности по фиксированной цене, что более эффективно в проектах с НИР или развития АСУ ТП. Адаптивные подходы к управления проектами в настоящее время набирают все большую популярность [7, 8]. Разумное сочетание планирующего и адаптивного управления позволит добиться максимальной эффективности через реализацию моделей и алгоритмов оперативной приоритизации подпроектов и работ на различных этапах ППБ АЭС.

Для каждой из указанных категорий подпроектов определены типовые структуры – список и содержание фаз, возможности перекрытия фаз, перечень принимаемых решений и должности ответственных за данные решения сотрудников АЭС. В частности, в табл. 2 представлено содержание типовых структур данных для подпроектов категории "НИР", (код 10.1).

Представленные структуры данных, фактически, являются знаниями о предметной области, формирующими информационную основу для создания и развития активов процессов АЭС [2]. Важнейшей составляющей построения эффективной системы управления ЖЦ ППБ является определение логики формирования активов процессов. На рис. 1 представлена последовательность этапов процедуры формирования информационного обеспечения активов процессов в задачах управления ЖЦ ППБ АЭС.



Рис. 1. Формирование информационного обеспечения активов процессов в задачах управления ЖЦ ППБ АЭС

Таблиця 2

*Типове содержание фаз в проектах НИР в задачах повышения безопасности АЭС*

Фаза проекта	Цели	Планирование	Исследование	Оценка	Согласование	Реализация	Эксплуатация
1 Содержание фазы	2 <ul style="list-style-type: none"> <li>формирование и утверждение идеи на АЭС;</li> <li>обсуждение, корректировка и окончательное формирование концепции проекта по НИР;</li> <li>подготовка и представление предложения от АЭС;</li> <li>рассмотрение комплекса предложений в управляющем органе;</li> <li>представление, корректировка и утверждение проекта по НИР в регулирующем органе;</li> <li>принятие решения и утверждение проекта по НИР;</li> </ul>	3 <ul style="list-style-type: none"> <li>определение целей и содержания НИР;</li> <li>выбор направлений исследований;</li> <li>определение порядка выполнения работ по НИР;</li> <li>определение способов получения результатов НИР;</li> <li>разработка технического задания на НИР;</li> </ul>	4 <ul style="list-style-type: none"> <li>теоретические исследования;</li> <li>экспериментальные исследования;</li> </ul>	5 <ul style="list-style-type: none"> <li>обобщение результатов НИР;</li> <li>оценка результатов НИР;</li> <li>подготовка отчета по НИР;</li> </ul>	6 <ul style="list-style-type: none"> <li>обсуждение НИР на научно-техническом совете;</li> <li>формирование заключений по НИР;</li> </ul>	7 <ul style="list-style-type: none"> <li>разработка технического проекта и рабочей документации;</li> <li>внедрение результатов НИР (закупка оборудования, установка, изменение систем, строительство и пр.);</li> <li>опытная эксплуатация результатов НИР;</li> <li>оценка внедрения результатов НИР;</li> <li>формирование заключения о промышленной эксплуатации.</li> </ul>	8 <ul style="list-style-type: none"> <li>промышленная эксплуатация результатов НИР;</li> <li>анализ процессов эксплуатации результатов НИР;</li> <li>формирование выводов и постановка задач и проектов модернизации.</li> </ul>
Возможность передрать фаз	—	последовательно	последовательно	последовательно	последовательно	последовательно	с передратьем – от завершения этапа внедрения

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
<p>Принимаемые решения</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• утверждение комплексов проекта по НИР;</li> <li>• утверждение проекта по НИР.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• утверждение планов (темы, задания, программы) исследований по НИР;</li> <li>• утверждение программы выполнения работ и пр.) проекта по НИР;</li> <li>• утверждение технического задания на НИР.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• утверждение моделей, методов, алгоритмов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• утверждение отчета по НИР.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• утверждение обновленных результатов по НИР;</li> <li>• утверждение технико-экономического обоснования (ТЭО);</li> <li>• утверждение технического решения на монтаж (ГРМ);</li> <li>• утверждение технического решения на опытную эксплуатацию (ТРОЭ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• утверждение технического решения на промышленную эксплуатацию (ТРОЭ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• утверждение заключений по результатам НИР;</li> <li>• утверждение концепции проекта модернизации.</li> </ul>
<p>Должности членов команды, принимающих решения</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• подразделения владелиц оборудования;</li> <li>• ответственный центр по планированию расходов (ОЦПР);</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер;</li> <li>• представители Государственной инспекции ядерного регулирования Украины (ДИЯРУ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• подразделения владелиц оборудования;</li> <li>• ответственный центр по планированию расходов (ОЦПР);</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• подразделения владелиц оборудования;</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• подразделения владелиц оборудования;</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• подразделения владелиц оборудования;</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• подразделения владелиц оборудования;</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• подразделения владелиц оборудования;</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> <li>• зам главного инженера по направлению;</li> <li>• главный инженер</li> </ul>



**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Разработка типовых структур данных о ППБ АЭС на основании предложенной в работе классификации и подхода к структурированию позволяет повысить эффективность управления благодаря накоплению формализованного опыта (лучших практик), повторному его использованию и переносу знаний. Дальнейшие исследования необходимо направить на формирование методологии управления ЖЦ ППБ АЭС, включая формирование детальных библиотек типовых структур для всех категорий ППБ и разработку моделей управления ППБ АЭС с применением гибких методов.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Арчибальд Р. *Управление высокотехнологичными программами и проектами.* – М.: ДМК Пресс; Компания АйТи, 2004. – 472 с.
2. *Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК).* – 4-е изд. Project Management Institute – 2008. – 464 с.
3. Westland J *The Project Management Life Cycle: A Complete Step-By-Step Methodology for Initiating, Planning, Executing & Closing a Project Successfully,* Kogan Page Limited, 2006.
4. *Постанова Кабінету міністрів України від 07.12.2011 р. за № 1270 "Про затвердження Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків атомних електростанцій".*
5. Квасневский Е.А. *Источники формирования мероприятий по повышению безопасности проектов энергоблоков АЭС, их принципы и критерии // Восточно-европейский журнал передовых технологий.* – Харьков, 2012. – № 1/12(55). – С. 58-60.
6. Eskelin A. *Managing Technical Acquisition Projects Life Cycles / PM Network, March 2002.* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peakportfolio.com/wp-content/uploads/2010/04/PMNetwork1.pdf>
7. Highsmith J. *Agile Project Management: Creating Innovative Products.* Boston: Pearson Education, 2004.
8. Martinelli R., Graykowski S. *Agile Program Management: Separating Practice from Myth / PM World Today, June 2010 (Vol XII, Issue VI).* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pmworldtoday.net/featured\\_papers/2010/june/Agile-Program-Management.html](http://www.pmworldtoday.net/featured_papers/2010/june/Agile-Program-Management.html)

Стаття надійшла до редакції 17.09.2012

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, проректор по науковій роботі Національного університету кораблебудування ім. адм. С.О. Макарова **В.С. Блінцов.**

УДК 658.012.32

М.М. Куценко

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ РІВНЯ СИСТЕМИ  
УПРАВЛІННЯ ЗНАННЯМИ В ПРОМИСЛОВИХ ОРГАНІЗАЦІЯХ

*В статті досліджується вплив системи управління знаннями на успіх роботи компанії. Представлена модель управління знаннями дозволяє підвищити швидкість та якість виконання робіт, тим самим збільшити рівень задоволення клієнтів. Розроблено модель для оцінки рівня знань в компаніях.*

**Ключові слова:** знання, система управління знаннями, рівень знань, оцінка знань.

*В статье исследуется влияние системы управления знаниями на успех работы компании. Представлена модель управления знаниями, которая позволяет повысить скорость и качество выполнения работ, и тем самым увеличить степень удовлетворения клиентов. Разработана модель для оценки уровня знаний в компании.*

**Ключевые слова:** знания, система управления знаниями, уровень знаний, оценка знаний.

*The influence of knowledge management system to the company's success is investigated in paper. The presented model allows to enhance speed and quality of performance and to increase the level of customer satisfaction. The evaluating model of company's knowledge level is created.*

**Keywords:** knowledge, knowledge management system, knowledge level, knowledge evaluating.

**Вступ.** В сучасному світі знання і їх активне використання є єдиним джерелом примноження достатку в організаціях і суспільствах. Інвестиції в природні та людські ресурси можуть призвести до зростання доходів лише шляхом координації і об'єднання з інвестиціями в знання. Знання, інформація, особисті якості, спеціалізація і кваліфікаційні вимоги є необхідними інструментами для досягнення збагачення, а ті суспільства, які позбавлені таких інструментів вважаються бідними. Сьогодні потенціал напряду залежить від знань, так як використання креативного мислення робить можливим просування і розвиток. Організації зрозуміли, що в сучасному світі конкуренції ніякі інвестиції не нададуть їм більших вигод, ніж інвестиції в знання. Ось чому над всіма цими факторами персонал організації (що є джерелом знань) вважається найбільшими інвестиціями в організації. Відповідно, управління знаннями, як інструмент за допомогою якого корисні знання можуть бути зібрані, класифіковані і роз-

поділені в організації, набуло особливої уваги. Тим не менш, зусилля багатьох організацій в галузі управління знаннями завершувались провалом. Однією з причин було те, що такі організації не використовували оцінювання системи управління знаннями і розглядали цей процес як тимчасове короткотермінове завдання.

У статті проводиться дослідження ефективних елементів системи управління знаннями і на їх основі будується модель управління знаннями в промислових організаціях.

