

# ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ

35

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



**ВІСНИК  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Збірник наукових праць*

**ВИПУСК 35 (2)**

*Заснований у червні 1997 року*

Одеса – 2012

ОДЕСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

№ 35 (2)  
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.	<b>Вассерман О.А.</b>	д-р фіз.-мат. наук, проф.	<b>Андронов І.Л.</b>
д-р техн. наук, проф.	<b>Гришин В.О.</b>	д-р техн. наук, проф.	<b>Дубровський М.П.</b>
д-р техн. наук, проф.	<b>Єгоров Г.В.</b>	д-р техн. наук, проф.	<b>Івановський В.Г.</b>
д-р техн. наук, проф.	<b>Євдокімов В.Д.</b>	д-р техн. наук, проф.	<b>Козляков В.В.</b>
д-р техн. наук, проф.	<b>Клованич С.Ф.</b>	д-р економ. наук, проф.	<b>Лапкіна І.О.</b>
д-р техн. наук, проф.	<b>Козирев В.К.</b>	д-р техн. наук, проф.	<b>Сизов В.Г.</b>
д-р економ. наук, проф.	<b>Махуренко Г.С.</b>	д-р техн. наук, проф.	<b>Яровенко В.О.</b>
д-р економ. наук, проф.	<b>Постан М.Я.</b>		

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Одеського національного морського університету  
(протокол № 7 від 29 лютого 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.

УДК 69.05:658.562:728.1

В.А. Гришин, В.И. Снисаренко

**ПЕДАГОГ И УЧЕНЫЙ  
ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ ЧЕБЫКИН**

*Если говорить очень схематично, то среди ученых существуют как бы два типа исследователей. Один – это тип скорее немецкой школы, когда экспериментатор исходит из известных теоретических предположений и старается их проверить на опыте. Другой же тип ученого, скорее английской школы, исходит не из теории, а из самого явления – изучает его и смотрит, может ли это явление быть объяснено существующими теориями. Тут изучение явления, его анализ являются основным мотивом для экспериментатора.*

**П.Л. Капица «Эксперимент, теория, практика»**

Когда мы, авторы этой статьи, проходим по коридору первого этажа старого учебного корпуса, то всегда останавливаемся перед дверью,



рядом с которой висит мемориальная доска с надписью:

«Лабораторія гідравліки і водних досліджень ім. професора, доктора технічних наук Чебікіна В.О.»

На вопрос, заданный на лекции студентам-гидротехникам, о том, что они знают о профессоре Владимире Александровиче Чебыкине? в ответ – молчание. Видимо и многие преподаватели нашего университета сегодня ответят также. Все просто, произошла смена поколения преподавателей университета, а прошедшее часто забывается. Но кем же он был этот незаурядный человек, заслужено занесенный на мемориальную доску, которого не так давно в нашем институте, тогда в ОИИМФе, знали все преподаватели, сотрудники и студенты? Поэтому вначале крат-

кие, как в отделе кадров, данные о его жизненном нелегком пути.

Владимир Александрович Чебыкин родился в 1896 году в городе Фергане в семье инженера, происхождения из дворян. Он – юнкер Михай-

ловского артиллерийского училища в Петербурге с 1914 по 1915 г. После его окончания в чине прапорщика 113 артиллерийской бригады был направлен на фронт (1915-1917 г.). После ранения в 1917 г. он уже Георгиевский кавалер и в чине штабс-капитана был эвакуирован в Харьков, где в госпитале у него была ампутирована левая нога.

С 1918 по 1920 г. работал на Харьковской железной дороге электриком. В 1923 году поступил в Одесский индустриальный институт, который окончил в 1928 году по специальности инженер-механик. Там же до 1940 года работал преподавателем и доцентом, а также по совместительству читал лекции в других институтах Одессы.

Он ученик профессора В.Н. Пинегина в 1939 году успешно защитил кандидатскую диссертацию по исследованию работы ливнеспусков, а в 1940 году ему было присвоено ученое звание доцента.

После образования в 1930 г. Одесского института инженеров водного транспорта (ОИИВТ) был направлен с 1941 г. для работы в нем доцентом, где раньше работал совместителем. Вместе с этим институтом находился во время войны в эвакуации (город Самарканд), где работал деканом судомеханического факультета. Там за хорошую подготовку специалистов морского флота институт получил переходящее красное знамя, а декан Чебыкин В.А. был премирован месячным окладом. Директором института Будницким А.В. ему также была объявлена благодарность. В 1944 году вместе с институтом вернулся в освобожденную Одесу, где почти до конца своей жизни (до 1972 г., ушел из жизни в 1974 г.) работал в ОИИМФе доцентом, профессором, дважды деканом гидротехнического факультета и заведующим кафедрой гидравлики и водных исследований.

Выписка из аттестационного листа 68/д Чебыкина В.А. от 28.9.1949 г. сообщает: “Дисциплинирован. Требователен к себе и студентам. Все поручения выполняет хорошо и в установленные сроки. Лекции доц. Чебыкина находятся на достаточном высоком теоретическом и идейном уровне. Государственную тайну хранить умеет”. Кратко и просто как у Штирлица. Примерно такие же положительные характеристики, но в расширенном виде, находятся в его личном деле. Они подписаны всеми директорами института до 1972 г. Он был также удостоен ряда правительственных наград.

В 1964 году Владимир Александрович защитил докторскую диссертацию по теме “Исследование движения по трубам неоднородной жидкости типа суспензий и коллоидных растворов”, а в 1965 году ему было присвоено ученое звание профессора.

За все время Владимиром Александровичем было написано 20 научных работ, но каждая из них решала важную техническую проблему. Он по градации профессора П.Л. Капицы (смотри эпиграф) относился ко второму типу ученых. Рассмотрим кратко результаты его только основных научных работ, которые приведены ниже в списке литературы.

В последние годы научные интересы В.А. Чебыкина были сосредоточены на изучении законов движения неоднородных жидкостей по трубопроводам. В это время в стране были намечены планы увеличить протяженность сетей трубопроводов в два раза по сравнению с существующими. Тема перекачки неоднородных жидкостей была очень актуальной. Вопросы движения глинистых растворов, гидроторфа, канализационных осадков, нефтепродуктов при температурах, близких к застыванию, и других структурных жидкостей, физико-механические свойства которых сходны с коллоидными растворами, начинали все более и более привлекать внимание научно-исследовательских институтов. Владимир Александрович при решении этой проблемы, в отличие от бытующих утверждений, принял в основу, выдвинутую им гипотезу о постоянстве физической вязкости неоднородной жидкости во время движения и переменности напряжения, независимого от градиента скорости (структурное напряжение). Это позволило ему вывести расчетные формулы для определения потерь напора при движении неоднородной жидкости по трубам. Хорошее совпадение результатов расчетов с экспериментальными данными, полученными им и другими авторами, дало основание рекомендовать выведенные расчетные зависимости для определения потерь напора в трубах к широкому практическому использованию.

При теоретических и экспериментальных исследованиях Владимиром Александровичем были получены следующие важные результаты. Состояние динамического потока неоднородной жидкости типа суспензий и коллоидных растворов определяется реологическими свойствами потока и характеризуется следующими параметрами жидкости: удельным весом, кинематическим коэффициентом вязкости, предельным напряжением сдвига и гидравлическим показателем крупности твердой фазы неоднородной жидкости. Применяющийся метод определения коэффициента вязкости неправилен, так как он определяет эффективный, а не действительный коэффициент вязкости жидкости. Существующий метод определения предельного напряжения сдвига неточен, так как он не учитывает поверхностное натяжение менисков в капиллярах. Величину кинематического коэффициента вязкости неоднородной жидкости следует определять по предложенной им методике. Предельное напряжение сдвига в неоднородной жидкости следует определять методом, также им предложенным. Выведенную им расчетную формулу для определения потерь напора при структурном движении неоднородных жидкостей по трубам можно применять только к жидкостям типа суспензий и коллоидных растворов. Потери напора в трубах при любом движении неоднородной жидкости типа суспензий и коллоидных растворов следует определять методами, им разработанными.

Владимир Александрович был замечательным педагогом. Авторам этой статьи, будучи студентами, посчастливилось слушать его четкие без лишних слов лекции, построенные на ясной совершенной методике. Один из авторов, был старостой студенческой группы, и ему приходилось часто

общаться с деканом гидротехнического факультета, которым был Владимир Александрович.

Это был строгий, справедливый, а в душе очень добрый человек. Приходилось наблюдать, как проштрафившийся студент навтыяжку стоял перед мощной фигурой декана и с опаской поглядывал на его суковатую палку, с которой он после ранения ходил, думая “А вдруг ... ?”.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чебыкин В.А. *Определение предельного напряжения сдвига внутри неоднородной жидкости типа суспензий и коллоидных растворов* // Доклады АН Аз. ССР. – Т. XIV. – № 5. – 1958.
2. Чебыкин В.А. *Экспериментальное определение коэффициента вязкости дисперсных систем* // Доклады АН Аз. ССР. – Т. XIV. – № 8. – 1958.
3. Чебыкин В. А. *Определение величины структурного напряжения внутри неоднородных жидкостей* // Доклады АСХН Аз. ССР. – № 1. – 1960.
4. Чебыкин В. А. *Вывод расчетной формулы гидравлических потерь в трубопроводах при структурном режиме движения неоднородных жидкостей типа суспензий и коллоидных растворов* // Научные труды ОИИМФа. – Вып. XX/.– М.: Морской транспорт, 1959.
5. Чебыкин В. А. *Определение параметра, характеризующего крупность твердой фракции дисперсной системы* // Научные труды ОИИМФа. – Вып. XX. – М.: Морской транспорт, 1959.
6. Чебыкин В. А. *О режиме движений неоднородных жидкостей* // Известия АСХН Аз. ССР. – № 4. – 1960.

**ВИДНЫЕ УЧЕНЫЕ  
ОДЕССКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО МОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

---

**А.Ф. МОШНЯНСКИЙ**

**АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ ВАССЕРМАН**  
(55 лет работы в ОИИМФ-ОНМУ)

Исполнилось 80 лет со дня рождения и 55 лет плодотворной научно-педагогической деятельности доктора технических наук, профессора, лауреата Премии Совета Министров СССР, заслуженного деятеля науки и техники Украины Александра Анатольевича Вассермана. Его научные труды известны как в ближнем, так и в дальнем зарубежье. Он относится к тем выпускникам ОИИМФ, чьи имена создают заслуженную славу нашему университету.



Александр Анатольевич – коренной одессит, окончивший среднюю школу с золотой медалью, а в 1953 г. судомеханический факультет ОИИМФ с отличием. Молодой инженер два года работал на Рижском судостроительно-судоремонтном заводе и год на Одесском заводе «Автогенмаш». В 1956 г. вернулся в родной институт, где прошел трудовой путь от старшего инженера научно-исследовательского сектора до профессора.

**ВИДНЫЕ УЧЕНЫЕ  
ОДЕССКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО МОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

---

Вначале он принял активное участие в создании в ОИИМФ новой дизельной лаборатории. Затем под руководством доцентов Абрама Ассировича Старосельского и Леонида Петровича Бурышкина несколько лет исследовал износ и рабочий процесс двигателей внутреннего сгорания и написал ряд статей по этим вопросам. Однако наибольшее влияние на него оказал профессор Яков Захарович Казавчинский, по предложению которого А.А. Вассерман начал исследовать термодинамические свойства газов. Он часто с благодарностью вспоминает своих учителей, сыгравших большую роль в его становлении как научного работника.

В 1962 г. по заданию Всесоюзного НИИ кислородного машиностроения он приступил к составлению таблиц и диаграмм термодинамических свойств воздуха и его компонентов. При выполнении этой работы подготовил кандидатскую диссертацию «Исследование теплофизических свойств воздуха, азота и кислорода», которую защитил в 1964 году в Одесском технологическом институте им. М.В. Ломоносова.

В 1966 году издательством АН СССР «Наука» была выпущена монография А.А. Вассермана, Я.З. Казавчинского и В.А. Рабиновича «Теплофизические свойства воздуха и его компонентов». Спустя два года А.А. Вассерман и В.А. Рабинович опубликовали в издательстве стандартов монографию по свойствам этих веществ в жидком состоянии. Обе книги были одними из первых по данной тематике в мировой литературе и до настоящего времени используются специалистами по криогенной технике.

При активном участии А. А. Вассермана в 1966 году на кафедре термодинамики ОИИМФ была организована проблемная лаборатория судовой холодильной техники, в которой он 15 лет руководил научным отделом прикладной термодинамики. Отдел участвовал в международной программе создания таблиц термодинамических свойств технически важных газов и стал одним из ведущих научных центров в области свойств веществ.

В проблемной лаборатории Александр Анатольевич разрабатывал методы составления уравнений для расчета теплофизических свойств газов и жидкостей с помощью ЭВМ. Результаты этой актуальной работы отражены в многочисленных статьях и докладах на научных конференциях. Они отличались оригинальностью и заняли видное место в отечественной и мировой теплофизике. Эти разработки легли в основу его докторской диссертации «Методы аналитического описания и расчета теплофизических свойств газов и жидкостей с помощью ЭЦВМ и применение их для технически важных веществ». Она была защищена в специализированном совете Института высоких температур АН СССР (Москва) в 1980 г.

**ВИДНЫЕ УЧЕНЫЕ  
ОДЕССКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО МОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

---

Разработанные в докторской диссертации методы использованы А.А. Вассерманом при подготовке серии монографий Государственной службы стандартных справочных данных по термодинамическим свойствам азота, кислорода, воздуха, гелия, метана, этана, этилена и пропана (1977-1989 гг.). Коллектив авторов монографий возглавлял председатель Комиссии АН СССР по таблицам термодинамических свойств газов и жидкостей профессор В. В. Сычев. При участии Александра Анатольевича была также подготовлена монография по теплофизическим свойствам неона, аргона, криптона и ксенона, выпущенная издательством стандартов в 1976 г.

За 55 лет научно-педагогической деятельности А.А. Вассерман опубликовал свыше 260 научных и учебно-методических работ, среди которых 15 монографий и 12 таблиц стандартных справочных данных. Подавляющее большинство монографий переиздано в США, а таблицы справочных данных утверждены Госстандартами СССР и Украины в качестве официальных.

Монографии и таблицы ССД явились важной частью комплексной системы оперативного обеспечения народного хозяйства нормативно-справочными данными о теплофизических свойствах технически важных газов и жидкостей. В 1987 году за разработку этой системы А.А. Вассерман в составе группы ведущих теплофизиков удостоен Премии Совета Министров СССР. Это явилось признанием не только его личных научных заслуг, но и достижений Одесской теплофизической школы, основанной в ОИИМФ профессором Я.З. Казавчинским.

В последние года Александр Анатольевич исследует свойства новых хладагентов, играющих важную роль в развитии холодильной техники. Совместно с сотрудниками он разработал автоматизированные системы по теплофизическим свойствам веществ, предназначенные для персональных ЭВМ. Им также предложены новые методы повышения эффективности циклов турбинных энергетических установок, защищенные четырьмя патентами Украины. Он достойно представлял отечественную науку и наш университет на многих международных конференциях и в некоторых зарубежных ВУЗах, читая лекции научным сотрудникам и аспирантам.

После защиты докторской диссертации А. А. Вассерман в 1981 г. стал доцентом, а в 1984 г. профессором кафедры термодинамики ОИИМФ (ныне Одесский национальный морской университет). Он более 20 лет был заместителем председателя научно-методического совета университета и активно участвовал во внедрении в учебный процесс прогрессивных методов обучения студентов и контроля их знаний. За успехи в научной работе и подготовку высококвалифицированных специалистов для морского флота в 1991 г. награжден значком «Почетному работнику морского флота».

**ВИДНЫЕ УЧЕНЫЕ**  
**ОДЕССКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО МОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

---

А.А. Вассерман более 15 лет был членом специализированного совета по защите докторских диссертаций при ОИИМФ, а с 1997 г. является членом аналогичного совета при Одесской государственной академии холода. Он подготовил шесть кандидатов технических наук и неоднократно выступал официальным оппонентом по докторским и кандидатским диссертациям. Следует отметить, что многие выпускники ОИИМФ-ОНМУ, работающие на производстве, считают его своим учителем.