Використання такої моделі управління надає можливість оцінювати рівень управління знаннями в організації. Елементами системи управління знаннями є виявлення знань, набуття (збір) знань, використання знань, обмін знаннями, розширення і підтримка знань. Кожен з цих елементів був послідовно поділений на інші елементи. Досліджувались дві компанії лідери. Після збору даних, використання необхідних статистичних методів і аналізу виходів, результати були представлені в формі кінцевої моделі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пітер Друкер [1] наголошує, що в сучасній світовій економіці знання не схожі і не знаходяться на одному рівні з іншими ресурсами виробництва, такими як праця і фінансові засоби, але в теперішньому часі це єдиний значущий ресурс (Нонака 1996) [2]. Насправді, знання це єдиний ресурс, цінність якого після використання не знижується, а навіть підвищується (Гласер 1998) [3]. Інші новатори теоретики, які працюють в галузі організацій і управління переконані, що інвестиції в знання більш прибуткові, ніж в матеріальні засоби (Давенпорт і Прусак 2008) [4]. Такі знання передбачені і поєднані з організаційними методами, інструкціями, процедурами і рішеннями, і вони набувають більшої значущості, коли в результаті отримуються цінні продукти або сервіси. Таким чином стає зрозуміло, що єдиною постійною перевагою організації є знання, якими вона володіє, і швидкість, з якою ці знання використовуються. Значущість знань також розглядається з боку рівня задоволення клієнта. Рисунок 1 демонструє, що розподіл знань всередині організації має позитивний вплив і на швидкість, і на якість виконання робіт. Підвищення швидкості і якості виконання збільшує рівень задоволеності клієнта.

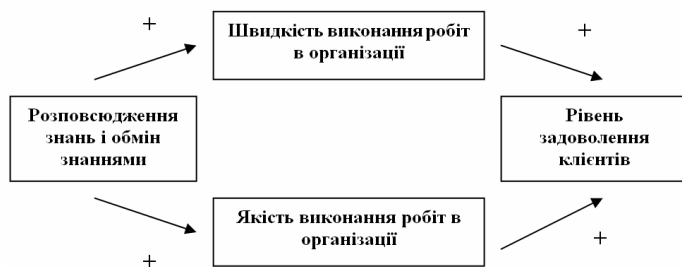


Рис. 1. Залежність між знаннями і рівнем задоволення клієнтів

Управління знаннями не так давно з'явилося в літературі з менеджменту, і не так багато досліджень зроблено в цій галузі. Відсутнє навіть єдине і конкретне визначення управління знаннями, з яким би погодились всі вчені. Прусак (2008) [4] визначає управління знаннями як зусилля віднайти скарби, приховані в людському розумі, і перетворити їх в активи організації таким чином, щоб велика кількість людей, які залучені до процесу прийняття рішень, могли мати доступ і використовувати ці скарби.

Баррон (2000) [5] розглядає управління знаннями як систематичний і комплексний метод визначення, використання і розподілу доступного досвіду і спеціалізації в організації.

Бахра (2001) [6] працює з управлінням знаннями як з загальним описом культури, процесів, основ і технологій, наявних в організації, які роблять можливими поглинання, розвиток і вдосконалення активів знань в організації, щоб досягти її стратегічних цілей. Бахра описує управління знаннями як процес поглинання і посилення професійних знань спеціалістами, експертами і професіоналами в організації, в результаті чого ця група людей отримує силу, довіру і незалежність в очах керівництва організації і поділиться своїми знаннями з ними. В процесі управління знаннями керівництво організації і люди носії знань відіграють важливу роль, а бажані умови досягаються, коли ці знання зберігаються, активуються і використовуються скоординовано з цілями організації.

Організації використовують певну кількість ресурсів і активів, щоб досягти мети. Деякі з цих ресурсів і активів дуже цінні і унікальні, вони відіграють основну роль на шляху досягнення успіху в конкурентному світі. Серед таких ресурсів – «знання», що розглядається як остаточна альтернатива виробництва, прибутку і фінансового інвестування [7].

Важливість знань як цінного активу для сучасних організацій перетворила процеси збільшення, використання, адміністрування і вдосконалення знань на одну з основних турбот і викликів [8]. Визначаючи елементи системи управління знаннями (таких як визначення знань, набуття знань, використання знань, обмін знаннями, розподіл знань і підтримка знань) можна ними управляти.

**Метою даної статті** є виявлення і дослідження ефективних елементів системи управління знаннями, побудова на їх основі моделі управління знаннями та представлення відповідної моделі оцінки управління знаннями в організації. Важливо проаналізувати, що модель оцінки знань, яка також включає основні елементи системи управління знаннями може сприяти кращому використанню управління знаннями в організації.

**Матеріали і результати досліджень.** Одним з основних завдань управління знаннями є оцінка знань. Важливість такого оцінювання виходить з того факту, що воно спричиняє вдосконалення і розширення знань. Однак, першим кроком в «оцінюванні знань» є можливість визначення рівня знань. Дехто з науковців наголошує, що те, що не може бути виміряне, не існує взагалі. Існує також і інше визначення: «тим, що не можна

виміряти, не можна управляти». Це твердження вважалось вірним і іншими вченими. Насправді, у випадку, коли організації не можуть визначити свій рівень знань і не можуть оцінити методи змін свого рівня знань, цикл управління знаннями не може завершитись [9]. Завершенню циклу заважає відсутність зворотного зв'язку, який би надав змогу зробити вдосконалення в різних елементах управління знаннями. Отже, в даному дослідженні представлена модель, яка базується на розгляді літератури по темі, і розроблена максимально прийнятною для управління знаннями і їх оцінки в промислових організаціях (рис 2).

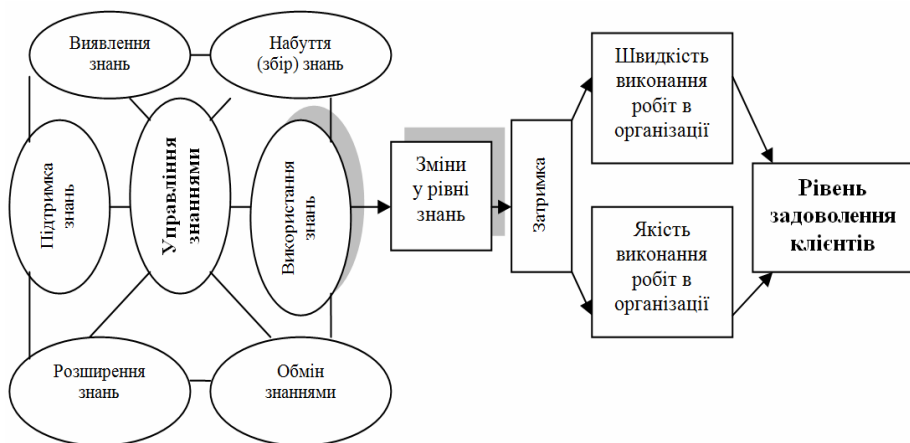


Рис. 2. Основна модель дослідження:  
взаємозалежність між знаннями і рівнем задоволення клієнтів

Відповідно до представленої моделі в організації, орієнтованій на знання, елементи системи управління знаннями змінюються на рівні наявних знань в організації. Зміни на рівні знань разом з деякими затримками, спричиняють зміни в особливостях роботи організації, швидкості та якості виконання, чим підвищують рівень задоволення клієнта. Для того, щоб визначити підходящі показники вимірювання кожного з шести елементів, було вивчено теоретичну і наукову основу кожного елемента, що забезпечило критерії для підготовки опитувальних листків (анкет).

Опитувальний листок був розроблений з шести частин, кожна з яких вимірювала окремих елемент управління проектами. Надалі два рази, з інтервалом в п'ять років, такі листки розповсюджувались серед обраних людей з двох компаній лідерів галузі. Опитувальні анкети були розроблені на основі шкали Лайкерта, згідно якої кожне питання мало п'ять варіантів відповідей: «дуже низький», «низький», «середній», «високий» і «дуже високий». Шкала Лайкерта використовується для вимірювання сили відношення до певного об'єкта і являє собою градацію ступеню згоди або не згоди з яким-небудь твердженням відносно цього об'єкта.

Перед тим як обрати людей для опитування було проведено дослідження структури персоналу двох обраних організацій, і виявлено, що по-перше, такі люди повинні повністю розуміти поняття знань і управління знаннями, щоб відповідати на питання саме з цієї точки зору, а по-друге, вони повинні були працювати в організації протягом всього періоду дослідження.

#### *Статистичний аналіз результатів*

Результати, набуті по кожному питанню з першого і другого опитування з інтервалом у п'ять років були статистично проаналізовані. Процедура статистичного обрахунку кожного елемента представлені нижче.

#### *Використання тесту «Хі квадрат»*

Статистичний тест Хі квадрат виведений з методу Хі квадрат розподілу і використовується, щоб порівняти показник узгодженості теоретичної і досліджуваної частоти розподілу, або щоб порівняти номінальні дані, отримані від непарних, неузгоджених груп об'єктів.

Для того, щоб позначити, що між рівнями відповідей у анкетах є різниця, і що не всі з них мають однакову цінність, було використано тест Хі квадрат.

$$(df = N - 1) \text{ або } \chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (1)$$

У тесті передбачається нуль. Якщо ми зможемо спростувати цю гіпотезу, то досягнемо бажаного результату. Такий тест використовується, щоб відобразити різницю між досліджуваною ( $O$ ) і очікуваною ( $E$ ) періодичністю. Висуваються гіпотези  $H_0$  і  $H_1$ :

$H_0$  – відсутня різниця у рівнях відповідей в опитувальних листках.

$H_1$  – спостерігається різниця у рівнях відповідей в опитувальних листах.

Такий тест використовувався для кожного питання в опитувальному листі за обома факторами. Гіпотезами  $H_0$  і  $H_1$  для цього тесту були:

$H_0$  – з точки зору людей, що відповідали на питання, всі питання були поставлені на однакових умовах.

$H_1$  – з точки зору людей, що відповідали на питання, питання не були поставлені на однакових умовах.

Тест також використовувався, щоб визначити чи однакові рівні кожного з елементів управління знаннями у двох організаціях. Згідно з тестом, гіпотеза  $H_0$  передбачала, що рівні елементів у двох організаціях були однаковими, а гіпотеза  $H_1$  ґрунтувалась на тому, що рівні елементів різні.

*Визначення проценту позитивних відповідей*

Для того, щоб правильно оцінити отримані результати, необхідно підрахувати процент позитивних відповідей. Таким чином, відповідні підрахунки були проведені по кожному питанню і кожному з шести елементів управління знаннями. Підрахунок проценту позитивних відповідей дає можливість визначити рівень управління знаннями, а також оцінити їх.