Александр Анатольевич все годы своей научной деятельности проводит большую общественную работу. С 1966 по 1991 г. был членом Комиссии АН СССР по таблицам термодинамических свойств газов и жидкостей, председателем Советской и членом Международной рабочих групп по свойствам атмосферных газов. С 1983 по 1991 г. входил в состав Научного Совета АН СССР по проблеме «Теплофизика и теплоэнергетика». С 1977 г. был членом секции Научно-технического Совета Госстандарта и редколлегии сборника «Теплофизические свойства веществ», экспертом Государственной службы стандартных справочных данных. В 1991 г. включен в состав Подкомитета по транспортным свойствам веществ Международного союза по теоретической и прикладной химии.

Как видный ученый А.А. Вассерман избран членом Транспортной академии Украины (1993 г.) и Международной академии холода (1998 г.). С 1994 г. работал в Научно-методической Комиссии Министерства образования Украины по направлению «Энергетика», создавая стандарты высшего образования. В течение многих лет – заместитель председателя Комиссии Совета ректоров вузов Одесского региона по анализу и подведению итогов их деятельности. Входит в состав редколлегий трех научных журналов, в том числе журнала «Вісник ОНМУ».

Следует отметить высокую эрудицию Александра Анатольевича, который является интересным собеседником при разговоре на любую тему и щедро делится своими обширными знаниями с аспирантами, студентами и сотрудниками. Он поддерживает связь со многими учеными и пользуется у них заслуженным авторитетом. Его характеризуют как человека, которому присущи лучшие черты одесской интеллигенции.

Свой юбилей профессор А.А. Вассерман встретил в хорошей интеллектуальной форме, выступив с докладами на двух международных семинарах, организованных Украинской ассоциацией производителей технических газов, и представив доклады на 13-ю Российскую и 19-ю Европейскую конференции по теплофизическим свойствам веществ. Он обладает исключительной работоспособностью, и всё изложенное в данной статье является далеко не полной информацией о том, что ему удалось сделать за свою трудовую деятельность.

**ВИДНЫЕ УЧЕНЫЕ  
ОДЕССКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО МОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

---

Многолетний плодотворный труд и большой вклад А.А. Вас-сермана в развитие отечественного высшего образования и науки, становление украинской теплофизической школы и подготовку специа-листов для морского флота высоко оценили руководители области и города. В связи с юбилеем он награждён почётными знаками пред-седателя Одесской областной государственной администрации и Одес-ского городского головы.

Коллектив Одесского национального морского университета и редколлегия журнала «Вісник ОНМУ» желают Александру Анатольевичу доброго здоровья и долгих лет активной и плодотворной научно-педагогической деятельности.

Профессор ОНМУ

**А.Ф. Мошнянский**

УДК 629.5.01

Г.В.Егоров, С.Н. Баскаков, А.Г. Егоров, И.Н. Бойко, В.А. Нильва

**ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ  
И КОНЦЕПТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ СУХОГРУЗНЫХ СУДОВ  
СМЕШАННОГО РЕКА-МОРЕ ПЛАВАНИЯ ДЛЯ УКРАИНЫ**

*Приведены результаты анализа грузопотоков для Украины с определением основных видов грузов и направлений. Дана оценка технического состоянию флота Украины. Показана необходимость строительства новых судов. Приведены основные концепты сухогрузных судов смешанного река-море плавания для водных путей Украины.*

**Ключевые слова:** суда смешанного река-море плавания, класс судна, самоходное сухогрузное судно, барже-буксирный состав, анализ, грузопотоки, порты, экономика.

*Приведено результати аналізу вантажопотоків для України з визначенням основних видів вантажів і напрямків. Надано оцінку технічному стану флоту України. Показана необхідність будівництва нових суден. Приведено основні концепти суховантажних суден змішаного ріка-море плавання для водних шляхів України.*

**Ключові слова:** судна змішаного ріка-море плавання, клас судна, самохідне суховантажне судно, барже-буксирний состав, аналіз, вантажопотоки, порти, економіка.

*Results of the analysis of freight traffics for Ukraine with definition of basic types of cargoes and directions are given. Estimation of technical state of Ukrainian fleet is given. Necessity of building of new vessels is shown. Basic concepts of mixed river-sea navigation dry-cargo vessels for water-ways of Ukraine are given.*

**Keywords:** mixed river-sea navigation vessels, vessel's class, self-propelled dry-cargo vessel, barge-towing train, analysis, freight traffics, ports, economy.

**Постановка проблемы.** Украина обладает огромным потенциалом морских и речных перевозок. Общая протяжённость сухопутных границ составляет 5638 км. Длина морской границы – 1355 км (по Чёрному морю – 1056,5 км, по Азовскому морю – 249,5 км и ещё по Керченскому проливу – 49 км), что составляет 20 % от всей протяженности границ.

Кроме морских границ, по территории Украины протекает река Днепр. Днепр делится на три части: верхнюю – от истока (Валдайская возвышенность) до города Киев (1320 км), среднюю – от Киева до Запорожья (555 км) и нижнюю – от Запорожья до устья (326 км).

Днепр образует на территории Украины подобие большого лука, обращённого на восток, что вдвое увеличивает путь по Днепру из Центральной Украины к Черному морю: расстояние от Киева до устья Днепра по прямой линии – 450 км, по реке – 950 км [16].

Судоходные компании Украины уже столкнулись или в ближайшие годы столкнутся с трудностями грузоперевозок по реке и морю. Структура грузооборота меняется, и перевозчики нуждаются в обновлении флота.

Разработка новых проектов судов для перевозки различных видов груза по внутренним водным путям и прибрежным районам Украины и их строительство является стратегически важной задачей в свете развития экспортно-импортных отношений Украины и укрепления ее геополитического положения [17].

Особо необходимы сухогрузные суда смешанного река-море плавания, которые должны заменить отработавшие свой срок службы суда типа «Волго-Дон» на линиях, ориентированных на вывоз сырьевых грузов из речных портов Украины на перегрузочные комплексы на Дунае, Черном море и Керченском проливе [3].

Поскольку поставленная задача создания новых судов имеет несколько вариантов решения, то должна рассматриваться комплексная работа, включающая в себя проработку нескольких вариантов транспортных судов с анализом полученных результатов.

**Целью статьи** является исследование предпосылок строительства нового поколения сухогрузных судов смешанного плавания для Украины, а также создание концептов этих судов, на основе анализа грузопотоков с определением основных видов грузов и возрастной структуры флота.

В публикации изложены результаты комплексной работы «Создание нового флота для перевозок грузов с Днепра на Дунай»<sup>1</sup>, выполненной по предложению проф., д.т.н. Г.В. Егорова и на основании подходов, изложенных в [4, 5].

**Изложение основного материала.** Для всестороннего анализа грузопотоков и существующего флота необходимо рассмотреть ситуацию на Дунае, на Днепре, и, в целом, по Украине. Следует отметить, что грузопотоки нефтепродуктов и танкерный флот смешанного река-море плавания Украины не рассматриваются в данной статье по причине отсутствия грузовой базы как таковой.

Согласно Стратегии Европейского Союза (ЕС) [19], планируется усиленное развитие дунайского региона. Основные цели развития региона, касающиеся речного транспорта, следующие:

– увеличение к 2020 году речных грузоперевозок на 20 % по сравнению с 2010 годом;

---

<sup>1</sup> Исследование выполнялось в Одесском национальном морском университете под руководством доц., к.т.н. С.Н. Баскакова в рамках комплексной магистерской выпускной работы сотрудников Морского Инженерного Бюро А.Г. Егорова, И.Н. Бойко и В.А. Нильвы

– устранение к 2015 году существующих узких мест, мешающих судоходству по реке, которое должно учитывать обеспечение прохождения судов класса VIb [4] в течение всего года;

– развитие к 2020 году эффективных мультимодальных терминалов в дунайских речных портах для связи внутренних водных путей с железнодорожным и автомобильным транспортом (уже на сегодняшний день все контейнерные перевозки в Европе перешли на реку, так как это экономически и экологически выгодно).

Четко видно, что ЕС планирует увеличить долю речных грузоперевозок по Европе, а так как Украина является страной дунайского региона, то увеличение объема перевозок касается и ее флота, который должен быть готов к повышению спроса на него.

Структура грузопотоков по Дунаю показана в таблице 1. Приведенные данные были сформированы на основании статистики дунайского судоходства за 2008-2009 годы [18], собранной Дунайской Комиссией.

В таблице 1 указаны сокращенные наименования стран-членов Дунайской Комиссии: У – Украина; РМ – Республика Молдова; Р – Румыния; РБ – Республика Болгария; РС – Республика Сербия; РХ – Республика Хорватия; ВР – Венгерская Республика; СР – Словацкая Республика; АР – Австрийская Республика; ФРГ – Федеративная Республика Германия.

*Таблица 1*

*Количество перевезенных грузов по Дунаю в 2009 году, тыс. тонн*

	У	РМ	Р	РБ	РС	РХ	ВР	СР	АР	ФРГ	Всего
Экспорт	5640,0	–	2023,0	513,0	1324,0	318,0	925,0	3001,0	1581,0	6223,0	21548,0
Импорт	219,0	159,0	5405,0	2833,0	3986,0	421,0	524,0	127,0	4 945,0	–	18619,0
Каботаж	–	–	5166,0	842,0	3688	–	43,0	43,0	329,0	–	10111,0
Всего	5819,0	159,0	12594,0	4188,0	8998,0	739,0	1493	3171,0	6855,0	6223,0	50279,0
Всего перевезено между дунайскими портами и портами, расположенными вне Дуная	1310,0	–	3262,0	49,0	–	–	3415,0	–	–	–	8036,0
Всего перевезено сквозным транзитом	155,0	–	25100	–	6350,0	–	2838,0	4651	2466,0	–	18970,0
Всего перевезено по Дунаю	7324,0	159,0	18366,0	4237,0	15348,0	739,0	7745,0	7822,0	9321,0	6223,0	77285,0

Как видно из таблицы 1, на Украину приходится существенный объем грузоперевозок по Дунаю. Несмотря на то, что с 2008 по 2009 год перевалка украинских грузов, идущих на экспорт снизилась на 32,8 % (с 8390 тыс. тонн до 5640 тыс. тонн), на импорт – на 17,7 % (с 266 тыс. тонн до 219 тыс. тонн), наша страна остается серьезным игроком на рынке речных перевозок по Дунаю.

Интересно рассмотреть динамику работы основных украинских портов Придунавья в последние годы. Грузооборот портов Придунавья с 2008 по 2010 годы показан в таблице 2.

*Таблица 2*

*Грузооборот портов Придунавья с 2008 по 2010 годы, тыс. тонн*

	2008		2009		2010	
	Измаил	Рени	Измаил	Рени	Измаил	Рени
Импорт	100	513,6	21,5	36,2	59,6	0,2
Экспорт	4518,1	462,5	3711,9	98	5265,5	307,3
Транзит	2207,6	2472,2	1430,4	1777,5	1244,7	1258,1
Каботаж	55,1	0,1	41,7	–	63,3	–
Всего	6880,8	3448,4	5205,7	1911,7	6633,1	1565,6

В период с 2008 по 2010 год объем транзитных грузов в придунайских портах снизился в среднем на 1000 тыс. тонн. Импорт в порту Рени снизился с 513,6 тыс. тонн до 0,2 тыс. тонн, а экспорт снизился на 155,2 тыс. тонн (до 307,3 тыс. тонн).

Соотношение между грузами, идущими на экспорт/импорт, и транзитными грузами в Измаильском порту примерно 4 к 1, а в порту Рени 1 к 4. Такое превышение транзитного грузооборота над экспортным свидетельствует о том, что порт Рени является, в большей степени, перевалочным пунктом для линий Дунай-Днепр, Дунай-порты Черного Моря, чем портом внешней торговли.

В таблицах 3 и 4 указаны грузообороты по номенклатуре портов Измаил и Рени.

В Измаильском порту в 2010 году 94,7 % экспортного грузооборота и 92,5 % транзитного грузооборота приходилось на сыпучие грузы. Из 4986,8 тыс. тонн сыпучих грузов, идущих на экспорт, 4052,9 тыс. тонн (81,3 %) – руда и 689,5 тыс. тонн (13,8 %) – кокс.

В порту Рени в 2010 году 48,6 % транзитного грузооборота – сыпучие грузы, 42,5 % – наливные грузы. Из 233,5 тыс. тонн сыпучих грузов, идущих на экспорт, 207,3 тыс. тонн (88,8 %) – руда. Из 610,9 тыс. тонн транзитных сыпучих грузов, 332,9 тыс. тонн (54,5 %) – хлебные грузы, 169,5 тыс. тонн (27,7 %) – руда.

*Таблиця 3*

*Грузооборот Измаильского порта по номенклатуре, тыс. тонн*

Грузы	2009				2010			
	экспорт	импорт	транзит	каботаж	экспорт	импорт	транзит	каботаж
Сыпучие	3405,4	12,9	1247,6	40,1	4986,8	55,8	1151,3	62,5
Уголь	696	–	1151,2	9	689,5	47,2	1022,7	6,5
Кокс	166,7	–	2,1	0,1	195,6	–	–	0,9
Руда	2437,9	12,9	37,5	–	4052,9	8,6	–	–
Строительные	30	–	–	31	37,9	–	–	55,1
Химические	3,5	–	56,8	–	10,9	–	128,6	–
Хлебные	70,3	–	–	–	–	–	–	–
Тарноштучные	306,5	8,6	181,4	1,6	278,7	3,8	93,4	0,8
Лесные	7,8	–	–	0,8	4,3	–	–	0,7
Черные металлы	236,3	–	68,1	0,7	202,3	0,3	43,7	0,1
Чугун	0,3	–	23,6	–	–	–	12,0	–
Металл	232,7	–	42,6	0,7	200,4	0,3	31,6	–
Прочие	3,3	–	1,9	–	1,9	–	0,1	0,1
Бумага	–	–	3,8	–	–	–	0,8	–
Химические	10,9	–	69,8	–	4,7	–	23,2	–
Продовольст.	46,9	–	26	–	56,9	–	13,8	–
Прочие тарноштучные	4,6	8,6	13,7	0,1	10,5	3,5	11,9	–
Всего	3711,9	21,5	1429	41,7	5265,5	59,6	1244,7	63,3

Анализируя вышеизложенное, можно утверждать, что речные перевозки по Дунаю достаточно перспективны (несмотря на колебания объемов грузоперевозок в украинских портах в последние годы). С учетом Стратегии [19] это является весомым аргументом в вопросе об обновлении украинского дунайского флота, степень износа которого, на данный момент, очень велика.

В таблице 5 обобщена информация о грузопотоках в речных и морских портах Украины, основанная на данных АСК «Укрречфлот» и публикациях журнала «Порты Украины» [1, 6, 7, 8, 13].

Основываясь на данных таблицы 5, можно сделать вывод об уменьшении общего грузооборота на 4,6 % (всего было переработано 154804 тыс. тонн груза) в 2010 году по сравнению с 2009 годом, несмотря на увеличение импорта грузов на 36 %.

Таблиця 4

*Грузооборот порта Рени по номенклатуре, тыс. тонн*

Грузы	2009				2010			
	Экс-порт	Им-порт	Транзит	Каботаж	Экс-порт	Им-порт	Транзит	Каботаж
Наливные	5,9	-	594,8	-	62,1	-	535,3	-
Нефтепродукты	5,9	-	594,2	-	57,9	-	535,3	-
Химические	-	-	0,6	-	4,2	-	-	-
Сыпучие	74	35	1082,3	-	233,5	-	610,9	-
Уголь	-	35	109,5	-	-	-	19,7	-
Кокс	-	-	-	-	-	-	-	-
Руда	-	-	366,8	-	207,3	-	169,5	-
Химические	46,2	-	73,6	-	19,6	-	74,2	-
Хлебные	27,8	-	506,6	-	6,6	-	332,9	-
Прочие	-	-	21,1	-	-	-	14,6	-
Тарноштучные	17,1	1,1	100,4	-	11,7	0,2	111,9	-
Лесные	-	-	-	-	-	-	-	-
Черные металлы	15,6	-	43,2	-	7,7	-	65,1	-
Металл	8,9	-	38,7	-	4,9	-	45,9	-
Прочие	4,6	-	4,5	-	2,8	-	1,3	-
Химические	-	-	55,7	-	4,0	-	44,0	-
Промтовары	-	-	-	-	-	-	-	-
Продовольственные	0,5	-	0,6	-	-	-	-	-
Прочие тарноштучные	1	1,1	0,9	-	-	0,2	2,8	-
Всего	97	36,1	1777,5	-	307,3	0,2	1258,1	-

Судя по данным за первый квартал 2011 года (см. таблицу 6), эта отрицательная тенденция не является устойчивой. Суммарный грузооборот портов и перегрузочных комплексов Украины составил 38304 тыс. тонн, что на 1,9 % больше показателей первого квартала 2010 года (в основном за счет импорта и транзита грузов). Причем, грузооборот речных портов увеличился на 43,7 % и составил 480,5 тыс. тонн, а морских торговых портов (МТП) – на 3,2 % (27496,7 тыс. тонн). Если существующие темпы роста сохранятся до конца 2011 года, то можно будет ожидать подъема уровня морских и речных грузоперевозок до уровня 2009 года.