*Використання тесту Мак-Немара для визначення значущості змін*

Для того, щоб показати чи були зміни, що відбулися в період між двома дослідженнями, значущими, використали тест Мак-Немара. З метою визначення степені важливості змін, що відбулися, для початку було побудовано таблицю з чотирьох клітинок, в яких були відмічені загальні відповіді з двох досліджень по всіх шести елементах. Загальний вигляд такої таблиці представлений у таблиці 1. Визначення «високий» або «низький» використовувались, щоб позначити різні відповіді.

*Таблиця 1*

Номер дослідження (інтервал між дослідженнями 5 років)		Дослідження №2	
		низький	високий
Дослідження № 1	Низький	<b>A</b>	<b>B</b>
	Високий	<b>C</b>	<b>D</b>

Фактори, які визначали зміни заносились у клітинки А і D. Якщо зміни у Дослідженні № 1 були низькими або дуже низькими, а у Дослідженні № 2 високими або дуже високими, тоді обиралась клітинка А. Якщо зміни проходили від високих або дуже високих до низьких або дуже низьких, то обиралась клітинка D. Нарешті, якщо не спостерігалось жодних змін, то обиралась клітинка B і C. Таким чином, у тесті Мак-Немара нас цікавлять лише клітинки А і D, в яких відбулись важливі зміни. Такі зміни можна підрахувати за наступною формулою:

$$(df = 1) \text{ або } X^2 = \frac{(|A - D| - 1)^2}{A + D} \quad (2)$$

Висуваються гіпотези  $H_0$  і  $H_1$ :

$H_0$  – відсутня значна різниця у змінах між Дослідженням 1 і Дослідженням 2.

$H_1$  – спостерігається значна різниця у змінах між Дослідженням 1 і Дослідженням 2.

Відхиляючи гіпотезу  $H_0$ , ми дійшли висновку, що між змінами у Дослідженні 1 і Дослідженні 2 є вагома різниця. Тому з упевненістю можливо використовувати процент позитивних відповідей, який був встановлений як критерій оцінювання. Загальний підрахунок основних результатів змін у рівнях управління знаннями між двома організаціями і у двох точках досліджень показаний у таблиці 2.

*Таблиця 2*

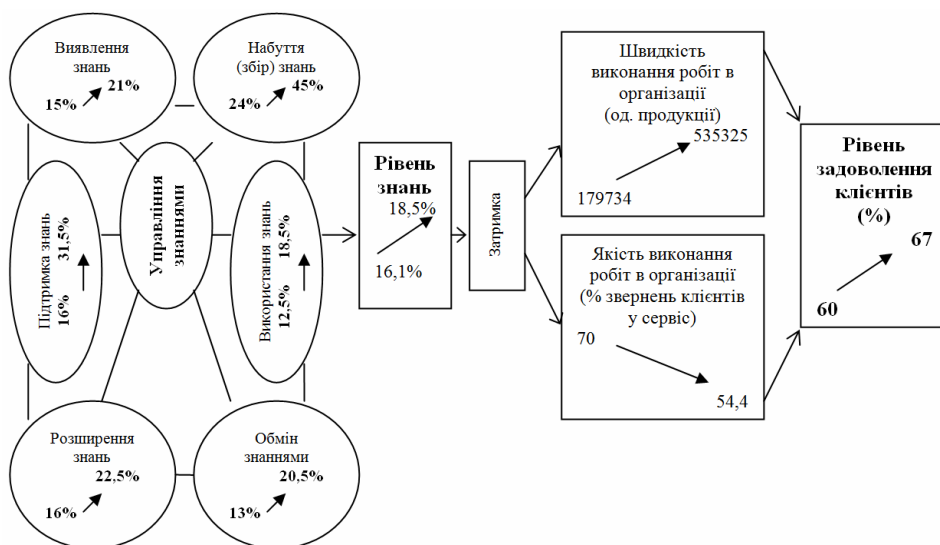
Елементи управління знаннями	Дослідження 1		Дослідження 2	
	компанія № 1, %	компанія № 2, %	компанія № 1, %	компанія № 2, %
Виявлення знань	15	15,5	21	29,5
Збір знань	24	15,5	45	30
Використання знань	12,5	15	18,5	22,5
Обмін знаннями	13	15	20,5	20,5
Розширення знань	16	14	22,5	16
Підтримка знань	16	14,5	31,5	22

Згідно з даними у таблиці, рівень виявлення знань у компанії № 1 зріс із 15 % (дослідження 1) до 21 % (дослідження 2), але у компанії № 2 такий же фактор зріс із 15 % (дослідження 1) до 29,5 % (дослідження 2). Це значить, що на момент проведення Дослідження 1 рівень виявлення знань в обох організаціях був однаковим, а під час Дослідження 2 рівень виявлення знань в компанії № 2 зріс вище, ніж у компанії № 1. Тим не менш, не дивлячись на таке зростання, проведений тест на однаковість рівнів факторів управління знаннями показав, що рівні виявлення знань в обох організаціях майже однакові.

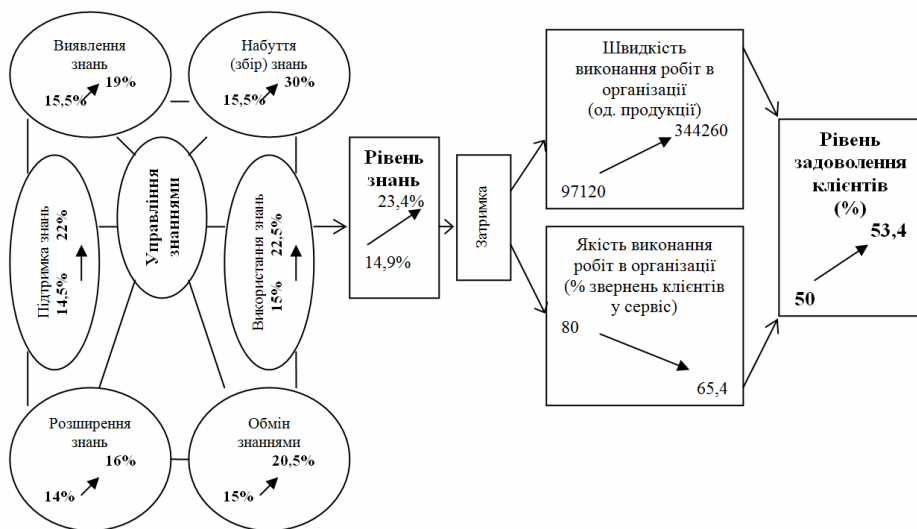
У компанії № 1 рівень набутих знань під час Дослідження 1 становив 24 %, а до Дослідження № 2 зріс до 45 %. Це визначне покращення. У компанії № 2 той же фактор зріс із 15,5 % (Дослідження 1) до 30 % (Дослідження 2), що також є значним зростанням. Тест на рівнозначність факторів управління знаннями також показує, що рівні виявлених знань в двох організаціях були різними. Рівень використання знань у компанії № 1 зріс від 12,5 % до 18,5 %, а у компанії № 2 від 15 % до 17,5 %. За результатами тесту на рівнозначність факторів управління знаннями, рівні використання знань у двох організаціях майже однакові. Рівень обміну знаннями в компанії № 1 зріс із 13 % до 20,5 %, що є значним покращенням. У компанії № 2 той же фактор зріс із 15 % до 20,5 %, що є меншим підвищенням, ніж у компанії № 1. За результатами тесту на рівнозначність факторів управління знаннями, рівні обміну знаннями у двох компаніях мало відрізняються.



Рівень розширення знань в компанії № 1 зріс із 16 % до 22,5 %, і не вважається різкою зміною. У компанії № 2 ситуація мало змінилась, від 14 % до 16 %. Тест на рівнозначність елементів управління знаннями також показує, що рівні розширення знань у двох компаніях майже не відрізняються один від одного. Рівень підтримки знань в компанії № 1 збільшився від 16 % до 31,5 %, що є досить позитивною зміною. Той же фактор у компанії № 2 зріс із 14,5 % до 22 %, і це також гарна зміна. Відповідно до результатів тесту на рівнозначність елементів управління знаннями – рівні підтримки знань у двох організаціях різні. Опираючись на представлену базову модель (рис. 2) і результати оцінювання рівня управління знаннями у двох організаціях (табл. 2), було побудовано остаточну модель дослідження для кожної з організацій (рис. 3 і рис. 4). Така модель слугує доказом придатності до використання представленого вище методу оцінювання.



*Рис. 3. Модель оцінки рівня управління знаннями і його зв'язок з іншими елементами компанії – компанія № 1*



*Рис. 4. Модель оцінки рівня управління знаннями і його зв'язок з іншими елементами компанії – компанія № 2*

**Висновки.** У статті розглядаються результати дослідження, яке базується на представленому методі оцінки рівня управління знаннями у промислових організаціях. Відповідно до моделі, розробленої і використаної у даному дослідженні (рис. 2), у промислових організаціях існує набір елементів, які можуть впливати на роботу зі знаннями. Ці елементи класифіковані у основні шість груп: виявлення знань, набуття (збір) знань, використання знань, обмін знаннями, розширення знань, підтримка знань. Для того, щоб сприяти покращенню знань і, відповідно, управлінню знаннями в компаніях, кожен з цих шести елементів повинен володіти певними властивостями. В даному дослідженні такі властивості з'ясувались і виділялись, також було розроблено методи виміру і оцінки згаданих вище елементів.

В процесі формування і встановлення запланованої базової моделі було виконане інше завдання – визначено як елементи управління знаннями пов'язані з процесом роботи промислових компаній. В промислових компаніях вищезазначені елементи впливають на швидкість роботи (що можна виміряти кількістю випущеної продукції) та на якість виконання (якість випущеної продукції). Такий ефект настає після деякої паузи, а рівень задоволення клієнтів змінюється відповідно до змін у швидкості та якості створення продукції. Таким чином, згідно з представленою моделлю, покращення рівня управління знаннями супроводжується покращеннями у швидкості та якості виконання робіт, а також підвищенням задоволеності клієнтів. Результати дослідження в поєднанні з інформацією, отриманою від двох компаній (такою як кількість і якість продукції та рі-

вень задоволеності клієнтів) в період між Дослідженням 1 і Дослідженням 2 підтверджують цей висновок.

В теперішній час управління знаннями набуло незаперечної необхідності. Сьогодні в умовах глобалізації та різноманіття викликів, організації, які не використовують управління знаннями, мають невисокі шанси на виживання, тому обізнаність з основами управління знаннями може надати компаніям можливість впевнено працювати і конкурувати. В той же час, оцінювання рівня управління знаннями це один з інструментів, який відчутно допомагає менеджерам розуміти рівень покращення в управлінні знаннями.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Drucker P. Management Challenges for the 21<sup>st</sup> Century. Harper-Collins Publishers. Inc. New York, 2010*
2. *Икуиро Нонака, Хиротака Такеши. Компания, создающая знания: Как японские компании создают продвижение и развитие инноваций. – Издательство Оксфордского университета, 1995. – 304 с.*
3. *Glaser R Measuring the Knower: Towards a theory of knowledge equity. Calif. Manage. Rev., 1998/ 40(3): 175-194p.*
4. *Davenport TH, Prusak L. Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know. Harvard Business School Press, Boston, 2008*
5. *Barron T. A Smarter Frankenstein: The merging of E-learning,/ ASTD, Alexandria, VA, 2000, 247 p.*
6. *Bahra N. Competitive Knowledge management/ Plagrave, London, 2001, 185p.*
7. *Руководство по управлению инновационными проектами и программами. Р2М. Том 1, Версия 1.2 / Пер. с англ. под ред. проф. С.Д. Бушуева. – К.: Наук. світ, 2009. – 173 с.*
8. *Козут Б., Зандер У. Знания фирмы, комбинационные способности и репликация технологии // Российский журнал менеджмента. – 2004. – Т. 2. –№ 1. С. 121-140.*
9. *Мариничева М.К. Управление знаниями на 100 %: Путеводитель для практиков. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 230 с.*

*Стаття надійшла до редакції 28.09.2012*

#### **Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Інформаційні технології» Київського національного університету будівництва і архітектури **С.В. Цюцюра**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління проектами» Київського національного університету будівництва і архітектури **С.Д. Бушуєв**.

УДК 519.863

С.П. Онищенко, А.Р. Сираев

СУЩНОСТЬ, СТРУКТУРА  
И ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Определена маркетинговая сущность, структура и основные виды распределительных систем*

**Ключевые слова:** *распределительная система, маркетинг, классификация*

*Визначено маркетингову сутність, структуру та основні види розподільних систем*

**Ключові слова:** *розподільна система, маркетинг, класифікація*

*Defined the essence, the structure and the main types of distribution systems in marketing*

**Keywords:** *distribution systems, marketing, classification*

**Введение.** Три взаимосвязанных сферы деятельности предприятий – маркетинг, логистика и производство – образуют единство, целью которого является обеспечение эффективной работы предприятия (рис.1). Каждая из составляющих вносит свой специфический вклад в итоговую эффективность:

- **производство** – за счет минимизации производственных затрат и максимизации качества продукции;
- **логистика** – за счет минимизации расходов в системе поставок различных видов сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, как внутри производственной системы, так и для/из данной системы;
- **маркетинг** – за счет максимизации сбыта и эффективности продаж, благодаря адекватному комплексу маркетинга «4Р».

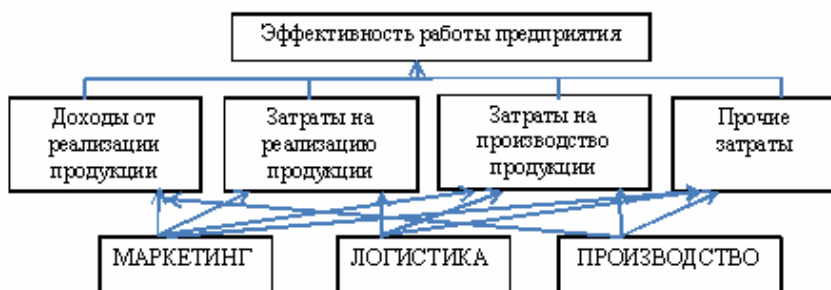


Рис.1. Основные источники эффективности работы предприятия

Следует отметить тот факт, что в последние десятилетия в распределительных системах различной продукции наблюдаются интеграционные процессы, которые послужили базой для выделения двух видов интеграции в этой сфере: вертикальной и горизонтальной, которые в литературе получили названия «вертикальная маркетинговая система», «горизонтальная маркетинговая система».

Следует отметить пересечение сфер интересов маркетинга и логистики, которое возникает в части *снабжения и распределения*. Объектом маркетинга в распределении является *продукция (товар)*, логистика же оперирует *материальным потоком* – продукцией в движении и с приложением к ней логистических операций в рамках определенного промежутка времени. Таким образом, справедливо следующее [14]:

- **маркетинг** обуславливает количественные и качественные показатели, которые необходимо достичь в процессе производства, а также местоположение «стока» («источника») материального потока. То есть, по сути, система маркетинга формирует укрупненные показатели для производственной системы, объемные и пространственно-временные характеристики материального потока для соответствующей логистической системы (рис.2);

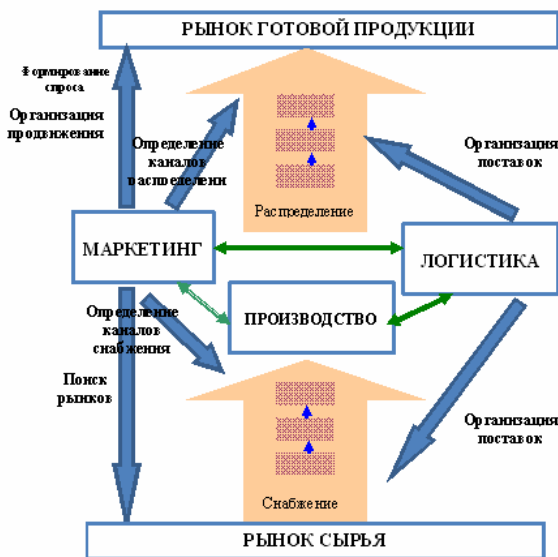


Рис. 2. Триада – маркетинг, производство, логистика

- **производство**, в свою очередь, генерирует материальный поток в соответствии с задаваемыми маркетингом параметрами;
- в рамках **логистики** рассматривается управление материальным потоком в соответствующей логистической системе, сформированной на базе маркетинговых требований.

Таким образом, распределение – это этап прохождения продукции -материального потока, который может рассматриваться как с маркетинговой, так и с логистической точек зрения. Каждый уровень рассмотрения обуславливает специфические задачи организации и управления функционированием распределительных систем.

**Анализ исследований и выделение нерешенной части проблемы.** Распределение – доведение продукции до потребителей - осуществляется в соответствующей распределительной системе. Несмотря на широкое использование термина «распределительная система», в современных публикациях отсутствует четкое определение, идентификация структуры и классификация данного объекта.

Б.А. Аникин и А.П. Тяпухин дают следующее определение [2]: *Распределительная система* – совокупность субъектов и взаимосвязей между ними, обеспечивающая взаимодействие между производителями (поставщиками) и потребителями.

В литературе по маркетингу под *распределительной системой* понимается совокупность каналов распределения. Как известно, канал распределения – это путь, по которому товары движутся от производителя к потребителю.

В [4] Г.Я. Гольдштейн определяет *канал распределения* как систему, обеспечивающую доставку товара к местам продаж. Ф. Котлер дает следующую формулировку: *канал распределения* – совокупность фирм или отдельных лиц, которые принимают на себя или помогают передать кому-то другому право собственности на конкретный товар или услугу на их пути от производителя к потребителю.

Основной характеристикой канала является число уровней. Под уровнем канала распределения понимается любой посредник, который выполняет ту или иную работу *по приближению товара или права собственности на него к конечному покупателю* [6, 7, 8, 12].

Иногда наряду с термином «распределительная система» используется термин «распределительная сеть», что связано ассоциативно с понятиями «торговая сеть», «сбытовая сеть», «дилерская сеть». Как правило, под распределительной сетью понимается: один продавец – несколько покупателей (посредников, точек продаж, конечных потребителей).

В публикациях по логистике (например, [4, 5, 9, 15]) рассматривается *логистическая распределительная система*, предназначение которой – обеспечение эффективной организации продвижения готовой продукции от производителя к конечным или промежуточным оптовым потребителям и розничным продавцам. Согласно мнению указанных специалистов, логистическая распределительная система включает процессы складирования, транспортировки и реализации продукции на основе спроса потребителей. Главная цель функционирования распределительной системы – обеспечение потребителей товарами высокого качества с минимальными издержками и в кратчайший срок в соответствии со стандартом обслуживания потребителей.

По мнению Т.В. Алесинской [1] основная цель логистической системы распределения – доставить товар в нужное место и в нужное время. По мнению этого же автора, в отличие от маркетинга, который занимается выявлением и стимулированием спроса, логистика призвана удовлетворить сформированный маркетингом спрос с минимальными затратами.

Выделяют следующие типы *логистических распределительных систем* [9, 15]:

- *с прямыми связями*, в которых материальный поток проходит от производителя продукции к ее потребителю, минуя логистических посредников (транспортные, торговые организации, склады);
- *эшелонированные*, которые функционируют с помощью одного или нескольких логистических посредников;
- *гибкие*, которые сочетают в себе свойства предыдущих систем в зависимости от рыночной ситуации и вида продукции, подлежащей продаже.

Таким образом, с точки зрения логистики, состав участников в системе распределения гораздо шире, чем с точки зрения маркетинга, так как включает в себя, например, транспортные компании.