Таблиця 5

Общий грузооборот портов и перегрузочных комплексов Украины в 2010 году, тыс. тонн

	Государственные МТП		Речные порты		Морские порты		Другие предприятия		Всего	
	2010	% к 2009	2010	% к 2009	2010	% к 2009	2010	% к 2009	2010	% к 2009
Переработано грузов, включая перевалку:	107642	98,1	6320,7	130,5	4661,8	98,9	36180,4	84,0	154804	95,4
Экспорт	61681,3	98,6	1347,7	96,1	2015,3	105,4	20341,0	86,2	85385,3	95,4
Импорт	10512,1	146,2	288,9	147,3	839,6	87,6	6088,9	129,9	17729,5	136,0
Транзит	33092,8	91,2	10,8	7,4	1716,4	98,6	412378,1	-	44198	84,5
Кабогаж	2134,5	60,9	4565,0	151,3	90,2	90,5	245,6	49,7	7035,3	98,9
Грузы, не связанные с морским и речным грузооборотом	220,8	121,8	108,3	134,9	0	0,0	127,1	91,3	456,2	133,5
Обработано судов, ед.	16703	102,3	4554	139,0	1198	92,4	4279,0	97,7	26734	105,7
В том числе под иностранным флагом и зарубежным фрахтом	12989	100,6	391	96,3	610	97,4	3132,0	101,9	17122	100,5

Таблиця 6  
Общий грузооборот портов и переруочных комплексов Украины  
в 1 квартале 2011 года, тыс. тонн

	Государственные МПП		Речные порты		Морские рыбные порты		Другие предприятия		Всего	
	1 кв. 2011	% к 1 кв. 2010	1 кв. 2011	% к 1 кв. 2010	1 кв. 2011	% к 1 кв. 2010	1 кв. 2011	% к 1 кв. 2010	1 кв. 2011	% к 1 кв. 2010
Переработано грузов, включая перевалку:	27496,7	103,2	480,5	143,7	1553,3	108,8	8773,4	95,6	38303,9	101,9
Экспорт	14365,2	93,6	246,6	116,2	630,1	136,9	4550,6	96,2	19792,5	95,4
Импорт	2566,3	100,5	28,8	88,9	220,6	87,5	1594,7	105,2	4410,4	101,3
Транзит	10307,7	124,8	5,9	—	671,9	96,1	2491,5	86,7	13477	113,9
Каботаж	224,8	48,5	177,7	224,7	30,7	193,1	59,6	298,0	492,8	85,2
Грузы, не связанные с морским и речным грузооборотом	32,7	91,3	21,5	202,8	—	—	77,0	197,9	131,2	153,8
Обработано судов, ед.	3862	102,3	222	158,6	279	100,7	783,0	76,9	5146	98,8
В том числе под иностранным флагом и зарубежным фрахтом	3118	106,0	90	142,9	168	106,3	601,0	69,6	3977	98,8

В общем грузообороте морских портов Украины за 1 квартал 2011 года большую часть занимают сыпучие грузы (см. таблицу 7).

Из 27497 тыс. тонн общего грузооборота на их долю приходится 13745 тыс. тонн (49,9 %). Среди сыпучих грузов, идущих на экспорт (8308 тыс. тонн), 43,2 % занимает руда, 16,7 % – уголь, 14,9 % – хлебные грузы.

По данным таблицы 8 можно сказать, что основная часть грузооборота в морских портах Украины за первый квартал 2011 год приходится на Одесский, Южный, Измаильский, Мариупольский, Николаевский и Керченский МТП.

Общий грузооборот речных портов за период с 2006 по 2009 уменьшился с 16289 тыс. тонн до 4308,8 тыс. тонн (см. таблицу 9). Лидирующие позиции по объему перерабатываемых грузов занимают Киевский (1103,2 тыс. тонн), Николаевский (791,5 тыс. тонн), Днепропетровский (544,3 тыс. тонн), Запорожский и Херсонский (по 491,4 тыс. тонн) речные порты.

Из таблиц 9 и 11 следует, что выше Днепродзержинска международные грузовые перевозки практически отсутствуют (нет ни экспорта, ни импорта). К примеру, почти весь грузооборот Киевского порта – это внутренние перевозки, объем которых с каждым годом существенно сокращается (оставшийся объем грузоперевозок – транзит на речные порты Белоруссии).

Таблица 12 показывает, что почти весь грузооборот Николаевского речного порта приходится на экспорт (727,7 из 791,5 тыс. тонн), среди которых 215,6 тыс. тонн жмыха/шрота, 163,1 тыс. тонн аглоруды, 127,3 тыс. тонн зерновых грузов, 94,7 тыс. тонн масла и 76,8 тыс. тонн металлолома.

В таблице 13 показан грузооборот Херсонского речного порта. Почти весь (671 из 706,8 тыс. тонн) он приходится на навалочные (309,7 тыс. тонн), тарно-штучные (361,3 тыс. тонн) грузы, 167,7 тыс. тонн приходится на минеральные удобрения, 158,4 тыс. тонн на лес, 148 тыс. тонн на зерновые грузы, 88,7 тыс. тонн на лом, 73 тыс. тонн на песок.

В октябре 2011 года повысился спрос на перевозки леса в Турцию.

Следует также отметить Запорожский речной порт, где перерабатываются, в основном, песок, уголь, металлолом.

Таблиця 7

*Грузооборот морських торговельних портів України  
по номенклатурі в 1 кварталі 2011 року, тис. тонн*

Грузы	Всего	% к 1 кв. 2010	Экспорт	% к 1 кв. 2010	Импорт	% к 1 кв. 2010	Транзит	% к 1 кв. 2010	Кабогаж	% к 1 кв. 2010
НАЛИВНЫЕ:	6448,3	121,0	1098,0	113,9	361,3	61,9	4978,1	133,2	10,9	23,5
Нефть	2411,7	127,1	—	—	158,0	32,8	2253,7	160,5	—	—
Нефтепродукты	2312,4	109,9	253,6	67,5	108,4	409,1	1939,5	117,1	10,9	23,5
Масло	591,1	119,2	470,5	124,1	94,9	125,0	25,7	62,8	—	—
Химические	1071,5	141,2	332,9	238,3	—	—	738,6	119,3	—	—
Прочие наливные	61,6	83,2	41,0	70,9	—	—	20,6	127,2	—	—
СЫПУЧИЕ	13744,8	100,7	8308,3	92,8	866,7	105,8	4338,0	126,2	231,8	52,7
Уголь	2985,4	121,3	1389,3	165,8	182,7	261,4	1412,8	91,3	0,6	11,5
Кокс	368,8	193,6	367,8	198,9	—	—	1,0	—	—	0,0
Руда	5510,1	104,0	3592,4	87,4	504,4	77,2	1402,3	314,7	11,0	12,2
Строительные	610,0	97,9	400,1	136,7	1,3	—	—	—	208,6	63,1
Химические	1913,1	138,7	1108,4	141,2	144,6	272,8	660,1	122,5	—	0,0
Сахар	109,0	83,4	—	—	—	—	109,0	73,8	—	—
Хлебные	1409,6	50,6	1240,2	48,0	—	—	158,0	80,6	11,4	139,0
из них зерно	1083,7	42,7	919,2	39,3	—	—	158,0	80,6	6,5	80,2
Прочие сыпучие	838,8	113,1	210,1	128,4	33,7	211,9	594,8	106,0	0,2	28,6

Продолжение табл.7

ТАРНО-ШТУЧНЫЕ	7303,7	95,2	4960,5	91,4	1376,6	720,2	962,3	87,7	4,3	69,4
Автотехника	40,8	183,8	3,1	54,4	16,6	296,4	21,1	193,6	—	—
Лесные	310,5	121,6	309,8	121,5	—	—	—	—	0,7	175,0
Черные металлы	4469,3	85,9	3823,3	87,5	37,6	464,2	805,1	73,5	3,3	143,5
из них чугуны	696,1	86,0	268,2	83,0	—	—	427,9	88,1	—	0,0
металлопродукт	2860,4	78,8	2683,3	81,3	20,6	403,9	156,2	48,1	0,3	42,9
лом	70,2	131,7	49,2	120,0	—	—	20,9	183,3	0,1	11,1
прочие	842,6	118,6	822,6	116,5	17,0	566,7	0,1	9,1	2,9	2900,0
Химические	61,8	267,5	9,0	300,0	3,0	—	49,8	247,8	—	—
Цемент в таре	1,8	—	—	—	1,8	—	—	—	—	—
Промтовары	7,4	73,3	0,2	50,0	6,0	92,3	1,2	37,5	—	—
Продовольственные	177,5	92,6	11,0	62,5	154,4	91,9	12,1	201,7	—	—
Скоропортящиеся	158,5	94,5	—	—	150,5	90,9	8,0	363,6	—	—
Контейнеры, т	1700,0	114,4	574,4	101,8	979,3	123,6	146,2	113,6	0,1	—
Контейнеры, шт.	101032,0	118,9	44699,0	113,6	49842,0	124,7	6449,0	114,3	42,0	2100,0
Контейнеры, TEU	163960,0	118,9	73278,0	115,3	81132,0	124,9	9506,0	101,9	44,0	1100,0
Автомобили, т	142,5	103,0	42,7	83,9	42,5	95,7	57,3	132,9	—	—
Автомобили, шт.	5901,0	100,8	2037,0	86,8	1387,0	86,7	2477,0	129,9	—	—
Прочие тарно-шт.	392,1	114,1	187,0	118,7	135,4	112,9	69,5	110,8	0,2	5,7
ВСЕГО	27496,8	103,2	14366,8	93,6	2604,6	102,2	10278,4	124,3	247,0	50,1

Таблиця 8

Грузооборот морських торгових портів України в 1 кварталі 2011 года, тыс. тонн

Порты	Всего	% к 1 кв. 2010	Экспорт	% к 1 кв. 2010	Импорт	% к 1 кв. 2010	Транзит	% к 1 кв. 2010	Кабогаж	% к 1 кв. 2010
Бердянський	522,7	218,8	472,9	221,6	19,7	140,7	29,5	491,7	0,6	10,9
Белгород-Дністровський	261,0	118,4	244,7	117,0	14,5	154,3	1,6	100,0	0,2	66,7
Евпаторійський	257,7	76,0	27,3	84,8	34,3	139,4	48,6	137,3	147,5	59,8
Ільичевський	1483,6	97,0	1221,2	99,7	2,6	130,0	251,3	84,8	8,5	163,5
Ізмаїльський	3761,7	85,9	1537,5	73,4	998,9	95,3	1225,3	98,9	—	—
Керченський	1427,4	115,9	1038,2	98,0	10,9	247,7	376,5	224,8	1,8	450,0
Маріупольський	2946,0	109,3	2577,8	106,1	40,8	574,6	324,1	126,5	3,3	110,0
Ніколаєвський	1903,2	119,5	872,0	91,5	243,1	322,0	787,0	140,7	1,1	23,9
Одеський	6804,3	98,6	2168,2	75,3	978,4	86,6	3652,9	127,1	4,8	26,7
Октябрський	788,0	96,7	779,0	98,6	4,6	23,7	4,4	81,5	—	—
Ренійський	456,8	118,0	97,2	174,8	—	—	359,6	108,5	—	—
Севастопольський	102,8	152,7	69,1	—	5,5	91,7	—	—	28,2	46,0
Скадовський	70,9	89,5	31,5	106,4	18,3	133,6	20,2	95,7	0,9	6,1
Усть-Дунайський	3,0	—	3,0	—	—	—	—	—	—	—
Феодосійський	903,1	110,2	282,1	110,6	64,0	287,0	557,0	102,9	—	—
Херсонський	511,1	83,2	402,0	86,8	42,6	126,4	44,2	45,3	22,3	112,6
Южний	5278,4	111,8	2543,1	95,8	126,4	91,8	2596,2	141,0	12,7	14,0
Ялтинський	15,1	69,9	—	—	—	—	—	—	15,1	69,9
ВСЕГО	27496,8	103,2	14366,8	93,6	2604,6	102,2	10278,4	124,3	247,0	50,1

Таблиця 9

*Грузооборот речных портов Украины в 1 квартале 2011 года, тыс. тонн*

Порт	2006	2007	2008	2009
Днепродзержинский	769,2	839,1	830,1	252
Днепропетровский	2440,8	2675,5	1393,0	544,3
Запорожский	2582	2905,2	3065,6	491,4
Киевский	5379,3	5672,6	5084,9	1103,2
Кременчугский	877,8	1291,3	904,7	432,6
Николаевский	1192,6	1344,5	1395,7	791,5
Никопольский	96,60	161,2	128,5	58,2
Новокаховский	79	85,6	106,3	133,4
Херсонский	2582	2905,2	3065,6	491,4
Черкасский	289,7	288,1	212,6	10,8
Всего *	16289	18168,3	16187	4308,8

\* – без учета данных по Черниговскому порту

*Таблица 10*

*Грузооборот Днепропетровского речного порта по номенклатуре  
и структуре за 2006-2009 годы, тыс. тонн*

Груз	2006	2007	2008	2009
НАВАЛОЧНЫЕ И НАСЫПНЫЕ	2317,5	2556,6	1278,3	488,7
Песок, камень	2008,1	2084,5	683,5	231,0
Щебень, отсев	131,7	168,4	139,2	20,7
Металлолом	108,2	34,1	63,8	99,0
Зерно	54,9	45,9	65,8	114,2
Шлак отвальный	7,1	7,7	–	–
Шлак гранулированный	–	–	13,2	–
Аглоруда	–	216,0	312,8	23,8
Мин. удобрения/прочие	7,5	–	–	–
ТАРНО-ШТУЧНЫЕ	123,3	118,9	114,7	55,6
Металл	44,5	34,6	18,2	–
Контейнеры	28,7	30,0	24,0	–
Гипс	23,8	11,6	16,5	15,8
Триполифосфат, мраморная крошка	20,3	29,3	27,0	20,2
Прочие	6,0	13,4	29,0	19,6
ВСЕГО	2440,8	2675,5	1393,0	544,3
Кол-во контейнеров	3117	3492	2910	–
Кол-во обработанных судов «река-море»	152	156	213	129

*Продолжение табл. 10*

Структура переработки грузов, тыс. тонн				
ЭКСПОРТ	208,7	108,2	149,0	213,2
Металлолом	108,2	34,1	57,6	99,0
Металл	44,5	28,2	12,4	–
Зерно	54,9	45,9	65,8	114,2
Шлак гранулированный	–	–	13,2	–
ИМПОРТ	55,1	194,8	184,1	64,4
ЖРК	–	110,5	160,1	8,8
Мраморная крошка	28,7	29,3	27,0	20,2
Гипс	23,8	11,6	16,5	15,8
Контейнеры	28,7	30,0	24,0	–
Прочие	6,0	13,4	28,8	19,6

*Таблица 11*

*Грузооборот Киевского речного порта по номенклатуре и структуре за 2006-2009 годы, тыс. тонн*

Груз	2006	2007	2008	2009
Песок	5288,3	5477,9	4535,5	1103,2
Щебень	73,0	168,4	454,4	–
Прочие	18,0	26,3	495	–
ВСЕГО	5397,3	5672,6	5084,9	1103,2
Структура переработки грузов, тыс. тонн				
Внутренние	5361,3	2517,1	2239,3	915,8

*Таблица 12*

*Грузооборот Николаевского речного порта по номенклатуре и структуре за 2006-2009 годы, тыс. тонн*

Груз	2006	2007	2008	2009
НАВАЛОЧНЫЕ	775,7	930,0	766,1	604,6
Строительные	246,7	330,5	69,7	29,1
Уголь	–	32,9	102,7	–
Кокс	0,4	–	–	5,7
Зерно	65,1	76,6	207,6	128,6
Удобрения	104	2,7	7,8	33,8
Агломерат марганцевый	335,8	399,3	245,6	163,1
Ферросиликомарганец	–	–	14,5	–
Шрот, жмых	8,5	6,3	56,9	215,6
Прочие	15,2	81,7	61,3	28,7

*Продолжение табл. 12*

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ	416,9	414,5	629,6	186,9
Черные металлы	39,6	33,3	25,1	1,8
Металлолом	22,3	44,2	91,1	76,9
Стальные трубы	311,3	267,5	294,0	3,0
Масло	–	–	160,7	94,7
Лесные	43,7	69,1	58,7	10,5
Прочие	–	0,4	–	–
ВСЕГО	1192,6	1344,5	1395,7	791,5
Всего обработано судов, ед.	293	253	318	105
Суда с импорт./экспорт. грузами	293	253	304	90
Местный флот	–	–	14	15
Обработано вагонов, ед.	12650	14003	12984	2858
Структура переработки грузов, тыс. тонн				
ЭКСПОРТ	819,7	946,6	1165,2	727,7
Металлолом	22,3	43,9	88,2	76,8
Металл	39,6	33,3	25,1	1,8
Сталь	311,3	267,5	294,0	3,0
Зерно	58,5	76,6	203,7	127,3
Лес	43,7	69,1	58,7	10,3
Жмых, шрот	8,5	6,3	56,9	215,6
Аглоруды	335,8	399,3	245,6	163,1
Масло	–	–	160,7	94,7
Прочие	–	50,6	32,3	35,1
ИМПОРТ И ТРАНЗИТ	104,4	34,6	154,0	9,3
Внутренние	268,5	363,3	76,5	54,5
ВСЕГО	1192,6	1344,5	1395,7	791,5

Как видно из вышеизложенного материала, ситуация на рынке морских и речных перевозок достаточно стабильна с перспективами роста грузопотоков.