Такая *принадлежность одного объекта* – распределения – двум сферам деятельности и соответствующим областям знаний, а также значительное внимание современных исследователей к теории логистики, привели к одностороннему развитию теории формирования и функционирования распределительных систем, а именно, к развитию теоретической базы распределительной логистики. Специалисты же по маркетингу к проблеме распределения практически не обращаются, в том числе, в части разработки инструментария, позволяющего обоснованно формировать распределительную систему предприятия с учетом требований рынка. Таким образом, современные исследования уделяют внимание распределению на более детализированном (низком) уровне, а рассмотрение распределения на уровне более высокого порядка – маркетинговом – практически отсутствует.

Естественно, что некоторые специалисты обращают внимание на невозможность отождествления распределения с распределением в логистике. Так, в частности, в [2] авторы вводят понятие «*товаропроводящая распределительная система*», отделяя ее от логистической распределительной системы следующим образом:

- *товаропроводящая распределительная система*, в отличие от логистической системы, может функционировать на основе таких концепций управления, как, например, маркетинг,
- *товаропроводящая система* представляет собой систему мезоуровня, объектами логистического потока могут быть такие предметы, как например тара и незавершенное производство;
- проектирование товаропроводящих систем может включать в себя такие локальные процессы, как проектирование концентрационных,

распределительных и концентрационно-распределительных товаропроводящих систем.

В.Н. Наумов подчеркивает в [12], что система распределения (дистрибуции) предприятия-продавца состоит из *сбытовой структуры* (органы и каналы сбыта), а также из *логистической инфраструктуры сбыта* (склады, транспорт); с функциональной точки зрения система распределения – это деятельность всех подразделений предприятия с целью поиска покупателя и доставки ему товара нужного качества, в требуемом количестве и в оговоренные сроки. Таким образом, автор определяет распределение как *синтез двух структур* – маркетинговой и логистической.

Итак, следует констатировать, что такой объект как «распределительная система» требует четкого понимания и определения на маркетинговом уровне рассмотрения.

**Целью данной статьи** является четкая идентификация маркетинговой сущности распределительных систем и определение их основных видов.

**Результаты.** Итак, суть распределения – доведение продукции от производителя до конечных потребителей.

Системный подход определяет *систему* как совокупность взаимосвязанных элементов, образующих единство, подчиненное определенной цели и обменивающееся с внешней средой информацией и ресурсами. *На маркетинговом уровне*, элементами распределительной системы являются участники каналов распределения – производитель, посредники, потребители. Участники канала либо передают друг другу право собственности на товар, либо способствуют передаче прав собственности (рис.3).

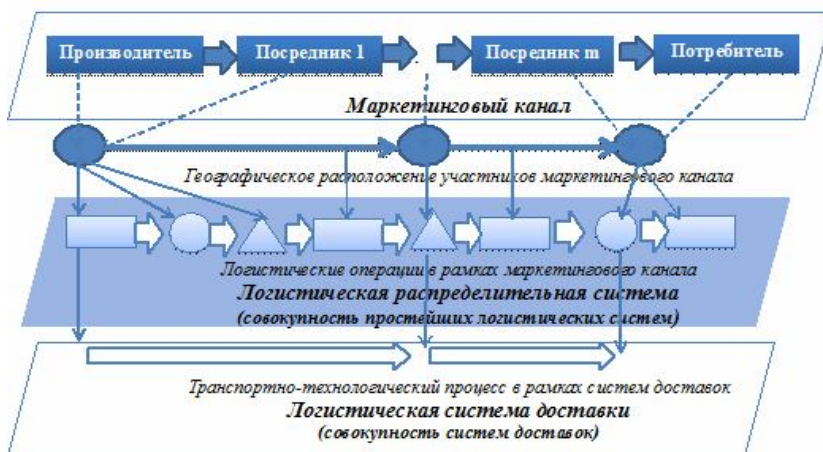


Рис.3. Уровни рассмотрения распределения

Местонахождение некоторых участников маркетингового канала может совпадать, взаимоотношения других могут не предусматривать физическую передачу товара, а современные технологии совершения сде-



лок позволяют участникам канала и самому товару находиться на значительном расстоянии друг от друга. Таким образом, передача прав собственности и физическое перемещение товара, вообще говоря, не совпадают.

В свою очередь, физическое перемещение товара предусматривает выполнение множества логистических операций (складирование, упаковку, транспортировку и т.д.), что происходит в соответствующей логистической распределительной системе. При этом в большинстве случаев осуществляется трансформация продукции (например, цемент навалом – цемент в мешках), а, с точки зрения маркетинга, это уже два разных товара, и каждому соответствует свой сегмент потребителей. Более того, одна и та же продукция различными по объему партиями (цемент в мешках оптом, цемент в мешках в розницу) с *маркетинговой точки зрения* также представляет собой *различные товары*, которые реализуются на соответствующих рынках.

Таким образом, практически каждый этап в маркетинговом канале (передача товара следующему уровню) связан со специфическим, с точки зрения маркетинга, товаром, то есть на каждом этапе осуществляется *распределение различных товаров*.

Следовательно, можно выделить «глобальную» *распределительную* систему - от производителя до конечного потребителя (рис.5), которая предусматривает изменение маркетингового статуса продукции (потребители, рынок, цена), и каждое такое изменение приводит к формированию нового товара и соответствующей системы распределения (локальной).

Как было сказано выше, физическое перемещение продукции осуществляется в соответствующей логистической системе. По мнению специалистов (например [10,11]), если действия подсистем, генерирующих, перемещающих и поглощающих материальных поток, являются согласованными на базе экономической, технической и технологической интеграции, то такую систему можно считать логистической. Таким образом, *логистическая распределительная система* (см. рис.3) предполагает согласованность и интеграцию участников. В противном случае, маркетинговому каналу отвечает совокупность простейших логистических систем («базовых модулей», под которыми, согласно [11], понимается *источник материального потока, транспорт и сток*).

Также отметим, что при рассмотрении перемещения продукции с точки зрения транспортно-технологического процесса, в каждой локальной распределительной системе можно выделить соответствующую *систему доставки*, совокупность которых, в случае интеграции и согласования действий участников, составляет *логистическую систему доставки*.

Итак, под *системой распределения определенного товара* (простейшей *распределительной системой*) будем понимать (табл.1):

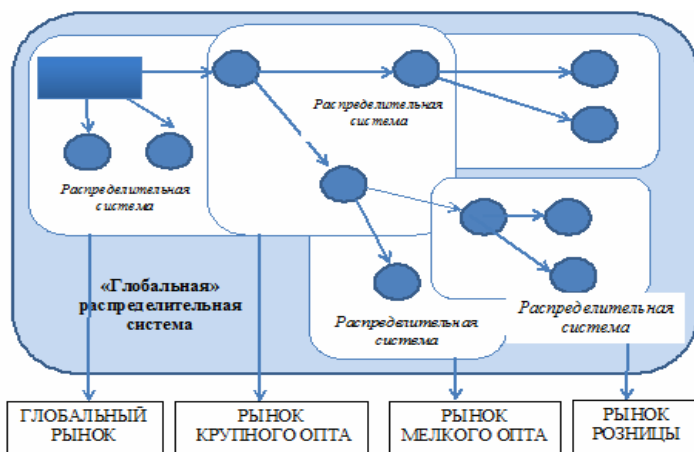


Рис.4. Принципиальная схема глобальной распределительной системы

Таблица 1

*Сущность распределительной системы в маркетинге и логистике*

Распределительная система в маркетинге	Распределительная система в логистике
<b>Участники</b> (элементы системы)	
Продавец, посредники, потребители	Продавец, посредники, потребители, предприятия-перевозчики, порты, предприятия логистического сервиса
<b>Виды связей между участниками</b> (элементами)	
Коммерческие, финансовые, информационные, юридические, организационные, транспортные	Финансовые, информационные, юридические, организационные, технологические, транспортные
<b>Цель системы</b>	
Максимизация объемов продаж при обеспечении определенного уровня их эффективности	Минимизация затрат в процессе распределения при обеспечении выполнения основных правил логистики
Максимизация прибыли при обеспечении определенного уровня объемов продаж	
<b>Основные задачи организации функционирования системы</b>	
Согласование цены товара, объемов поставок, условий поставок (в том числе, транспортных), условий продаж и сервиса	Согласование технологий доставки, цен и условий выполнения логистических операций

Любая система характеризуется **наличием главной цели**, которой подчинена деятельность всех элементов. Для распределительных систем на маркетинговом уровне главной целью, как правило, является мак-

*симизация объемов продаж при обеспечении определенного уровня эффективности.*

Данная формулировка отражает маркетинговую суть распределительных систем. Нетрудно заметить, что согласно определению, *система распределения товара* представляет собой *распределительную сеть* в совокупности с различного вида *взаимосвязями* элементов и самой сети с внешней средой.

Если весь путь доведения продукции до конечного потребителя контролируется одним из участников маркетингового канала, то *распределительная система* является совокупностью простейших распределительных систем.

Итак, согласованность *маркетинговых действий и интересов участников* маркетингового канала является базой маркетинговой интеграции участников распределительных систем, а согласованность действий участников маркетингового канала и компаний, обеспечивающих выполнение логистических операций на пути движения продукции к конечному потребителю, обеспечивает *интеграцию в логистическом аспекте*. Если логистическая интеграция обуславливает согласованность объемов и технологий производства, перевозок и т.п., то маркетинговая интеграция предполагает согласованность политик ценообразования, объемов продаж, рекламных мероприятий и т.п.

Можно сказать так – распределительная система на маркетинговом уровне является каркасом для логистической распределительной системы. Интеграция в маркетинговом аспекте может не предусматривать логистическую интеграцию; в свою очередь, при логистической интеграции в распределении согласование маркетинговых интересов чаще всего обеспечивается, но не является обязательным.

Определившись с сутью распределительных систем, выделим их основные виды. Так как составляющие системы – элементы и взаимосвязи, то их основные характеристики могут использоваться в качестве классификационных признаков. Итак, сначала классифицируем распределительные системы по характеру элементов. С учетом специфики процессов распределения товаров на рынках различного уровня (глобальном, крупного опта и т.д.), *уровень рынка* является обязательным классификационным признаком распределительных систем.