Основными направлениями являются:

– Дунай (Болгария, Румыния, Сербия, Венгрия, Австрия). На экспорт идет уголь, металл (черный и цветной), металлолом, зерно, жмых, масло, минеральные удобрения, руды. В обратном направлении транспортируются товары народного потребления, техника, машины, полуфабрикаты для украинской промышленности;

– Турция (лес, металлолом, зерно);

– Россия.

Для того чтобы точно оценить необходимо строительство флота, кроме экономической составляющей (грузовая база) необходимо рассмотреть транспортную составляющую, то есть фактическое техническое состояние флота.

*Таблица 13*

*Грузооборот Херсонського речного порту  
по номенклатурі за 2006-2009 роки, тис. тонн*

Груз	2006	2007	2008	2009
НАВАЛОЧНЫЕ И НАСЫПНЫЕ	251,1	1022,3	87,5	309,7
Руда	3,0	6,0	1,0	–
Уголь	–	28,8	–	–
Кокс	8,5	11,9	16,2	–
Лом черных металлов	67,8	222,6	70,3	88,7
Песок	–	346,6	–	73,0
Зерно	–	–	–	148,0
Химические	171,8	406,4	–	–
ТАРНО-ШТУЧНЫЕ	389,5	252,4	454,3	361,3
Прокат черных металлов	194,9	120,0	100,3	–
Лес круглый	194,6	132,4	88,7	158,4
Минеральные удобрения	–	–	165,6	167,1
Прочие	711,0	103,2	99,7	35,8
ВСЕГО	1351,6	1377,9	641,5	706,8

Согласно [20], на конец 2010 года на реке Дунай работало 2609 толкачей и буксиров (859 буксиров и 1505 толкачей), 6975 самоходных сухогрузных судов и 4975 несамоходных сухогрузных барж. Детальная структура флота представлена в таблице 14. Лидирующие позиции занимают Голландия, Германия, Бельгия, Румыния и Франция.

Под флагом Украины работало 90 толкачей и буксиров, 94 самоходных сухогрузных судна и 403 несамоходных сухогрузных баржи. Суммарная грузоподъемность украинских сухогрузных судов – 750 тыс. тонн, что составляет 5,5 % от общего тоннажа сухогрузных судов, которые эксплуатируются по внутренним водным путям (ВВП) Европы. Украина занимает 6 (из 17) место по тоннажу и 7 место по количеству сухогрузных судов. Значительная часть тоннажа приходится на несамоходные сухогрузные баржи (620 тыс. тонн), что обеспечивает 79 % общей грузоподъемности дунайского флота Украины. Большинство барж приспособлено к толканию. Их тоннаж составляет около 75 % общей грузоподъемности несамоходных сухогрузных барж дунайского флота Украины.

Из несамоходных наиболее распространены [5] баржи-секции типа «Европа-2Б»  $L \times B \times D \times d = 76,5 \times 11,0 \times 3,20 \times 2,7$  м грузоподъемностью  $Q_{гр} = 1600$  т и фиксунктом не более 5,3 м.

*Структура флота на европейских ВВП на конец 2010 года*

Флаг судна	Самоходные сухогрузные суда			Несамοходные сухогрузные баржи			Суммарно		
	кол-во	грузоподъемность	мощность	кол-во	грузоподъемность	мощность	кол-во	грузоподъемность	мощность
	ед.	т	кВт	ед.	т	кВт	ед.	т	кВт
Германия	914	1183160	547733	784	852004		1698	2035164	547733
Бельгия	878	1062837	716257	224	440150		1102	1502987	716257
Франция	850	578128	183968	390	450687		1240	1028815	183968
Люксембург	10	9189	4850	0	0		10	9189	4850
Голландия	3580	4097901	2181595	975	1631741		4555	5729642	2181595
Швейцария	15	28081	15306	3	5647		18	33728	15306
Польша	109	67571	32713	431	212445		540	280016	32713
Чехия	47	47265	20773	178	78588		225	125853	20773
Австрия	5	7058	-	54	84807		59	91865	-
Словакия	14	20697	11013	133	215624		147	236321	11013
Венгрия	0	0	0	0	0		0	0	0
Румыния	304	369066	13978	603	1076065		907	1445131	13978
Болгария	13	10328	10728	152	74893		165	85221	10728
Молдавия	9	4065	11150	48	41829		57	45894	11150
Хорватия	67	17171	65924	252	350261		319	367432	65924
Сербия	66	-	-	345	-		411	-	-
Украина	94	132479	207045	403	623784		497	756263	207045
Всего	6975	7634996	4023033	4975	6138525		11950	13773521	4023033

\* - прочерк означает отсутствие данных

*Продолжение табл. 14*

	Буксиры		Толкачи			Суммарно			
Германия	135		27093	290		145636	425		172729
Бельгия	12		4439	104		62477	116		66916
Франция							240		-
Люксембург	0		0	14		11799	14		11799
Голландия	438		98255	558		270060	996		368315
Швейцария							5		-
Польша	14		1657	198		54867	212		56524
Чехия	56		8040	112		47094	168		55134
Австрия	0		0	10		9200	10		9200
Словакия	9		7290	36		40570	45		47860
Венгрия	0		0	0		0	0		0
Румыния	31		7409	32		7733	63		15142
Болгария	14		6448	24		28083	38		34531
Молдавия	2		1692	4		1248	6		2940
Хорватия	48		995	9		5475	57		6470
Сербия	84		15223	40		52824	124		68047
Украина	16		14366	74		113054	90		127420
Всего	859		192907	1505		850120	2609		1043027

В качестве унифицированных толкачей используются суда с  $B < 11,0$  м,  $D \approx 2,5$  м и фиксунктом 6,5 м:

- мощностью более 1840 кВт и  $L < 40$  м для работы с большегрузными составами на участке Дуная ниже порта Комарно;
- мощностью менее 1840 кВт и  $L < 32$  м для работы на участке выше Комарно.

В 2010 году было сдано в эксплуатацию 54 сухогрузных судна для Дуная (в 2009 году – на 33% больше, что говорит о некотором падении спроса на новое судостроение), общей грузоподъемностью 114 тыс. тонн. 24 из них – баржи. Средняя грузоподъемность – 2500 тонн.

На конец 2010 года было выведено из эксплуатации (сдача на металлолом, продажа в другие страны и т.д.) 20 сухогрузных судов общей грузоподъемностью порядка 40 тыс. тонн. Суда были построены в период с 1908 по 1983 годы (то есть, судовладельцы избавлялись от морально и физически устаревших объектов). Из них 18 были самоходными сухогрузными судами и всего лишь 2 баржи.

Сухогрузные суда для ВВП (СВП) отечественных судовладельцев, эксплуатирующиеся на р. Дунай, достаточно старые. Проведенный анализ [4, 5, 9] показал, что 72 % буксиров и толкачей имеют возраст более 35 лет, 16 % барж-секций имеют возраст более 35 лет, 59 % – от 20 до 30 лет. Практически все баржи-площадки и тентовые баржи были построены до 1980 года.

Значительный возраст СВП позволяет сделать вывод о том, что в ближайшие годы для обеспечения приемлемого уровня конкурентоспособности возникнет необходимость существенного обновления флота Украины, предназначенного для работы в системе Дунай-Майн-Рейн (ДМР).

Анализ существующего флота судов смешанного района плавания (ССП) и СВП Украины проводился на основании данных Регистровой Книги за 2010 год [12]. Результат анализа приведен в таблице 15.

Используя данные таблицы 15, исходя из предположения, что возраст судов в каждой группе нормально распределен около среднего значения, можно оценить средний возраст транспортных судов, находящихся под надзором Регистра Судоходства Украины – 34,6 лет.

Тенденция в украинском судостроении такова, что все транспортные суда, которые были сданы в эксплуатацию в Украине в последнее время (последние лет 5-10), были построены исключительно за счет средств самих судоходных компаний (ББС для «Нибулон», сухогрузные суда для «Укрречфлот» и «Black Sea Shipping Management»).

До сих пор ещё не принят Закон о «Государственной поддержке судостроения», это может привести к значительным проблемам в сфере судостроения, тем более в свете того, что вскоре необходимо будет обновлять транспортный флот.

*Таблица 15*

*Возрастная структура транспортного флота Украины*

Возраст судна	Кол-во, ед.	% соотношение
менее 10 лет	35	1,55%
10-20 лет	73	3,24%
21-30 лет	721	31,99%
31-40 лет	542	24,05%
свыше 40 лет	883	39,17%
Итого судов	2254	100,00%

В виду того, что значительная часть флота судов смешанного река-море плавания под украинским флагом ещё советской постройки, то логично было бы рассмотреть анализ флота судов внутреннего и смешанного плавания России (тенденции с судами смешанного река-море плавания схожи).

В настоящее время возрастную структуру флота внутреннего плавания нельзя признать удовлетворительной [3]. Так, в соответствии с данными Российского Речного Регистра, возрастная структура сухогрузных судов внутреннего плавания характеризуется следующими параметрами (см. таблицу 16).

Используя данные таблицы 16, можно оценить средний возраст транспортных судов.

*Таблица 16*

*Возрастная структура транспортного флота  
СВВП и ССП России на август 2010 года*

Вид флота	Возрастные группы судов					Итого судов
	менее 10 лет	10-20 лет	21-30 лет	31-40 лет	свыше 40 лет	
<b>Распределение судов по возрастным группам</b>						
Самоходные сухогрузные, ед.	17	40	394	296	485	1232
Несамоходные сухогрузные, ед.	80	418	2131	1535	717	4881
Самоходные наливные, ед.	4	22	120	243	306	695
Несамоходные наливные, ед.	43	131	344	233	145	896
Пассажирские, ед.	199	114	417	295	531	1556
Буксиры, ед.	52	349	2193	1781	1437	5812
Всего, ед.	395	1074	5599	4383	3621	15072
<b>Возрастная структура флота</b>						
Самоходные сухогрузные, %	1,38	3,25	31,98	24,03	39,37	100
Несамоходные сухогрузные, %	1,64	8,56	43,66	31,45	14,69	100
Самоходные наливные, %	0,58	3,17	17,27	34,96	44,03	100
Несамоходные наливные, %	4,80	14,62	38,39	26,00	16,18	100
Пассажирские, %	12,79	7,33	26,80	18,96	34,13	100
Буксиры, %	0,89	6,00	37,73	30,64	24,72	100
Всего, %	2,62	7,13	37,15	29,08	24,02	100

На основании вышеизложенного:

- средний возраст самоходных сухогрузных судов можно оценить в 35,5 лет;
- средний возраст несамоходных сухогрузных судов можно оценить в 30 лет;
- средний возраст самоходных наливных судов можно оценить в 37 лет;
- средний возраст несамоходных наливных судов можно оценить в 29 лет;
- средний возраст пассажирских судов можно оценить в 32 года;
- средний возраст буксирного флота, необходимого для обслуживания несамоходных сухогрузных и наливных судов, оценивается в 33,2 года.

Нормативный срок эксплуатации судов составляет 25-35 лет при максимально возможном сроке эксплуатации 40 лет. Таким образом, через 5-10 лет будут списаны более 50 % эксплуатируемого в настоящее время флота, что приведет к обвалу объемов перевозок на речном транспорте и в смешанном река-море направлении [3].

Следует отметить, что критерий списания судов, касающийся высоких рисков аварии, является одним из важнейших критериев, так как он связан с человеческой жизнью.

В работе А.Г. Егорова [2] было показано, что для СВП И ССП характерным является повышение аварийности, начиная с 13 лет эксплуатации судна, с пиками аварий 22-25 лет и 30-33 года (предшествующий и последующий периоды расчетному сроку эксплуатации судов согласно [11]).

Как видно из вышеизложенного, предстоящее списание флота пароходств нанесет существенный, практически невозполнимый ущерб, как внутренним речным перевозкам, так и перевозкам в смешанном река-море направлении.

Для поддержания судов в рабочем состоянии выполняются работы по ремонту корпусов в объемах, недостаточных для подтверждения проектного класса, что вынуждает классификационные общества накладывать существенные ограничения по ветро-волновому режиму плавания.

Таким образом, необходимо решать вопросы обновления флота новыми проектами судов внутреннего и смешанного река-море плавания. В состав комплексной работы вошла разработка следующих концепт-проектов:

1. «Исследовательское проектирование барже-буксирного состава (ББС) «Днепро-Макс» класса» (автор А.Г. Егоров, он же выполнил анализ грузопотоков, возрастной структуры флота и путевых условий);
2. «Исследовательское проектирование сухогрузного судна «Днепро-Макс» класса» (автор И.Н. Бойко);
3. «Исследовательское проектирование сухогрузного судна «Рейн-Макс» класса» (автор В.А. Нильва).

В каждом из разделов был выполнен эскизный проект соответствующего судна по требованиям Правил выбранного классификационного общества – Российского Речного Регистра. Их размерения были определены в соответствии с путевыми ограничениями реки Днепр.

Выше было показано, что международные перевозки по Днепру выше Днепродзержинска отсутствуют. Данное утверждение позволило проектировать суда на габариты Днепра ниже Днепродзержинска [15], тем самым, приняв расчетную осадку в реке 3,6 м вместо 3,0/3,2 м (схема реки Днепр представлена на рис. 1).



Рис. 1. Схема реки Днепр [15]

Был выполнен более детальный анализ нижнего течения реки Днепр, который показал следующее:

- на участке следования от порта Днепродзержинск до порта Днепропетровск, по данным «Укрводпути», имеется ряд скалистых порогов с глубиной 3,50-3,60 м;

- на участке следования судна по реке Днепр от порта Днепропетровск до порта Херсон, в том числе в районе Каховского водохранилища, минимальная гарантированная глубина судового хода составляет 3,65 м;

- на участке от порта Херсон до устья реки Днепр – 8 м;

- гарантированная ширина судового хода в указанных районах – не менее 80 м;

- длина рабочей камеры шлюзов (Днепродзержинского, Днепровского гидроузла (Запорожье) составляет 270 м, Каховского гидроузла – 145 м, ширина – 18 метров);

– гарантированная глубина на верхнем и нижнем порогах камер шлюзов составляет 3,65 м.