В зависимости от статуса участников можно выделить *распределительные системы международные, национальные и смешанные*.

В зависимости от политики производителей распределительные системы могут отвечать требованиям интенсивности, эксклюзивности или селективности [4, 6-8]:

*Эксклюзивное распределение* предполагает, что число посредников, работающих непосредственно с товарами или услугами производителя, жестко ограничено.

При *интенсивном распределении* производитель стремится обеспечить наличие своих товаров в максимально большом числе торговых точек.

*Селекционное распределение* – сочетает в себе черты эксклюзивного и интенсивного распределения. Селекционное распределение дает производителю возможность добиться необходимого охвата рынка при более жестком контроле и с меньшими издержками, чем при интенсивном (рис.5).

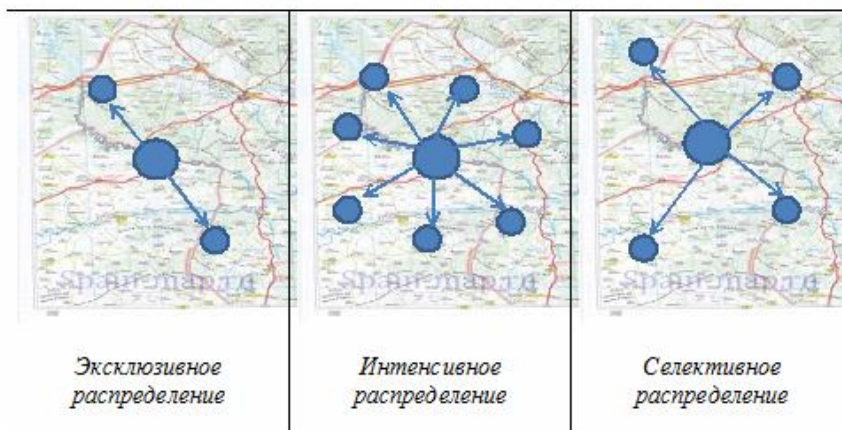


Рис. 5. Схематическое изображение интенсивного, эксклюзивного и селективного распределения

Определившись с вариантами основных характеристик элементов распределительных систем (рис.6), проанализируем особенности взаимосвязей в данных системах. Одной из важных характеристик организации функционирования распределительных систем являются *транспортные условия контракта*, в соответствии с которыми устанавливается степень ответственности продавца и покупателя за доставку товара. Как правило, для каждого вида товара и каждого уровня рынка используются определенные транспортные условия (либо несколько основных), которые могут быть также использованы в качестве классификационного признака.

Согласно определению, элементами распределительной системы являются продавец и покупатель, взаимоотношения которых регламентируются юридически.

Так как участниками маркетинговых каналов могут являться *дистрибьюторы, дилеры* и т.п., то их различные комбинации образуют соответствующие виды распределительных систем, в рамках которых участники специфическим образом делят права, обязанности и риски.

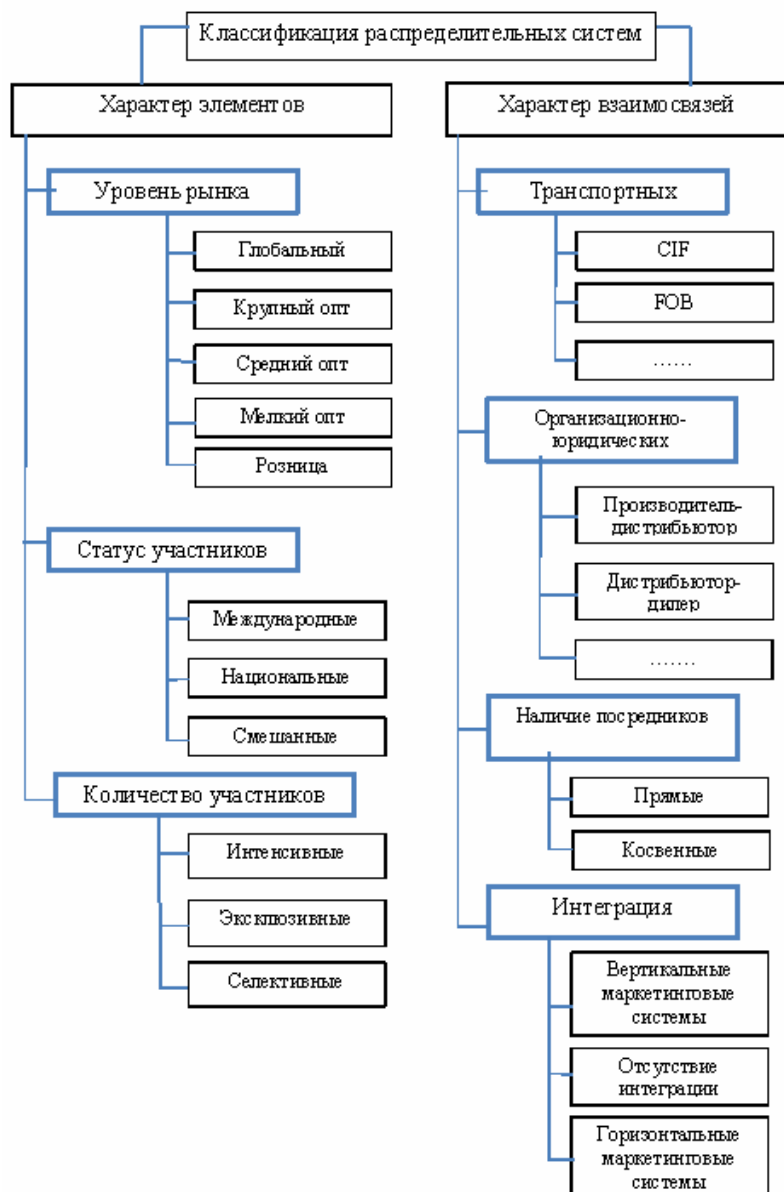


Рис.6. Классификация простейших распределительных систем (маркетинговый аспект)

Отметим, что такие участники маркетинговых каналов как, например, *агенты и брокеры* не обладают правом собственности на товар, их основная функция – поиск контрагентов. Поэтому в распределительной системе локального характера, по аналогии с глобальными распределительными системами, охватывающими все этапы прохождения продук-

ции от производства до конечного потребителя, можно выделить *прямые связи* (продавец-покупатель) и *связи с посредниками – косвенные* (продавец-брокер-покупатель, продавец-агент-покупатель).

Следует отметить тот факт, что в последние десятилетия в распределительных системах различной продукции наблюдаются интеграционные процессы, которые послужили базой для выделения двух видов интеграции в этой сфере: вертикальной и горизонтальной, которые в литературе получили названия «вертикальная маркетинговая система», «горизонтальная маркетинговая система».

*Вертикальная маркетинговая система* состоит из производителя, одного или нескольких оптовых торговцев и одного или нескольких розничных торговцев, действующих как единая система. В этом случае один из участников либо является владельцем остальных, либо предоставляет им торговые привилегии. По мнению аналитиков, такие системы стали преобладающей формой распределения в сфере потребительского маркетинга, где ими охвачено уже 64 % всего рынка [12].

Под *горизонтальной маркетинговой системой* понимается соглашение между несколькими организациями одного уровня канала распределения о совместных действиях, с целью использования появляющихся при этом новых маркетинговых возможностей. В рамках такого соглашения организации могут объединить свои капиталы, производственные и маркетинговые ресурсы. Участниками соглашения могут быть как неконкурирующие, так и конкурирующие организации [4, 7]. Таким образом, для простейшей распределительной системы (распределительной системы *товара*) в качестве классификационного признака можно использовать принадлежность к горизонтальным или вертикальным маркетинговым системам.

**Выводы.** Распределительные системы – объект, который рассматривается на двух уровнях – маркетинговом и логистическом. В данной статье идентифицирована маркетинговая сущность распределительных систем, определено принципиальное отличие распределения в маркетинге от распределения в логистике, сформирована классификационная схема распределительных систем с маркетинговой точки зрения. Представленные результаты могут использоваться в качестве базы для дальнейших исследований, связанных с организацией и функционированием распределительных систем.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алесинская Т.В. *Основы логистики. Функциональные области логистического управления. Ч. 3.* – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 116 с.
2. Аникин Б.А., Тяпухин А.П. *Коммерческая логистика.* – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. – 432 с.

3. Гаджинский А. М. *Логистика: Учебник для студентов высших учебных заведений. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К°", 2004.*
4. Гольдштейн Г.Я., Катаев А.В. *Маркетинг. Учебн. пособие для магистрантов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999. – 107 с.*
5. Киришина М.В. *Коммерческая логистика. – М.: Центр экономики и маркетинга, 2001.*
6. Котлер Ф. *Маркетинг менеджмент. – СПб.: Питер Ком, 1999. – 896 с.*
7. Котлер Ф. *Основы маркетинга. – М.: Прогресс, 1990. – 736 с.*
8. Котлер Ф., Армстронг Г., Сондерс Д., Вонг В. *Основы маркетинга: Пер. с англ. – 2-е изд. – К.; М.; СПб.: Издат. дом "Вильямс", 1998. – 944 с.*
9. *Логистика: Учебник / Под ред. Б.А. Аникина: – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 220 с.*
10. Ляшенко Н.И. *Модель оптимизации трехуровневой подсистемы распределения в интегрированной логистической цепи поставок / Н.И. Ляшенко // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Вип. 24. – Одеса: ОНМУ, 2006. – С. 137-150.*
11. Ляшенко Н.И. *Обоснование подхода к определению логистической системы / Н.И. Ляшенко // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць. – Вип. 23. – Одеса: ОНМУ, 2005. – С. 151-159.*
12. Наумов В.Н. *Маркетинг сбыта, 1999. – М.: Мир. – 51 с.*
13. Николайчук В.Е. *Логистика в сфере распределения. – СПб.: Питер, 2001.*
14. Онищенко С.П. *Моделирование процессов организации и функционирования системы маркетинга морских транспортных предприятий / С.П. Онищенко. – Одесса: Феникс, 2009. – 328 с.*
15. *Основы логистики: Учебн. пособие / Под ред. Л.Б. Миротина и В.И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2000.*