Сухогрузное судно «Рейн-Макс» класса проектировалось с учетом габаритов системы ДМР [10] с возможностью «сквозного» прохода по ВВП Европы.

Класс проектируемых судов выбирался с учетом района эксплуатации судов. Ограничивающим районом плавания является Черное море. Выбранный класс РРР «М-СП 3,5» позволяет круглогодичную эксплуатацию судов на Черном море в 20-мильной прибрежной зоне вдоль восточного, северного и западного побережья от п. Туапсе до пролива Босфор.

Основные характеристики концепт-проектов представлены в таблице 17. Необходимо отметить, что в качестве основного направления перевозки грузов была принята линия Днепр – порты Дуная. Это определило выбор концепт-проект судна «Рейн-Макс» класса, которое может обеспечить доставку грузов в европейские порты системы ДМР без перевалки в придунайских портах.

Общие расположения концептов нового поколения сухогрузных судов смешанного река-море плавания представлены на рисунках 2-5.

Следует отметить выбор сцепного устройства баржи с буксиром «Днепро-Макс» класса. Соединение баржи и буксира предусматривается при помощи полужесткого (шарнирного) японского сцепа фирмы ARTICUPLE (см. рис. 6, [14]). Соединительные полуоси с наконечниками выдвигаются из гидроцилиндров, установленных в корпусе буксира, и входят в зацепление с гнездами, образованными желобами в корпусе баржи. Эксплуатация возможна при волнении до 6 м.

Данный тип соединения баржи с буксиром был выбран после анализа рекомендаций к.т.н. В.П. Лобастова [21], так как именно этот тип сцепа позволяет наиболее эффективно эксплуатировать ББС как на реке, так и в море. Основные преимущества толкаемого ББС по сравнению с буксируемым:

- скорость хода ББС выше скорости хода буксира с буксируемой баржей;
- при эксплуатации ББС исключено рыскание грузовой секции по отношению к энергетической секции;
- управляемость и маневренные качества ББС значительно лучше буксируемого состава;
- при эксплуатации ББС лучше условия контроля состояния груза.

Таблиця 17

*Сравнительные характеристики сухогрузных судов  
смешанного река-море плавания нового поколения для Украины*

Данные	Барже-буксирный состав «Днепро-Макс» класса			Самоходное сухогрузное судно «Днепро- Макс» класса	Самоходное сухогрузное судно «Рейн- Макс» класса
	буксир	баржа	состав		
Класс судна	✘ М-СП 3,5 (лед 40)			✘ М-СП 3,5 (лед 40)	✘ М-СП 3,5 (лед 40)
Длина наи- большая, м	29,60	119,70	139,90	139,99	109,20
Длина между перпендикуля- рами, м	23,65	117,60	-	137,80	108,00
Ширина габаритная, м	11,80	16,75	-	16,70	10,96
Ширина $B$ , м	11,00	16,50	-	16,50	10,76
Высота борта $D$ , м	5,10	6,00	-	6,00	4,55
Осадка по ЛГВЛ $d_M$ в море / $d_P$ в реке, м	4,50/3,60			4,70/3,60	3,00
Дедвейт $Dwt$ , т					
при $d_P$ (река)	4220			4600	2050
при $d_M$ (море)	6020			7230	2050
Скорость, узлы при % от МДМ	10,5 (85%) (в составе) 12,0 (85%) (без состава)			10,5 (85%)	10,6 (85%)
Объем грузо- вых трюмов, м <sup>3</sup>	10628			11129	3650
Количество грузовых трюмов	2			4	3
Мощность ГД	2 x 1250 кВт			2x1200 кВт	1x626 кВт
Экипаж/мест, чел.	11 чел. / 14 мест (буксир) + 2 чел. (баржа)			11 / 13	10 / 10