*Стаття надійшла до редакції 29.09.2012*

#### **Рецензенти:**

доктор технічних наук, доцент кафедри «Системний аналіз і логістика» Одеського національного морського університету **О.І. Лапкін**

доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Менеджмент і маркетинг на морському транспорті» Одеського національного морського університету **М.Я. Постан**

### АВТОРИ ЗБІРНИКА

**Антонов Борис Іванович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Одеського національного морського університету

**Варгін Михайло Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Морські та річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету

**Вичужанин Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету

**Гловацька Світлана Миколаївна** – начальник відділу міжнародних зв'язків Одеського національного морського університету

**Гришин Володимир Олександрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Одеського національного морського університету

**Григорян Тігран Георгієвич** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління проектами» Національного університету кораблебудування

**Гітерман Дмитро Менделевич** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Одеського національного морського університету

**Єгоров Геннадій В'ячеславович** – доктор технічних наук, професор, генеральний директор Морського інженерного бюро, м. Одеса

**Єгоров Олександр Геннадійович** – мол. наук. співпрацівник Морського інженерного бюро, м. Одеса, здобувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

**Загребнюк Віктор Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автоматизація і управління технологічними процесами» Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова

**Івановський Валерій Георгієвич** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету



**Кваснєвський Євген Анатолійович** – секретар міської ради,  
м. Южноукраїнськ

**Кібаков Олександр Григорович** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри «Теорія механізмів і машин й деталей машин» Одеського  
національного морського університету

**Конопльов Анатолій Васильович** – кандидат технічних наук,  
доцент, завідувач кафедри «Теорія механізмів і машин й деталей машин»  
Одеського національного морського університету

**Кошкін Костянтин Вікторович** – доктор технічних наук,  
професор, директор інституту, завідувач кафедри ІУСТ Національного  
університету кораблебудування

**Куценко Марина Миколаївна** – аспірант кафедри «Управління  
проектами» Київського національного університету будівництва та  
архітектури

**Малахов Олексій Володимирович** – доктор фізико-матема-  
тичних наук, професор, професор кафедри «Теорія та проектування  
корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова»

**Олевинський Євген Борисович** – старший викладач кафедри  
«Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського  
національного морського університету

**Онищенко Світлана Петрівна** – доктор економічних наук  
завідувач кафедри «Організація митного контролю на транспорті»  
Одеського національного морського університету

**Осташко Єгор Олександрович** – аспірант кафедри «Теорія та  
проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова»

**Павленко Ірина Василівна** – аспірант кафедри «Динаміка,  
міцність машин та опір матеріалів» Одеського національного  
політехнічного університету

**Рубльов Ілля Сергійович** – ст. викладач кафедри «Технічна  
кібернетика» Одеського національного морського університету

**Руденко Сергій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент,  
проректор з наукової роботи, директор Науково-дослідного інституту  
фундаментальних та прикладних досліджень Одеського національного  
морського університету

**Сірасв Олександр Рафаїлович** – аспірант кафедри «Системний аналіз і логістика» Одеського національного морського університету

**Слабенко Євген Володимирович** – аспірант Одеського національного політехнічного університету

**Старостін Сергій Миколайович** – аспірант кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова»

**Сурьянінов Миколай Георгійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Динаміка, міцність машин та опір матеріалів» Одеського національного політехнічного університету

**Удолатій Вікторія Борисівна** – асистент кафедри «Теорія автоматичного управління та обчислювальна техніка» Одеської національної морської академії

**Шахов Анатолій Валентинович** – доктор технічних наук, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету

## ЗМІСТ

### ВИДАТНІ ВЧЕНІ ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

<b>Варгин М.Н.</b> Выдающийся инженер и педагог Н.Н. Зарембо-Владычанский	3
--	---

### ПРОЕКТУВАННЯ КОРАБЛЯ

<b>Егоров Г.В.</b> Предпосылки создания нового поколения сухогрузных судов смешанного плавания	10
<b>Егоров А.Г.</b> Оценка эффективности эксплуатации перспективного барже-буксирного состава «Днепро-Макс» класса	35

### БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА, МІЦНІСТЬ СУДЕН І СПОРУД

<b>Гришин В.А.</b> Морские искусственные острова. Ч.1.	54
<b>Гитерман Д.М.</b> Оптимальное управление частотами при изгибных колебаниях	64
<b>Антонов Б.И., Удолатий В.Б.</b> Сложный изгиб неоднородного бруса	73
<b>Павленко И.В., Сурьянинов Н.Г.</b> Построение функции Грина при решении задачи изгиба ортотропной пластины численно-аналитическим методом граничных элементов	83
<b>Сурьянинов Н.Г., Слабенко Е.В.</b> Фундаментальные функции в задаче изгиба длинной цилиндрической оболочки	89

### ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ

<b>Коноплев А.В.</b> Влияние выбора модели кривой усталости на сумму накопленных повреждений при нерегулярном режиме нагружения	97
<b>Вычужанин В.В.</b> Программное управление вентильным электроприводом	104

<b>Ивановский В.Г., Олевинский Е.Б.</b> Результаты экспериментального исследования дизеля «пилстик» РС 2 .....	119
<b>Загребнюк В.І., Рубльов І.С.</b> Формат кодування цифрових зображень з субдискритизацією хроматичних компонент .....	126
<b>Коноплев А.В., Кобаков А.Г.</b> О распределении долговечностей до разрушения при стационарном режиме испытаний .....	137
<b>Малахов А.В., Осташко Е.А., Старостин С.Н.</b> Методика расчета рабочего процесса в кавитационном сепараторе судовых льяльных вод .....	146

### УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ

<b>Гловацкая С.Н., Руденко С.В.</b> Модель процесса стратегического управления международной деятельностью университета на базе ССП .....	155
<b>Руденко С.В., Шахов А.В.</b> Анализ эколого-социальных результатов реализации природоохранной программы в мкр. «Лузановский» г. Одессы ...	166
<b>Григорян Т.Г., Квасневский Е.А., Кошкин К.В.</b> Особенности управления жизненными циклами проектов повышения безопасности АЭС .....	177
<b>Куценко М.М.</b> Розробка моделі для оцінки рівня системи управління знаннями в промислових організаціях .....	185
<b>Онищенко С.П., Сираев А.Р.</b> Сущность, структура и основные виды распределительных систем	195

## ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ

Редакційна колегія збірника наукових праць запрошує науковців до співробітництва в галузі інформування науково-технічної громадськості про нові теоретичні і практичні досягнення у сфері функціонування різних видів транспорту.

У журналі публікуються оригінальні та оглядові статті проблемного і дискусійного характеру.

Статті публікуються на одній з трьох мов: українській, російській або англійській.

Стаття повинна задовольняти вимогам ВАК України до публікацій статей у періодичних наукових виданнях.

Редакційна колегія приймає лише наукові статті, які мають **такі елементи**: постановка проблеми, огляд останніх досліджень і публікацій з цієї проблеми, формулювання завдання дослідження, виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів, висновки з цього дослідження, список використаних джерел.

Стаття має відповідати тематичному спрямуванню збірника і бути завізована власноручно підписом автора.

Матеріал необхідно викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літера-турні джерела. Одиниці виміру слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI або в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно до вимог чинних державних стандартів.

Рекомендований обсяг статті, що включається у збірник, **не менше 6 та не більше 15 сторінок**.

Для опублікування у збірнику необхідно до підписаної всіма авторами статті та рефератів додати такі документи:

- ✓ експертний висновок;
- ✓ рецензію фахівців з науковим ступенем за профілем статті (бажано доктора економічних наук), завірену печаткою;
- ✓ рекомендацію відповідної кафедри, лабораторії або наукового підрозділу, що рекомендує статтю до друку;
- ✓ авторську довідку, якщо автор подає рукопис до Видавництва ОНМУ вперше, з зазначенням місця роботи, посади, вчених ступенів і звань, адрес і телефонів.

Рішення про публікацію статті у збірнику приймає редакційна колегія на підставі висновку рецензентів про її наукове та практичне значення.

### **Вимоги до оформлення тексту статті**

Редакційна колегія приймає до роботи диски і один примірник роздрукованого текстового оригіналу (файлів), що є на диску. Текстовий редактор Word – файли в форматі (Word 97-2003 & 6.0/95 RTF).

Необхідно дотримуватись головної вимоги – відповідність шрифтів документа його формату. Оформлення рівнозначних фрагментів документа (заголовків, підписів під рисунками, формул тощо), позначень ідентифікаторів перемінних та констант повинно бути однаковою по всій роботі. Одна і та ж величина (фізична, хімічна, економічна тощо) повинна мати однакове начертання літер.

Текст набирається з дотриманням нижченаведених правил:

- ✓ абзаци відокремлюються один від одного одним маркером кінця абзацу (застосування цього символу в інших цілях не допускається);
- ✓ усі слова всередині абзацу розділяються тільки одним пробілом;
- ✓ перед розділовим знаком пробіли не ставлять, після розділового знака – один пробіл;
- ✓ після ініціалів (перед прізвищем), перед скороченнями і між ними ставиться нерозривний пробіл;
- ✓ виділення курсивом, напівжирним, великими літерами забезпечуються засобами Word.

### **Розміри полів на сторінках видання**

Розмір паперу – формат А4 210 x 297 мм.

- ✓ верхнє – 2 см;
- ✓ нижнє – 3 см;
- ✓ ліве – 2,5 см;
- ✓ праве – 1,5 см.

Стиль, рекомендований для друку – Times New Roman, 14 пт; рядковий;

- вирівнювання – по ширині;
- міжрядковий інтервал – одинарний;
- заборона висячих рядків;
- режим переносу слів – відключений.

### **Розстановка переносу слів ручним способом забороняється**

У лівому куті статті зверху проставляється індекс УДК, ініціали та прізвища авторів передують заголовку і друкуються рядковими літерами – у правому куті.

### **Заголовок**

- ✓ відступ – 0,75;
- ✓ шрифт – Arial Сут, 14 пт, великий;
- ✓ напівжирний;
- ✓ вирівнювання – вліво.