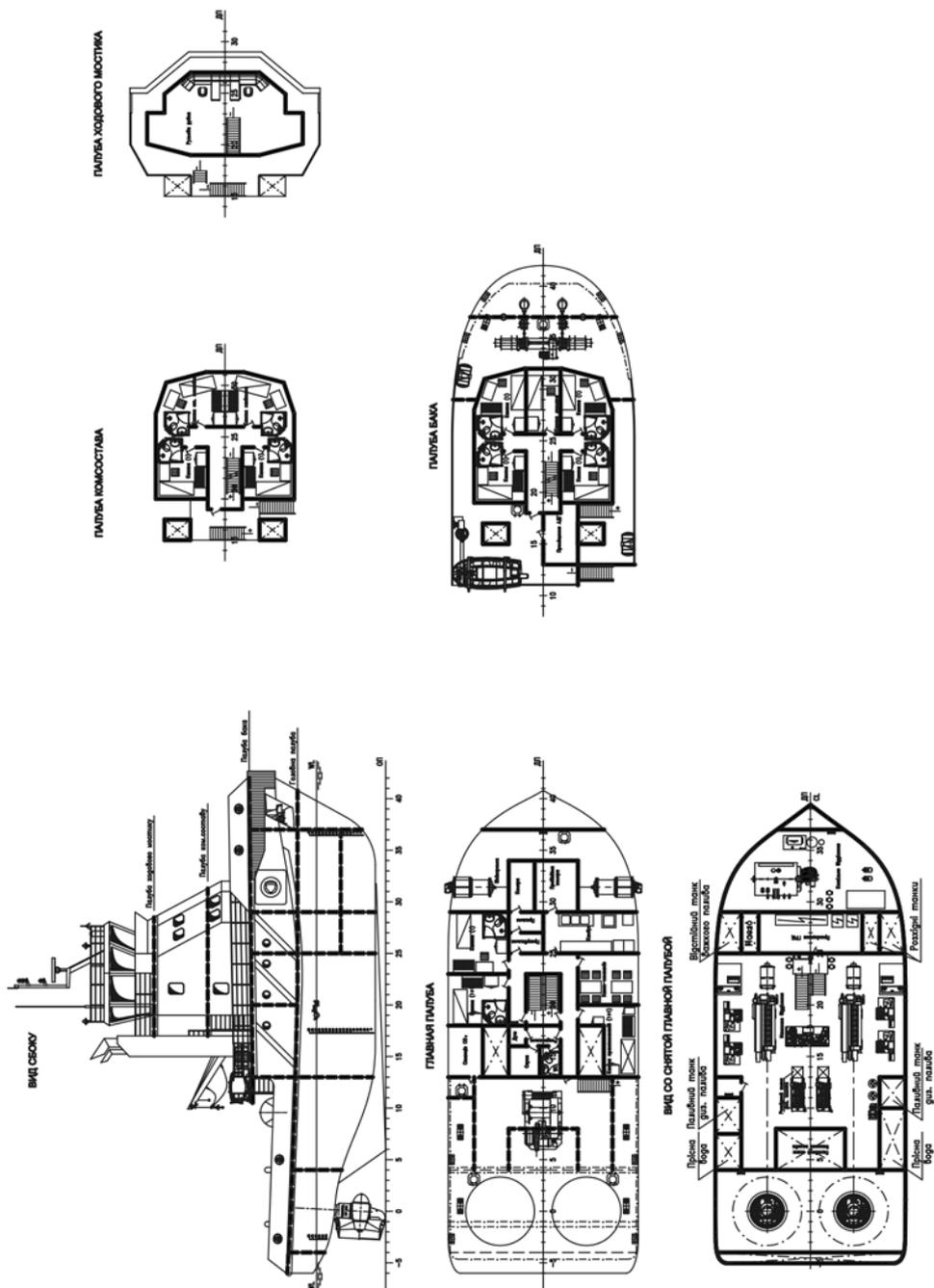


Рис. 2. Общее расположение буксира «Днепр-Макс» класса

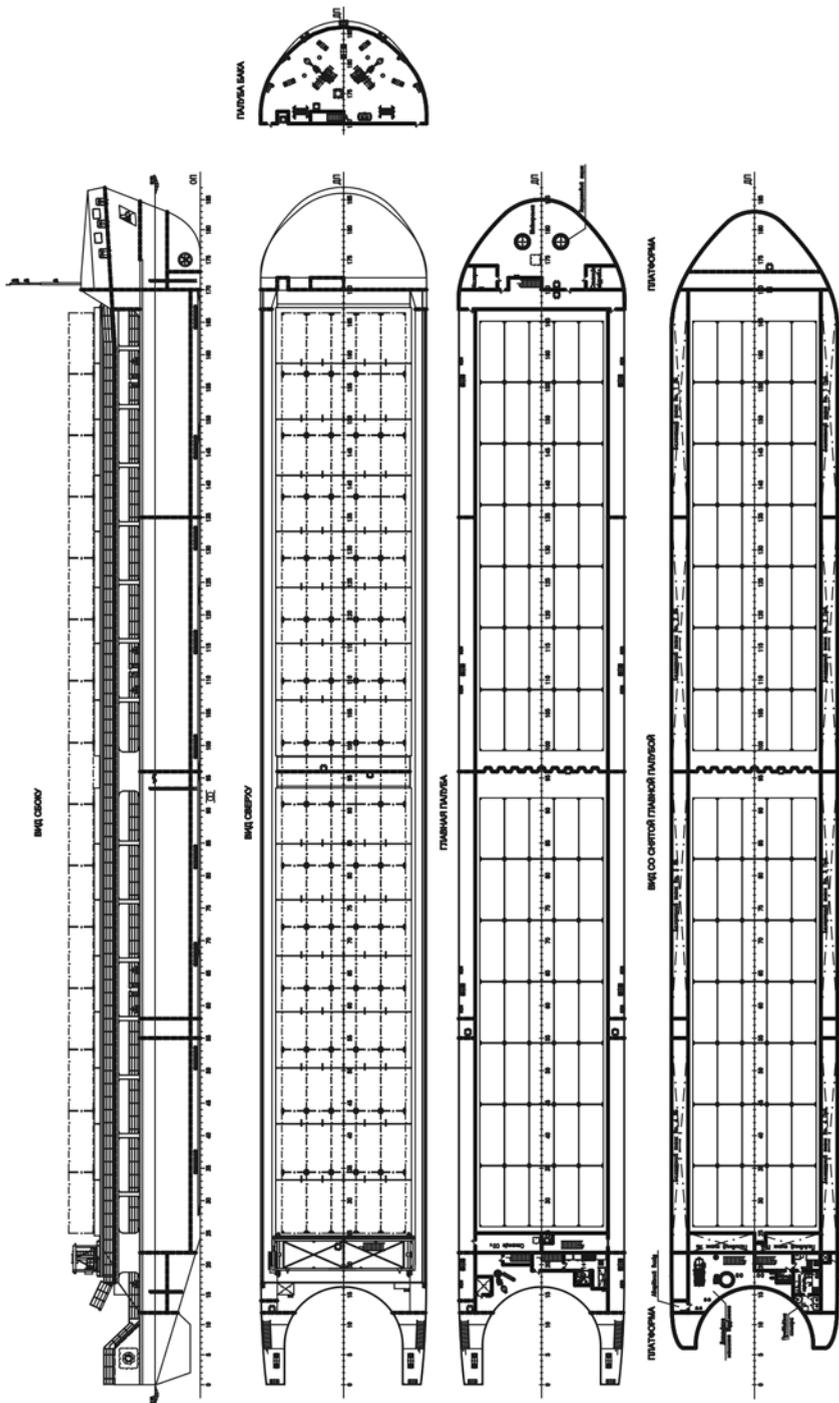


Рис. 3. Общее расположение баржи «Днепр-Макс» класса

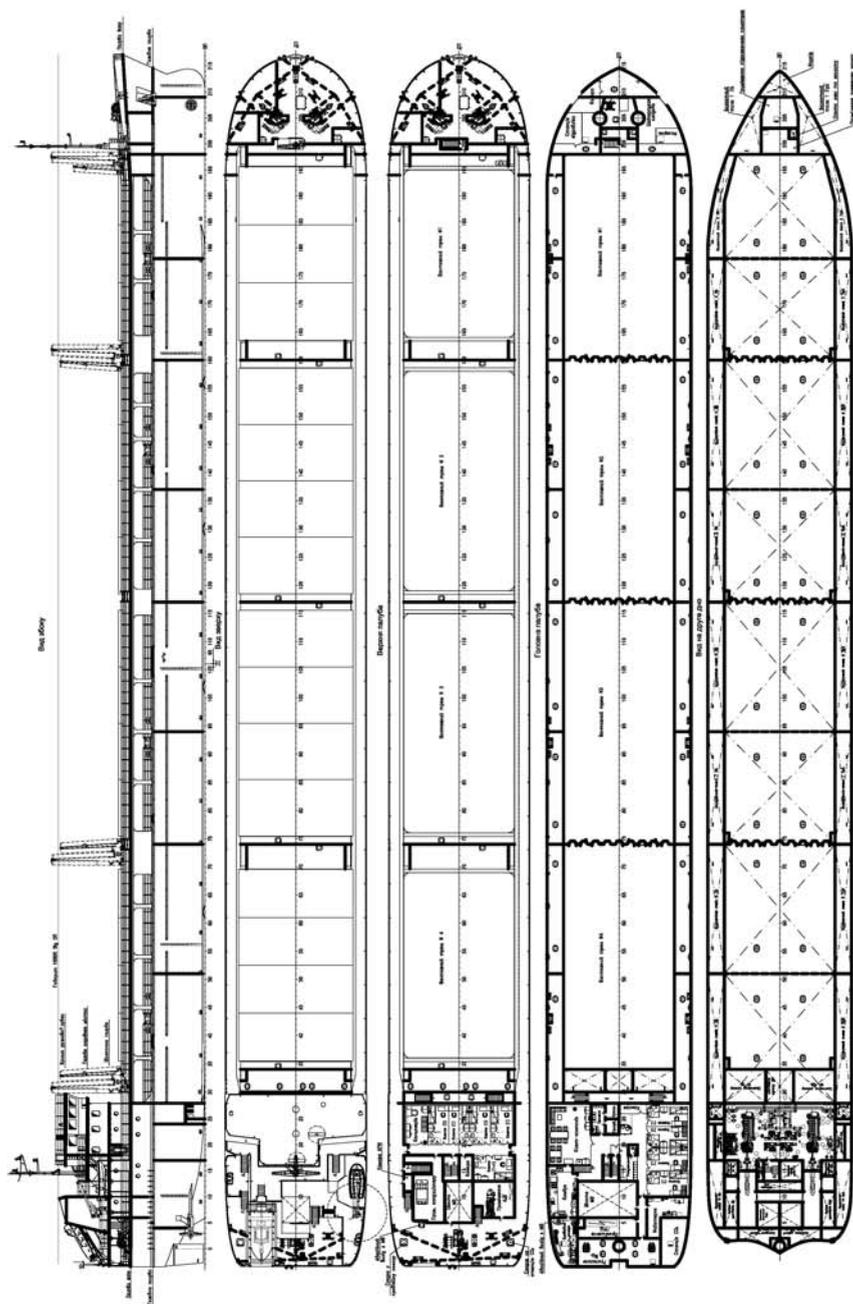


Рис. 4. Общее расположение сухогрузного судна «Днепр-Макс» класса

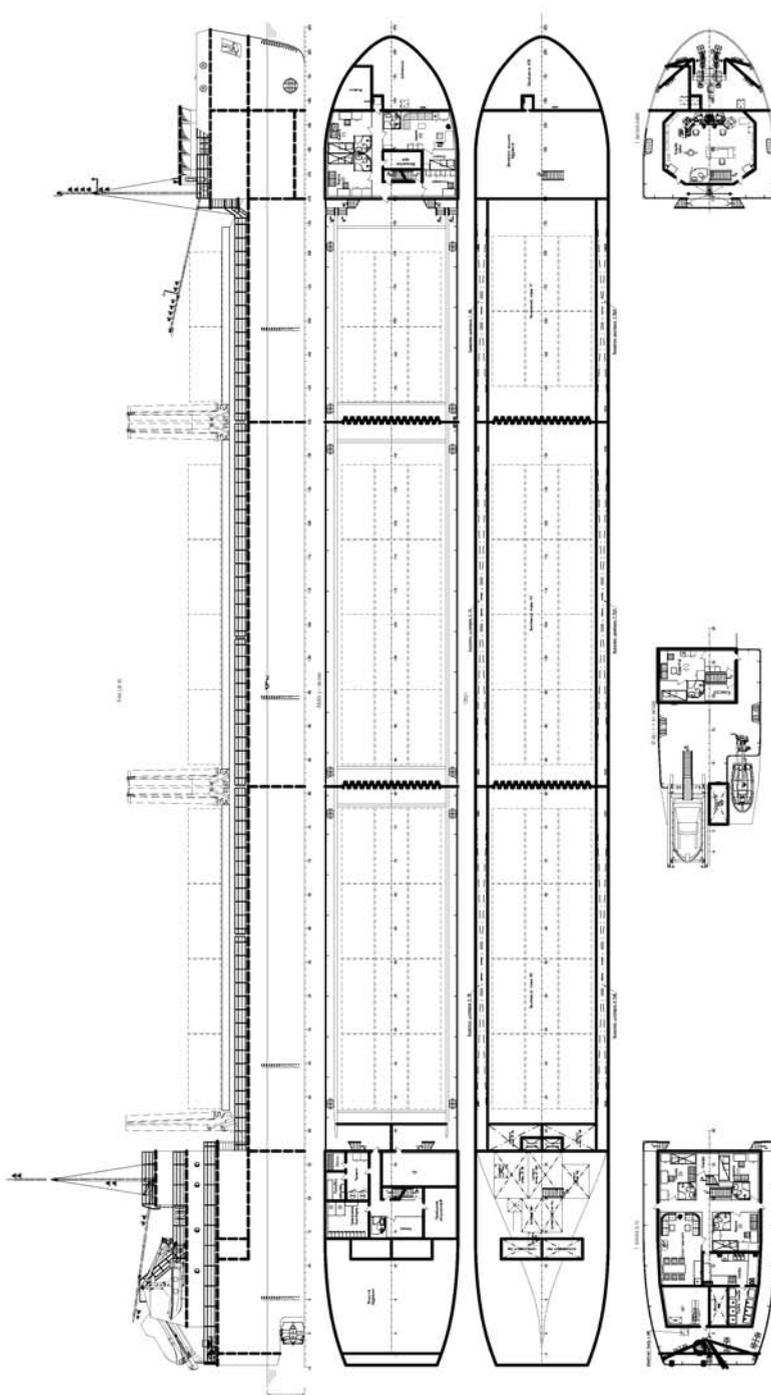
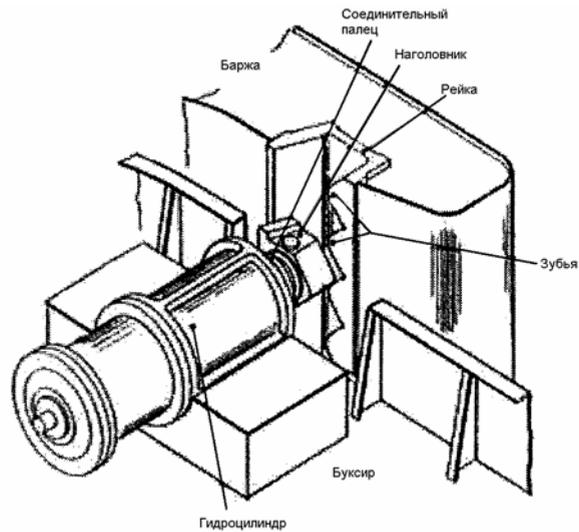


Рис. 5. Общее расположение сухогрузного судна «Рейн-Макс» класса



*Рис. 6. Полужесткий сцеп фирмы ARTICOUPLÉ  
с наконечниками трапецевидного сечения*

Экономическая эффективность разработанных концептов рассчитывалась при следующих допущениях:

– предполагалась круглогодичная эксплуатация судов. В летнюю (основную) навигацию суда перевозили груз (окатыши) из Днепродзержинска на Франкфурт-на-Майне. Причем сухогрузное судно «Рейн-Макс» класса выполняло транспортировку груза без перевалки в Измаиле, а суда «Днепро-Макс» класса – с перевалкой;

– в зимних условиях из-за закрытия ВВП Украины [15], предполагалась навигация на линии «Одесса – Измит (Турция)». Прямой груз – металлолом/зерно, обратный груз – мандарины/порожний переход;

– при расчете экономики ББС «Днепро-Макс» класса учитывалось использование модели «вертушки», при которой на 1 буксир приходилось 3 однотипных баржи (при расчете срока окупаемости ББС учитывалась стоимость буксира и 3 однотипных барж);

– негарантированность грузовой базы учитывалась введением дополнительных коэффициентов.

Основные экономические показатели разработанной линейки судов для перспективного пополнения флота Украины приведены в таблице 18.

Таблица 18

*Сравнение экономических показателей проектов комплексной работы*

Показатели	ББС «Днеп- ро- Макс» класса	Сухогрузное судно «Днеп- ро-Макс» класса	Сухогрузное судно «Рейн- Макс» класса «сквозного» типа
Срок окупаемости, годы	5	10	15
Продуктивность труда экипажа, $P_{np}$ , грн./чел.	423331 7	3047529	2030001
Продуктивность 1 т грузоподъ- емности в летнюю навигацию, $P_{1m}^1$ , т-мили/тнж-сут.	123	38	152
Продуктивность 1 т грузоподъ- емности в зимнюю навигацию, $P_{1m}^2$ , т-мили/тнж-сут.	91	57	60
Фондоотдача, $F$ , грн./грн.	0,443	0,270	0,299

Экономический расчет показал, что однозначно ответить на вопрос «какой из предложенных концептов предпочтительнее при перевозке грузов с Днестра на Дунай?» невозможно. Каждый из предложенных вариантов имеет свои достоинства и недостатки. В структуре будущего флота должны будут представлены суда всех типов. Вопрос об их соотношении является предметом дальнейших исследований.

В перспективе, в условиях стабильных грузопотоков, и налаженной логистической цепочки в портах при погрузке/выгрузке, барже-буксирный состав класса «Днепро-Макс» является самым экономически выгодным вариантом (при условии использования модели «вертушки»). Такая перспектива достаточно реальна, согласно Стратегии ЕС. Применительно к днестровскому региону в перспективе можно ожидать увеличения грузопотоков. Железнодорожные грузовые перевозки (они являются основным конкурентом речных) находятся в кризисном состоянии, по информации некоторых источников, «Укрзалізниця» работает в убыток. Если будет осуществлен переход подвижного состава в частные структуры (по опыту Российской Федерации), можно ожидать повышения тарифов на перевозку грузов железной дорогой. В этом случае речной транспорт существенно увеличить свою конкурентоспособность.

Сухогрузное судно «Днепро-Макс» класса показывает удовлетворительные экономические показатели в существующих условиях – негарантированные и нестабильные грузопотоки. На сегодняшний день этот вариант является оптимальным при перевозке груза с Днестра на Дунай (даже с учетом перевалки в придунайских портах).

Сухогрузное судно «сквозного» типа «Рейн-Макс» класса является более узкоспециализированным судном. Данное судно эффективно при перевозке небольших «разовых» партий груза с Днепра в европейские порты на Дунае, когда смысла в использовании сухогрузного судна «Днепро-Макс» класса с перевалкой в придунайских портах нет. Небольшая партия груза будет доставлена раньше (не тратится время на перевалку). По приближенной оценке разница по времени при доставке груза по линии «Днепродзержинск-Франкфурт-на-Майне» с перевалкой в Измаиле и без составляет 6-8 суток – в это время входит сама перевалка груза на баржи типа «Европа-2Б», простои в ожидании перевалки и при прохождении шлюзов по Дунаю из-за большого каравана (буксир и 4 баржи с грузоподъемностью 1000-1200 т каждая) и ограничивающих размеров шлюзов) и с меньшими затратами (нет расходов на перевалку, на портовые сборы в порту перевалки, на расходы каравана, по приближенной оценке разница в затратах на перевозку окатышей на участке «Измаил-Франкфурт-на-Майне» составит 40-80 %, в зависимости от времени простоя и скорости движения каравана). Необходимо подчеркнуть, что эффективность сухогрузного судна «Рейн-Макс» класса проявляется именно при «разовых» партиях, так как круговой рейс сухогрузного судна данного типа очень долгий и вторую партию груза, на пример, во Франкфурт-на-Майне, судно доставит только через 50 дней. Очевидно, что никто столько ждать не будет. Поэтому, если необходимо доставить несколько партий груза в одно место, экономически целесообразней будет доставка с помощью барж типа «Европа-2Б». Сухогрузное судно класса «Рейн-Макс» показало свою эффективность в условиях зимней навигации при перевозке грузов с низкой нормой обработки в портах отправления и прибытия (генеральный груз – мандарины, на линии «Одесса-Измит (Турция)»). Было установлено, что для сухогрузного судна «Рейн-Макс» класса грузоподъемностью около 2000 т выгоднее перевозить такой груз на линии в обратном направлении, чем идти порожнем, а для сухогрузного судна «Днепро-Макс» класса грузоподъемностью около 6800 т в море оказалось выгоднее идти назад порожнем, чем ожидать погрузки данного груза (то есть выгоднее совершить большее количество рейсов на линии «Одесса-Измит (Турция)» с обратным порожним переходом).

### **Выводы**

1. Анализ состояния существующего флота СВП и ССП Украины показал необходимость проектирования и постройки судов данных типов в ближайшем будущем. По оценкам экспертов, через лет 10 наступит массовое списание флота.

2. Анализ существующих и перспективных грузопотоков показал, что в ближайшем будущем необходимость в СВП и ССП будет только возрастать, причем по всем направлениям эксплуатации этих судов (Европа – Дунай, Россия – ВВП европейской части России, морские порты, Турция – морские порты).

3. В ходе выполнения комплексной работы была разработана линейка судов для перевозки грузов с ВВП Украины на Дунай, в Турцию, в Россию, как на ВВП европейской части, так и в морские порты:

– барже-буксирный состав «Днепро-Макс» класса для перевозок любых грузов в любых направлениях с гарантированным, стабильным грузопотоком;

– сухогрузное судно «Днепро-Макс» класса для перевозок грузов с негарантированным грузопотоком и грузов с высокой нормой обработки в портах;

– сухогрузное судно «Рейн-Макс» класса «сквозного» типа для перевозок небольших «разовых» партий груза с Днепра на европейские порты Дуная (или по Дунаю) и грузов с низкой нормой обработки по Черному морю.

4. Учитывая, что габариты ВВП Днепра ниже Днепродзержинска и ВВП европейской части России практически идентичны, полученные решения носят более общий характер и могут быть рекомендованы для применения на направлениях «Речные порты европейской части России – Дунай-Майн-Рейн», легко трансформируясь в суда «Волго-Дон макс» класса.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Все о портах Украины: Справочник / Под общ. ред. К.Ильницького. – Запорожье: Печатный мир, 2010. – 663 с.*
2. *Егоров А.Г. Анализ причин и последствий аварий судов внутреннего и смешанного плавания за 1991-2010 годы // Проблемы техники. – 2011. – № 1. – С. 3-30.*
3. *Егоров Г.В. Перевозки отечественным водным транспортом, состояние речного флота и перспективы нового судостроения // Морская Биржа. – 2010. – № 4 (34). – С. 20-26.*
4. *Егоров Г.В. Проектирование и постройка коастров и судов смешанного плавания // Судостроение и судоремонт. – 2008. – 128 с.*
5. *Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.*
6. *Ильницький К.А. Грузооборот морских торговых портов Украины в 1 квартале 2011 года // Порты Украины. – 2011. – № 4 (106). – С. 56-59.*
7. *Ильницький К. А. Опять в минусе // Порты Украины. – 2011. – № 1 (103). – С. 38-42.*
8. *Ильницький К.А. Цена совершенства // Порты Украины. – 2011. – № 3 (105). – С. 24-25.*

9. Морозова И.В., Суворова Л.П. *Перспективы украинского флота в перевозках по внутренним водным путям Европы.* – Одесса: Моряк. – 2005. – 192 с.
10. *Синяя книга: Перечень основных характеристик и параметров сети водных путей категории Е. Первое пересмотренное изд.* – Нью-Йорк-Женева: ООН. – 2006. – 101 с.
11. *Правила классификации и постройки морских судов. РС.* – Т. 1. – М.: Транспорт, 2011. – 489 с.
12. *Регістрова книга суден. Регістр судноплавства України.* – К., 2010. – 294 с.
13. *Сайт АСК «Укрречфлот».* – URL: <http://www.ukrrichflot.com> (дата обращения 13.10.11).
14. *Сайт компании «Артикапл».* – URL: <http://www.articouple.com/> (дата обращения 08.11.11).
15. *Сайт компании «Укрводпуть».* – URL: <http://www.ukrvodshliah.org.ua/> (дата обращения 11.01.12).
16. *Сайт свободной энциклопедии.* – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 27.10.11).
17. *Сайт dengi.ua.* – URL: [http://dengi.ua/news/36261\\_VR\\_odobrila\\_vstuplenie\\_Ukrainy\\_v\\_VTO.html](http://dengi.ua/news/36261_VR_odobrila_vstuplenie_Ukrainy_v_VTO.html) (дата обращения 05.03.12).
18. *Статистика дунайского судоходства в 2008-2009 гг.* – URL: <http://www.danubecommission.org/uploads/doc/STATISTIC/Statistika%202008-2009%20RU.pdf> (дата обращения 10.10.11).
19. *Стратегия Европейского союза для дунайского региона (перевод Секретариата Дунайской Комиссии).* – Брюссель, 2010. – 16 с.
20. *Market Observation for inland navigation in Europe. Analysis of the economic situation – Summer 2011. Edited by the Secretariat of the Central Commission for Navigation on the Rhine Secretariat. – Observation of the market. – № 13. – Strasbourg, June 2011. – 106 p.*
21. *Лобастов В.П. Разработка требований к сцепным устройствам толкаемых составов смешанного плавания / В.П. Лобастов, В.Н. Заякин, Г.П. Котов // Научно-технический отчет. – Ч. I, II. – Нижний Новгород. Российский Речной Регистр, 1999.*

*Стаття надійшла до редакції 21.02.2012*

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

УДК 629.12

Г.В. Егоров

**ОТЕЧЕСТВЕННОЕ РЕЧНОЕ СУДОСТРОЕНИЕ: СОСТОЯНИЕ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ СМЕЖНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Выполнен анализ работы речных судостроительных предприятий в XXI веке, их загруженность, объемы заказов на строительство судов различного назначения, сотрудничества отрасли с металлургическими и машиностроительными предприятиями.*

**Ключевые слова:** судостроительные заводы, речные суда, «Волго-Дон макс» класс, стальной прокат, дизеля, полноповоротные винторулевые колонки, прогноз.

*Виконано аналіз роботи річкових суднобудівних підприємств у XXI сторіччі, їх завантаженості, обсягу замовлень на будівництво суден різноманітного призначення, співпраці галузі з металургійними та машинобудівними підприємствами.*

**Ключові слова:** суднобудівні заводи, річкові судна, "Волго-Дон макс" клас, сталевий прокат, дизелі, повноповоротні гвинто-кермові колонки, прогноз.

*The analysis of work of the river ship-building enterprises in XXI century, their occupancy, volumes of orders for building of various purpose vessels, cooperation of the branch with metallurgical and machine-building enterprises is executed.*

**Keywords:** ship-building plants, river vessels, "Volgo-Don max" class, rolled steel, diesel engines, rudder-propellers, forecast.

**Постановка проблемы.** Представление о речном судостроении в России и Украины формируется значительным количеством заводов, расположенных на внутренних водных путях. Среди них есть предприятия, которые раньше относились к системе Минсудпрома («Красное Сормово», Окская судоверфь, Волгоградский СЗ и др.), к Министерству речного флота РСФСР (Невский ССЗ и др.), к Минрыбхозу, к Минобороны, к Министерству морского флота и т.п. Появились новые предприятия (Онежский СЗ). Такой достаточно широкий спектр бывшей ведомственной подчиненности длительное время (после распада СССР) не позволял эффективно оценить потенциал речной судостроительной отрасли в целом. По сути, на нее мало кто обращал внимание, и это не смотря на то, что многие из заводов продолжали работать.

**Целью статьи** является анализ работы речных судостроительных предприятий в XXI веке, их загруженность, объемы заказов на строитель-

ство судов различного назначения, сроки исполнения заказов, сотрудничество отрасли с металлургическими и машиностроительными предприятиями.

**Изложение основного материала.** Суда, усилиями ведущих частных судовладельцев – «Волжского пароходства», «Северо-Западного пароходства», группы компаний «Палмали», «Московского речного пароходства», строились. Однако, как правило, речь идет о судах смешанного море-река плавания, так как чисто речные суда имели (в рамках действовавшего до конца прошлого года законодательства) сроки окупаемости 20-25 лет, что абсолютно не приемлемо частному инвестору.

Изменение подходов наметилось в конце первого десятилетия XXI века, когда стало ясно, что транспортные речные и река-море суда, построенные в 70-80-е годы, а также вспомогательный флот, обеспечивающий путевые условия на реке, исчерпают свой ресурс в ближайшие 5-10 лет.

**Поддержка государства.** 7 ноября 2011 года Президент Российской Федерации Дмитрий Медведев подписал федеральный закон [5] о поддержке российского судостроения и судоходства, в соответствии с которым судостроительные заводы – резиденты особых экономических зон были освобождены от уплаты земельного налога и налога на имущество организаций сроком на 10 лет. Также верфи освобождены от уплаты таможенных пошлин на ввозимое импортное оборудование, не производящееся в стране. В свою очередь судоходные компании были освобождены от налога на прибыль, полученную от эксплуатации или продажи судов, построенных в РФ и на период с 2012 года по 2027 год для этих компаний устанавливаются нулевые тарифы страховых взносов в Пенсионный фонд, Фонд социального страхования и Федеральный фонд обязательного медицинского страхования. Преференциями и льготами, предусмотренными данным законом, будут пользоваться судовладельцы, имеющие суда, построенные с 1 января 2010 года в России и для России (зарегистрированные в Российском международном реестре судов, в том числе речные и «река-море» плавания).

Подобный интерес государства не случаен, так как уровень развития судостроения, как и авиационно-космической промышленности, является признаком развития страны, ее научно-технического потенциала, «локомотивом» и «сборочным цехом» экономики, стимулирующим развитие смежных отраслей. При этом фактическая ситуация в судостроительной отрасли в первом десятилетии XXI века весьма напоминает ту, которая была в России сто лет назад.

Достаточно вспомнить серию публикаций начала XX века, подготовленных выдающимся инженером К.А. Теннисоном:

– «Проект мер поощрения русского торгового мореходства в связи с развитием отечественного судостроения и металлургической промышленности», 1902 год [3];

– статья в журнале «Русское судоходство» «Война и русское судоходство», 1916 год и др. [4];

– и, наконец, принятые законы Российской империи:

– «Закон 24 мая 1904 года о выдаче правительственных ссуд и на приобретение вновь построенных в России из русских материалов деревянных и металлических морских торговых судов»;

– «Закон 21 мая 1912 года о мерах к поощрению отечественного судостроения» [2].

Законодательная поддержка со стороны государства, ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)», активизация государственных лизинговых компаний позволили уже в 2010 году начать работу по восстановлению речного флота в зоне ответственности государства (технический флот) и в тех коммерческих сегментах, которые ранее не были профинансированы бизнес – структурами из-за нереально больших сроков окупаемости.

**Пополнение флота судами – факты и потребности.** Конечно, коммерческий флот строился и до 2010 года. Так, за 11 лет нового века было построено около 200 грузовых судов смешанного море-река плавания (большинство указано в табл. 1).

Наиболее востребованными были и остаются суда «Волго-Дон макс» класса – суда, отвечающие габаритам Волго-Донского судоходного канала и предназначенные для замены известных советских серий «Волго-нефтей» и «Волго-Донов».

Всего их 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.

По остальным сегментам грузового флота воднотранспортной отрасли, в России было построено 53 судна, в Турции – 16 и в Китае – 8.

В большинстве своем речь шла о судах нового поколения, так как они строились по разработанным после 2000 года проектам Морского Инженерного Бюро – 118 судов или 58 %, Волго-Каспийского бюро (КБ завода «Красное Сормово») – 40 судов и ЦКБ «Вымпел» – 24 судна.

В настоящее время благодаря мерам, принятым государством, происходит переход к строительству грузовых судов, обладающих более развитой речной функцией:

– речных сухогрузных судов «устьевого» типа «Волго-Дон макс» класса проекта RSD44 с пониженным надводным габаритом, позволяющим проходить под мостами на Неве и под ростовским железнодорожным мостом без их разводки;

– танкеров смешанного река-море плавания «Волго-Дон макс» класса с увеличенной речной грузоподъемностью проектов RST27 и RST25;

– барже-буксирных составов.

Таблиця 1

*Фактическое пополнение флота Российской Федерации в XXI веке  
самоходными грузовыми судами внутреннего, смешанного  
и ограниченных районов плавания*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
<b>Самоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса</b>		
Танкер-продуктовоз пр. 005RST01* типа «Армада Лидер» дедвейтом 6500/4700 тонн, пр. RST22* типа «Новая Армада» дедвейтом 7000/4600 тонн, пр. RST22М* дедвейтом 7100/4600 тонн	22	Завод «Красное Сормово», Турция
Танкер – продуктовоз пр. 19612 типа «СФАТ» дедвейтом 8000/4420 тонн	5	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 19614 типа «Нижний Новгород» дедвейтом 5600/5100 тонн	25	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 19900 дедвейтом 7100/4600 тонн	3	Завод «Красное Сормово»
Сухогруз пр. 19610 типа «Волга» дедвейтом 6200 / 3825 тонн	4	Завод «Красное Сормово»
Танкер-продуктовоз пр. 0201Л типа «Лукойл» дедвейтом 6600/3640 тонн	10	Волгоградский СЗ
Танкер-продуктовоз пр. 17103 дедвейтом 5420/4250 тонн	2	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. 006RSD05* типа «Палмали Трейдер» дедвейтом 6970/4580 тонн	8	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. RSD19* типа «Хазар» дедвейтом 7004 / 4596 тонн	4	Волгоградский СЗ
Сухогруз пр. 007RSD07* типа «Танаис» дедвейтом 7215/4778 тонн	1	Волгоградский СЗ
Танкер-продуктовоз пр. 00216 дедвейтом 6610/5300 тонн	3	Окская судостроительная верфь
Сухогруз пр. RSD44* дедвейтом 5540 тонн	8 + 2 спущены на воду	Окская судостроительная верфь
Сухогруз пр. 006RSD02* типа «Надежда» дедвейтом 7078/4680 тонн	1	Окская судостроительная верфь
Сухогруз пр. 005RSD06* с модификациями типа «Челси» дедвейтом 5827/5080 тонн	9	Херсонский СЗ
Сухогруз пр. RSD20* типа «Святой Николай» дедвейтом 6862 / 4280 тонн	1	Херсонский СЗ
Танкер-продуктовоз пр. HCR0805 типа «Калиоба» дедвейтом 6024 тонн	6	Китай

*Продолжение табл. 1*

<b>Самоходные грузовые суда других классов</b>		
Сухогруз пр. RSD17* типа «Еврокрузер» дедвейтом 6354 тонн	5	Завод «Красное Сормово»
Сухогруз пр. 17310 типа «Россия» дедвейтом 3837 тонн	4	Завод «Красное Сормово»
Сухогруз пр. 005RSD03* типа «Карелия» дедвейтом 5500/3340 тонн	12	Онежский СЗ
Сухогруз пр. DCV33* дедвейтом 4570 тонн	6	Онежский СЗ
Сухогруз пр. DCV36* дедвейтом 5026 тонн	5 (+ 3 спущены)	Китай
Сухогруз пр. 003RSD04* с модификациями типа «Каспиан Экспресс» дедвейтом 3756/2584 тонн	12	Турция
Сухогруз пр. RSD18* типа «UCF» дедвейтом 5185/3528 тонн	2 (+ 2 спущены)	Китай
Сухогруз пр. RSD08* типа «Оммакс» дедвейтом 3794 / 3258 тонн	1	Китай
Танкер пр. 19619 дедвейтом 13110 тонн	14	Завод «Красное Сормово»
Танкер пр.00210, 00230 типа «Астана» дедвейтом 12360 тонн	6	Выборгский СЗ
Танкер пр.00260 дедвейтом 12125 тонн	1	Зеленодольский СЗ
Танкер пр.15790Т типа «Андропов» дедвейтом 4585 тонн	1	Судоверфь братьев Нобель (Рыбинск)
Сухогруз пр. 00101 типа «Русич» дедвейтом 5190/3855 тонн	11	Окская судостроительная верфь, Завод «Красное Сормово», Зеленодольский СЗ
Сухогруз пр. 01010 типа «Валдай» дедвейтом 5010/3800 тонн	4	Северная верфь
Сухогруз пр. 17605 типа «Соликамский» дедвейтом 6820 тонн	1	Верхнекамский судостроительный комплекс
Сухогруз пр. RSD12* типа «Azov XL» дедвейтом 8048 тонн	4	Турция

Примечание:

\* – Проект Морского Инженерного Бюро

Помимо строительства крупнотоннажного<sup>1</sup> самоходного грузового флота, после 2000 годов в России осуществлялись поставки других речных судов (см. табл. 2) – за 11 лет было построено 9 буксиров и толкачей, более 40 несамоходных барж, 1 малое круизное речное пассажирское судно и около 50 небольших прогулочных судов для Санкт-Петербурга и Москвы.

Таблица 2

*Фактическое пополнение речного флота Российской Федерации в XXI веке буксирами, баржами и пассажирскими судами*

Тип судна	Количество судов, ед.	Верфь
<b>Несамоходные грузовые суда «Волго-Дон макс» класса</b>		
Нефтеналивные баржи пр. 004ROB05* дедвейтом 4324/3897 тонн	7	Волгоградский СЗ
Нефтеналивные баржи пр. 2731 с модификациями дедвейтом 4500/3700 тонн	9	Костромской СЗ
Сухогрузные баржи пр. 03020, 03040 дедвейтом 5000/4130 тонн	7	Окская судостроительная верфь
<b>Несамоходные грузовые суда других классов</b>		
Сухогрузные баржи пр. 82260 дедвейтом 2000 тонн	18	Красноярская судостроительная верфь
<b>Буксиры и толкачи</b>		
Буксиры пр. 07521 мощностью 1030 кВт	1	Верхнекамский судостроительный комплекс
Буксиры пр. TG04, TG04M* мощностью 442 кВт	1 (+ 3 в постройке)	Завод Нижегородский теплоход
Буксиры-толкачи пр.90608 типа «Дионисий» мощностью 1496 кВт	2 <sup>2</sup>	Завод «Пела»
Буксиры-толкачи пр. 37 типа «Гектор» мощностью 1840 кВт	2	Костромской СЗ <sup>3</sup>
Буксиры-толкачи пр. ST 376T мощностью 109 кВт	1	Сосновский СЗ
Буксиры пр. 81173НМ, 81173НМ.2 мощностью 600 (1632) кВт типа «Поморье»	2	Лимендский ССРЗ

<sup>1</sup> Для речной отрасли суда, перечисленные в табл. 1, считаются крупнотоннажными

<sup>2</sup> Завод «Пелла» является лидером российского судостроения в сегменте портовых и морских буксиров (построил 26 буксиров проекта 90600 и 19 буксиров проекта 16609)

<sup>3</sup> Костромской СЗ – единственный российский завод, который осуществляет постройку БС «Волго-Дон макс» класса с «морскими» сцепами. Толкачи пр. 37 являются «самоходной» секцией таких БС

*Продолжение табл.2*

<b>Пассажи́рские суда</b>		
Круизное пассажирское судно класса «Р» пр. ПКС-40 типа «Сура» на 40 пассажиров	1 (проходит испытания)	Фирма «Гамма»
Пассажирское судно класса «О» пр. 105 типа «Фарман Салманов» на 80 пассажиров	1	Самусьский ССРЗ
Скоростное пассажирское судно пр. А-45, А-45-1 типа «Лена» на 50-150 пассажиров	5	Зеленодольский СЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «М-ПР» пр. PV01* типа «Империя» на 250 пассажиров	1	Херсонский СЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. 23020 типа «Столичный» на 120 пассажиров	1	Московский ССЗ
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. RC-TV2008-1 типа «Фердинанд» на 200 пассажиров	5	Турция
Пассажирское прогулочное судно класса «Р» пр. <a href="#">82500</a> , <a href="#">82520</a> , <a href="#">82544</a> типа «Мойка» на 70 пассажиров	36	Санкт-Петербург

Примечание:

\* – Проект Морского Инженерного Бюро

Сегодняшние минимальные потребности речной отрасли страны до 2020 года могут быть оценены в 350 транспортных и более 400 вспомогательных судов [1].

Помимо этого, остается открытым вопрос о замене сильно постаревшего речного пассажирского флота, так как создание современного круизного судна для эксплуатации на реках России (сезон с мая по октябрь) без помощи государства практически не возможно (сроки окупаемости достигают 30 лет и более). По оценкам экспертов, рано или поздно, такая поддержка государства будет обеспечена, соответственно, заводы получают заказы на строительство новых пассажирских судов.

**Речные судостроительные заводы: факты.** Основными российскими заводами, которые обеспечивали поставки флота судов смешанного море-река плавания (просто речных судов до 2010 года практически не строили), были Нижегородский завод «Красное Сормово» – 71 судно, Навашинская «Окская судовой верфь» – 19 судов, Петрозаводский «Онежский завод» – 18 судов и Волгоградский судостроительный завод – 34 судна, а также Херсонский судостроительный завод – 10 судов и Николаевский завод «Океан» – 9 судов.

Судя по табл. 3, в настоящее время наибольшим реальным потенциалом обладают завод «Красное Сормово» и «Окская судостроительная верфь», а также Онежский завод (при условии наличия заказов).

*Таблица 3*

*Суда, построенные на ведущих заводах (с разбивкой по годам)*

Заводы	Годы											
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Красное Сормово*	4	2	4	6	6	5	6	7	7	6	7	9
Окская судостроительная верфь						3	2	1	1	1	3	8
Волгоградский	2	1	3	4	5	4	3	6	3	1	1	0
Онежский						3	3	2	3	3	4	0
Херсонский						1	1	2	2	2	1	1
Океан						1	4	4				

Примечание:

\* – по данным управляющей компании «МНП»

На сегодняшний день заказаны и строятся суда «Волго-Дон макс» класса:

1. На заводе «Красное Сормово» – 10 танкеров смешанного плавания проекта RST27, головной был спущен 17 февраля 2012 года. По плану предполагается сдача 5 судов в 2012 году и 5 – в 2013 году. Однако существуют предпосылки того, что завод обеспечит перевыполнение плана и сдаст уже в этом году 9 танкеров проекта RST27. Соответственно, можно ожидать получение новых заказов по этому же проекту. Для сведений: минимальная потребность в новых танкерах проектов RST22, RST25 и RST27 оценивается в 70 единиц.

2. «Окская судостроительная верфь» – достраивает 2 речных сухогрузных судна проекта RSD44 (8 были сданы в 2011 году). Заказаны и строятся 15 танкеров проекта RST27, спуск головного ожидается летом 2012 года. По плану предполагается сдача 4 судов в 2012 году, 5 – в 2013 году, остальные – в 2014 году. Однако существуют предпосылки того, что верфь обеспечит перевыполнение плана и сдаст уже в этом году 5 танкеров проекта RST27. Ожидается, что в среднесрочной перспективе верфь продолжит модифицированную серию сухогрузных судов проекта RSD44. По оценкам, минимальная потребность в сухогрузных судах взамен «Волго-Донов» составляет около 50-60 единиц.

3. Невский судостроительно-судоремонтный завод. Заказано и строится 10 сухогрузных судов смешанного море-река плавания проекта RSD49 (модификация проекта RSD19, ранее строившегося на Волгоград-

ском судостроительном заводе). Кроме того, строит три аварийно-спасательных судна проекта MPSV07 мощностью 4 МВт с повышенным ледовым классом. Головной сухогруз проекта RSD49 спущен и передан на достройку на Онежский судостроительный завод.

4. Судоверфь братьев Нобель (Рыбинск). Заказано и строится 3 танкера смешанного река-море плавания проекта RST25. Головной спущен 15 ноября 2011 года. Ранее верфь сдала 6 катеров – бонопостановщиков для ФБУ «Госморспасслужба».

5. Судостроительный завод «Лотос». Заказано и строится 2 сухогрузных судна проекта RSD49, 2 танкера проекта RST25 и 2 баржи для компании «АРК шиппинг».