**Анотація** складається **обов'язково трьома мовами**: українською, російською та англійською (обсягом до 50 слів кожна).

**Ключові слова** – **обов'язково трьома мовами**: українською, російською та англійською (5-10 слів) наводяться після анотації.

Далі наводяться всі обов'язкові елементи наукової статті.

### **Вступ**

- а) постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними задачами;
- б) короткий аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор;
- в) виділення невирішених раніше питань загальної проблеми, яким присвячується стаття.

**Постановка задачі** – формулювання мети статті.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів з поділом його на частини з відповідними назвами**

- У цьому розділі рекомендується висвітлити такі питання, як:
- а) ґрунтовний огляд існуючих рішень поставленої задачі (якщо це необхідно);
  - б) актуальність поставленої задачі;
  - в) вибір методів, підходів, моделей та інструментів розв'язку поставленої задачі;
  - г) власне розв'язок поставленої задачі;
  - д) адекватність теоретичних рішень та переваги практичних рішень над існуючими;
  - е) приклади застосування отриманих результатів.

### **Висновки**

- а) підсумки даного дослідження;
- б) перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.

## Література

Список літератури подається в порядку посилання. Неприпустиме посилання на неопубліковані та незавершені праці.

**Редакційна колегія звертає увагу авторів на те, що назва статті повинна коротко і максимально точно відобразити суть проведених досліджень.**

### Розміри для введення формул

- ✓ основний – 16 пт;
- ✓ крупний індекс – 12 пт;
- ✓ дрібний індекс – 10 пт;
- ✓ крупний символ – 18 пт;
- ✓ дрібний символ – 14 пт;
- ✓ перемінна – курсив (на 2 пт більше базового);
- ✓ функція и константи – прямий шрифт (на 2 пт більше базового);
- ✓ скорочення в індексах – прямий шрифт.

**Математичні формули** набирають тільки вбудованим редактором формул Microsoft Equation 3.0. Вони потребують однакового написання та розміщення елементів. Індеси та показники степеня повинні бути однаковими за розміром, але не більше ніж у два рази меншими за основну строку формули та однаково опущеними чи піднятими по відношенню до лінії основного рядка формули, щоб при зменшенні в 1,5 рази вони безпомилково читались.

Номери формул позначають арабськими цифрами у круглих дужках, розташовуючи їх біля правого краю полоси. У разі, якщо номер не вміщується у рядку формули, його виділяють у наступний за формулою черговий рядок. Біля формули, що займає декілька рядків, номер ставлять біля останнього рядка, біля формули-дробу – навпроти основної ділильної лінійки. Невеликим формулам у одному рядку, якщо вони складають єдину групу, присвоюють один загальний номер. Групу формул, розташованих окремими рядками, охоплюють справа чи зліва парантезом і номер групи розташовують проти його вістря, а якщо парантеза справа нема – проти середини цієї групи.

Якщо формула набирається у редакторі формул шрифтом Times курсивом, то і по тексту символи необхідно набирати курсивом, тобто символи по тексту повинні відповідати символам у редакторі формул.

Якщо формула набирається шрифтом Arial не курсивом, то і по тексту символи повинні відповідати формулі.



**Рисунки** набираються по тексту, повинні бути згрупованими, розмір не повинен перевищувати 10x12 см.

Підписи та надписи у графічних об'єктах (рисунках, схемах та т. інш.) неможна робити за допомогою інструменту надпису панелі інструментів (Рисування) у зв'язку з тим, що при збільшуванні чи зменшуванні графічних об'єктів текстові блоки викривлюються.

Для створення графічних об'єктів рекомендується використовувати графічні програми Paint, Corel Draw, AutoCad та інш.

Середня кількість ілюстрацій за обсягом не повинна перевищувати 20 % авторського тексту, що при розмірі 9x12 см складе 7-8 рисунків на авторський лист.

Якщо рисунок у статті один, то він не нумерується, посилання на нього робиться словом «рисунок» без скорочення, а під самим рисунком слово «рисунок» не пишеться. Підпис з експлікацією без підпису (теми зображення) неприпустиме.

Підпис завжди починають з великої літери, експлікації – з малої. Крапки у кінці підпису не ставлять. Після основного підпису, якщо далі йде експлікація, прийнято ставити двокрапку. Елементи експлікації відділяють один від одного крапкою з комою, а цифрові або буквені позначення від тексту пояснення – знаком тире.

**Таблиці.** Ширина таблиці повинна відповідати ширині текстового блоку видання. Розмір шрифту для набору таблиці – 14 кегль. Допускається розмір шрифту – 12 кегль.

Таблиці повинні бути надруковані у тексті після абзаців, що мають посилання на них. Таблиця має нумераційний заголовок та тематичний заголовок, що визначає її тему та зміст (без розділового знака на кінці).

Якщо в тексті одна таблиця, нумераційний заголовок не пишеться. Тематичний заголовок не пишеться у таблиці допоміжного характеру, у такій, що немає самостійного значення.

Основні вимоги до тематичного заголовка – точність, відповідність призначенню, зміст таблиці, виразність та короткість.

Над таблицею, що продовжується, пишеться нумераційний заголовок «Продовження табл. \_ », якщо вона не закінчена, або «Закінчення табл. \_ », якщо закінчена.

Текст таблиці не повинен виходити за лінії, що обмежують графі. Числа у таблиці, що мають більше чотирьох цифр, повинні ділитися на класи по 3 цифри, інтервалом у один пробіл (виняток номери та дати).

Таблиці повинні бути закритими з боків та внизу. Графу «Номер з/п» давати тільки тоді, коли є посилання на цю нумерацію.

*Заголовки граф* ставлять у називному відмінку однини чи множини без довільного скорочення слів.

У одноярусній головці усі заголовки пишуться з великої літери.

У дво- і багатоярусній головці заголовки верхнього ярусу пишуться з великої літери, а заголовки наступних ярусів – з великої літери, якщо вони граматично не підпорядковуються заголовку верхнього ярусу, що стоїть над ними.

*Примітки та виноски* за змістом таблиці необхідно друкувати тільки під таблицею.

*Виноски* позначаються зірочкою.

**Матеріали і документи, які не повністю оформлені або не відповідають усім вимогам, не розглядаються.**

### УВАГА!

**Матеріали, що подаються для опублікування, повинні бути актуальними, виключати паралелізм та дублювання.**

Передрукування та будь-яке використання матеріалів здійснюється з обов'язковим посиланням на збірник.

Автори несуть повну відповідальність за науковий зміст, точність фактичних даних, посилань на джерело, а також ілюстративного матеріалу і цитат.

Редакція не завжди поділяє позицію авторів публікацій.

### Приклади бібліографічного опису документа

#### Опис книги одного автора

Іванов О.К. Економічний аналіз: Учбовий посібник/ О.К. Іванов. – СПб.: Вид. СПбГТУ, 1998. – 88 с.

#### Опис книги двох авторів

Гаврикова Т.А. Дислокація в кристалах: Учебн. пособие / Т.А. Гаврикова, Б.А. Зыков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 72 с.

#### Опис книги трьох авторів

Сергеев К.Г. Физические методы контроля качества материалов и продукции: Учебн. пособие / К.Г. Сергеев, Н.А. Столярова, И.И. Горшков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 52 с.

#### Опис книги під редакцією

Пористые проницаемые материалы: справ./ Под ред. С.В. Белова. – М.: Металлургия, 1987. – 333 с.

#### Опис методичних вказівок

Управление проектами: Метод. указания / В.П. Капитанов. – Одесса: Изд-во ОНМУ, 2005. – 37 с.

#### Опис складової частини видання

Ильф И.А. Источник веселья / И.А. Ильф, Е.П. Петров // Собр. соч.: В 5 т. – М., 1961. – Т.5. С.94-97.

#### Опис статті зі збірника, книги

Кириллов В.Н., Демидюк А.В., Тонюк В.И. Экспериментальная установка для исследования гидродинамических характеристик продольной качки моделей судов // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во ОДМУ. – 1998. – № 1. – С.90-93.

#### Опис статті з журналу

Вечорин Е.Л., Константин Петрович Боклевский / Е.Л. Вечорин // Научно-технические ведомости СПбГТУ. – 1999. – № 1(15). – С. 113.

Синтез перенасыщенных аналогов пенициллина / Е.Ф. Панарин, М.В. Соколовский, М.Б. Беров, М.А. Жукова // Изв. АН СССР. Сер. хим. – 1974. – № 10. – С. 2300-2303.

#### Опис статті з газети

Немировский Е.Л. Первопечатник Иван Федоров / Е.Л. Немировский // Лит.газ. – 1984. – 5 мая. – С.16.

**Опис стандартів**

ГОСТ 7.1-84 СИБИД. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила оформления. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 76 с.

**Опис патентних документів**

А.с. 1254421 СССР, МКИ G 03 G 15/00. Электрографический микрофильмирующий аппарат / А.Г. Арутюнов (СССР). Опубл. 23.06.86. Бюл. № 32.

**Опис авторефератів дисертацій**

Касимовский Н.И. Разработка оксидного катализатора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук // Н.И. Касимовский; ЛТИ им. Ленсовета. – Л., 1988. – 16 с.

**Опис дисертації**

Талишинский Р.Р. Документализм в публицистике: Дис. ... канд. филол. наук / Р.Р. Талишинский; Моск.гос.ун-т. – М., 1986. – 203 с.

**Опис іноземних літературних джерел** підпорядковується тим же правилам. Наприклад:

Wyner F. The wire-tap channel / A. Wyner // Bell Sistem Technical J. – 1975. – Vol. 54. – № 3. – P. 1355-1387.

*Наукове видання*

**ВІСНИК**  
**ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО**  
**МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 35 (2)**

Засновник – Одеський національний морський університет

*Українською, російською  
та англійською мовами*

Видається з червня 1997 р.

---

---

Підписано до друку з оригінал-макету 26.06.12.  
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 14,9.  
Замовлення № 275

Надруковано у Видавництві ОНМУ  
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.

Тел. 728 31 14