6. Зеленодольский судостроительный завод. Заказано и строится 2 танкера проекта RST25.

7. Херсонский судостроительный завод. Заказано и строится 3 танкера проекта RST27 и 2 танкера проекта RST26.

«Сдвинулось с мертвой точки» создание новых вспомогательных речных судов. Строительство технического флота для реки осуществляется:

1. На заводе «Нижегородский Теплоход» в постройке находятся 3 буксира проекта TG04M и 2 многофункциональных обстановочных судна проекта BLV02, а также 3 рейдовых водолазных катера (ранее были сданы 7).

2. На Ярославском судостроительном заводе – 6 обстановочных судна класса «О», также достраивается четвертое в серии морское водолазное судно проекта SDS08.

3. На Московском судостроительно-судоремонтном заводе – обстановочные суда класса «Р»<sup>4</sup> (27 судов проекта 3050 и 12 судов проекта 3050.1).

Кроме того, Сосновский судостроительный завод строит два судна снабжения для Камчатки проекта DCV47 (2 были сданы в 2011 году), Онежский – 2 лоцмейстерских катера для «Росморпорта».

Судостроительный завод «Океан» построил в 2009-2010 годах 24 баржи и в 2011 году 3 буксира-толкача для компании «Нибулон», а также 4 несамоходных землесоса, 2 мотозавозни и 2 самоходных понтона на закорьных сваях для компании «Техногарант».

**Взаимодействие с металлургической промышленностью.** По данным РЖД, в 2011 года, все российское судостроение заказало 158 тыс. тонн стального проката, труб и полуфабрикатов и чугуна, что на 10 % выше данных за 2010 год и ниже на 9 % средних показателей 2006-2008 годов. При этом «Окская судоверфь» заказала 30 тыс. тонн (19 % от общего заказа по стране), завод «Красное Сормово» – 19 тыс. тонн (12 %

---

<sup>4</sup> Часть судов строится по субподряду на Самусьском судостроительно-судоремонтном заводе

от общего заказа). В январе 2012 года предприятия судостроительной отрасли Астраханской области заказали почти 6 тыс. тонн металла.

В табл. 4 приведены массы листового металла и основного проката, необходимые постройки корпуса судна «Волго-Дон макс» класса с разбивкой по, категориям стали и толщинам (номерах полособульбов).

Таблица 4

*Стальной прокат, необходимый для постройки судна  
«Волго-Дон макс» класса*

Категория стали	Толщина листов, мм полособульб №	Теоретический вес, т	Заказ на 10 судов, т
РСА	Пруток 30	1,2	15,0
	№ 10	15,4	192,5
	№ 12	15,3	191,3
	4,0*	16,2	202,5
	5,0	2,5	31,3
	6,0	79,2	990,0
<b>РСА Итого</b>		<b>129,8</b>	<b>1622,5</b>
РСА32	7,0	63,0	787,5
	Пруток 100	0,6	7,5
<b>РСА32 Итого</b>		<b>106,0</b>	<b>1325,0</b>
РСД32	№ 14а	96,4	1205,0
	№ 14б	68,9	861,3
	№ 16б	1,8	22,5
	8,0	311,4	3892,5
	9,0	213,6	2670,0
	10,0	408,4	5105,0
	11,0	7,6	95,0
	12,0	280,3	3503,8
	13,0	14,2	177,5
	14,0	3,9	48,8
	16,0	29,3	366,3
	17,0	7,2	90,0
	18,0	6,8	85,0
	20,0	5,7	71,3
35,0	1,9	23,8	

*Продолжение табл.4*

<b>PCD32 Итог</b>		<b>1457,4</b>	<b>18217,5</b>
PCD40	12,0	16,6	207,5
	16,0	5,3	66,3
	18,0	20,8	260,0
	24,0	89,0	1112,5
	32,0	75,9	948,8
<b>PCD40 Итог</b>		<b>207,6</b>	<b>2595,0</b>
<b>Общий итог</b>		<b>1858,4</b>	<b>23230,0</b>

Таким образом, только для предполагаемого строительства 180-190 судов «Волго-Дон макс» класса (и близких к ним по металлоемкости другим судам смешанного и ограниченного морского плавания) требуется около 440 тыс. тонн стального проката, в основном из стали категории РСД32.

Для некоей среднегодовой оценки потребности в стальном прокате в кратко- и среднесрочной перспективе можно использовать данные табл. 5, где представлены экспертные оценки количества судов «Волго-Дон макс» класса, которые могут быть построены на том или ином заводе за год.

*Таблица 5*

*Расчетная годовая производительность и оценка потребностей ведущих речных заводов в стальном прокате (на год)*

Завод	Максимальное количество судов «Волго-Дон макс» класса, ед. в год	Среднегодовая потребность в прокате, тонны
Красное Сормово	10	25 тыс.
Окская судостроительная верфь	8	20 тыс.
Лотос	6	15 тыс.
Онежский	4	10 тыс.
Судостроительная верфь братьев Нобель	4	10 тыс.
Зеленодольский	4	10 тыс.
Невский	4	10 тыс.
Херсонский	4	10 тыс.
Океан	8	20 тыс.

**Взаимодействие с машиностроением.** Используя экспертные оценки по необходимому количеству судов [1], а также принятые в 2010-2011 годах меры по организации по лицензии ведущих мировых фирм производства в России современных среднеоборотных дизелей и полноповоротных винто-рулевых колонок (ВРК), можно оценить совокупную потребность воднотранспортной отрасли в таких машинах:

В табл. 6 приведены предполагаемые массовые серии грузовых судов с указанием количества и мощности главных двигателей и ВРК. В табл. 7 дана оценка необходимого количества среднеоборотных дизелей и ВРК для массовых серий судов.

Всего можно прогнозировать до 2020 года потребность в следующей машиностроительной продукции для речной отрасли:

1. Среднеоборотные дизеля мощностью от 800 до 1200 кВт – около 425 машин.
2. Среднеоборотные дизеля мощностью от 1600 до 2500 кВт – около 20 машин.
3. Дизеля мощностью от 600 до 800 кВт – около 35 машин.
4. Дизеля мощностью от 300 до 400 кВт – около 50 машин.
5. ВРК мощностью от 800 до 1200 кВт с ледовой категорией ЛУ1-ЛУ2 – около 425 машин.
6. ВРК мощностью 1600 кВт с ледовой категорией ЛУ4-ЛУ5 – около 10 машин.
7. ВРК мощностью от 600 до 800 кВт – около 35 машин.
8. ВРК мощностью от 300 до 400 кВт – около 50 машин.

### **Заключение**

1. С 2010 года наблюдается увеличение заказов на грузовые суда смешанного и внутреннего плавания.

2. Наиболее востребованными были и остаются суда «Волго-Дон макс» класса – суда, отвечающие габаритам Волго-Донского судоходного канала и предназначенные для замены известных советских серий «Волгонетей» и «Волго-Донов». Только для строительства корпусов 180-190 перспективных судов «Волго-Дон макс» класса (и близких к ним по металлоемкости другим судам смешанного и ограниченного морского плавания) требуется около 440 тыс. тонн стального проката, в основном из стали категории РСД32.

Габариты ВВП Днепра ниже Днепродзержинска и ВВП европейской части России идентичны, соответственно суда «Волго-Дон макс» класса эквивалентны судам «Днепромекс» класса.

3. В настоящее время наибольшим реальным потенциалом в отношении строительства судов «Волго-Дон макс» класса обладают завод «Красное Сормово», «Окская судостроительная» и «Океан».

Таблиця 6

*Предполагаемые массовые серии грузовых судов с указанием количества и мощности главных двигателей и ВРК*

Тип судна	Количество судов	Главные двигатели (на одном судне)	ВРК (на одном судне)
Сухогрузные суда смешанного плавания дедвейтом около 5,0-7,0 тыс. т	30	2 по 900-1200 кВт	2 по 900-1200 кВт
Сухогрузные суда смешанного плавания дедвейтом около 5,0-7,0 тыс. т		1 по 1800-2500 кВт	Нет
Танкеры смешанного плавания дедвейтом около 7,0 тыс. т «Волго-Дон макс» класса	70	2 по 1000-1200 кВт	2 по 1000-1200 кВт
Сухогрузные суда «О-ПР» дедвейтом около 5,4 тыс. т «Волгомакс» класса	50	2 по 1000-1200 кВт	2 по 1000-1200 кВт
Танкеры дедвейтом «О-ПР» около 5,4 тыс. т «Волгомакс» класса	40	2 по 1000-1200 кВт	2 по 1000-1200 кВт
Танкеры дедвейтом «М-СП» около 3,4 тыс. т «Лена» класса	10	2 по 800-1000 кВт	2 по 800-1000 кВт
Сухогрузы дедвейтом «М-СП» около 3,4 тыс. т «Лена» класса	5	2 по 800-1000 кВт	2 по 800-1000 кВт
Речные толкачи и буксиры	30	2 по 800-1200 кВт	2 по 800-1200 кВт
Бункеровщики топливом дедвейтом около 6 тыс. тонн	5	2 по 1600 кВт	2 по 1600 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 3 тыс. тонн	35	800-1000 кВт	800-1000 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 2 тыс. тонн	35	600-800 кВт	600-800 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 800 тонн	25	2 по 300-400 кВт	2 по 300-400 кВт

Таблица 7

*Оценка необходимого количества главных двигателей  
и ВРК для массовых серий судов*

Тип судна	Количество судов	Главные двигатели	ВРК
Сухогрузные суда смешанного плавания дедвейтом около 5,0-7,0 тыс. т	30	40 по 900-1200 кВт	40 по 900-1200 кВт
Сухогрузные суда смешанного плавания дедвейтом около 5,0-7,0 тыс. т		10 по 1800-2500 кВт	Нет
Танкеры смешанного плавания дедвейтом около 7,0 тыс. т «Волго-Дон макс» класса	70	140 по 1000-1200 кВт	140 по 1000-1200 кВт
Сухогрузные суда «О-ПР» дедвейтом около 5,4 тыс. т «Волгомакс» класса	50	100 по 1000-1200 кВт	100 по 1000-1200 кВт
Танкеры дедвейтом «О-ПР» около 5,4 тыс. т «Волгомакс» класса	40	80 по 1000-1200 кВт	80 по 1000-1200 кВт
Танкеры дедвейтом «М-СП» около 3,4 тыс. т «Лена» класса	10	20 по 800-1000 кВт	20 по 800-1000 кВт
Сухогрузы дедвейтом «М-СП» около 3,4 тыс. т «Лена» класса	5	10 по 800-1000 кВт	10 по 800-1000 кВт
Речные толкачи и буксиры	30	60 по 800-1200 кВт	60 по 800-1200 кВт
Бункеровщики топливом дедвейтом около 6 тыс. тонн	5	10 по 1600 кВт	10 по 1600 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 3 тыс. тонн	35	35 по 800-1000 кВт	35 по 800-1000 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 2 тыс. тонн	35	35 по 600-800 кВт	35 по 600-800 кВт
Бункеровщики топливом и маслом дедвейтом около 800 тонн	25	50 по 300-400 кВт	50 по 300-400 кВт

4. «Сдвинулось с мертвой точки» создание новых вспомогательных речных судов. ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)» предполагает строительство около 400 вспомогательных судов для реки, причем конкурсы на строительство части этих судов (обстановочные суда) прошли в конце 2011 года. Суда уже строятся на заводах «Нижегородский Теплоход», Ярославском и Московском.

5. Остается открытым вопрос о замене сильно постаревшего речного пассажирского флота. По оценкам экспертов, рано или поздно, под-

держка государства в этом вопросе будет обеспечена, соответственно, заводы получают заказы на строительство новых пассажирских судов.

6. Для речной отрасли прогнозируется потребность в следующей машиностроительной продукции:

    среднеоборотные дизеля мощностью от 800 до 1200 кВт – около 425 машин;

    среднеоборотные дизеля мощностью от 1600 до 2500 кВт – около 20 машин;

    дизеля мощностью от 600 до 800 кВт – около 35 машин;

    дизеля мощностью от 300 до 400 кВт – около 50 машин;

    ВРК мощностью от 800 до 1200 кВт с ледовой категорией ЛУ1-ЛУ2 – около 425 машин;

    ВРК мощностью 1600 кВт с ледовой категорией ЛУ4-ЛУ5 – около 10 машин;

    ВРК мощностью от 600 до 800 кВт – около 35 машин;

    ВРК мощностью от 300 до 400 кВт – около 50 машин.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Г.В. *Перевозки отечественным водным транспортом, состояние речного флота и перспективы нового судостроения // Морская Биржа. – 2010. – № 4 (34). – С. 20-26.*
2. *Закон о мерах к поощрению отечественного судостроения, Высочайше утвержденный 21 мая 1912 года и одобренный Государственным Советом и Государственной Думой. – СПб., 1912. – 8 с.*
3. Теннисон К.А. *Проект мер поощрения русского торгового мореходства в связи с развитием отечественного судостроения и металлургической промышленности // Труды Императорского общества судоходства. – СПб., 1902. – 25 с.*
4. Теннисон К.А. *Война и русское судоходство // Русское судоходство. – 1916. – № 1. – С. 4-13.*
5. *Федеральный закон № 305-ФЗ. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки судостроения и судоходства. Подписан Президентом Российской Федерации 7 ноября 2011 года, принят Государственной Думой 21 октября 2011 года и одобрен Советом Федерации 26 октября 2011 года.*
6. *Закон о мерах к поощрению отечественного судостроения, Высочайше утвержденный 21 мая 1912 года и одобренный Государственным Советом и Государственной Думой. – СПб., 1912. – 8 с.*

7. *Теннисон К.А. Проект мер поощрения русского торгового мореходства в связи с развитием отечественного судостроения и металлургической промышленности // Труды Императорского общества судоходства. – СПб., 1902. – 25 с.*
8. *Теннисон К.А. Война и русское судоходство // Русское судоходство. – 1916. – №1. – С. 4-13.*
9. *Федеральный закон № 305-ФЗ. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки судостроения и судоходства. Подписан Президентом Российской Федерации 7 ноября 2011 года, принят Государственной Думой 21 октября 2011 года и одобрен Советом Федерации 26 октября 2011 года.*

*Стаття надійшла до редакції 15.02.2012*

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

УДК 629.5.081

С.Н. Баскаков, А.С. Гончарук, А.В. Демидюк

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИФФЕРЕНТА НА ХОДОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА С БОЛЬШОЙ ПОЛНОТОЙ ОБВОДОВ**

*Выполнено экспериментальное исследование сопротивления воды движению судна с большой полнотой обводов. Найдено оптимальное значение дифферента, позволяющее снизить сопротивление воды.*

**Ключевые слова:** влияние дифферента на сопротивление воды, дифферент, сопротивление воды, судно с большой полнотой, экономия топлива.

*Виконано експериментальне дослідження опору води руху судна з великою повнотою обводів. Знайдено оптимальне значення диференту, що дозволяє понизити опір води.*

**Ключові слова:** вплив диференту на опір води, диферент, опір води, судно з великою повнотою, економія палива.

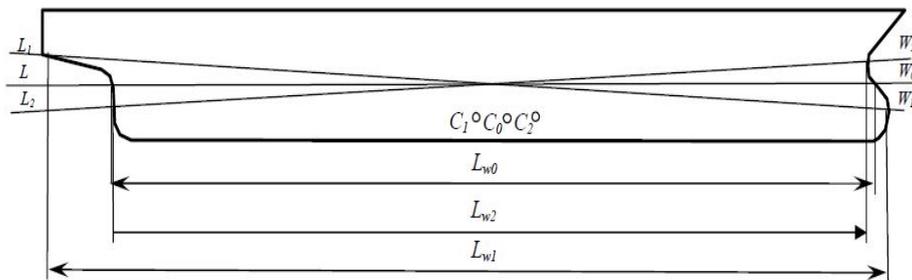
*The experimental research of a water resistance of motion of a vessel with the full-shaped. The trim best value allowing is discovered to lower a water resistance.*

**Keywords:** effect of a trim on a water resistance, a pitch, a water resistance, full-shaped vessel, fuel saving

**Актуальность.** Приоритетной задачей, возникающей при технической эксплуатации судна, является экономия топлива. Одним из возможных путей её решения является оптимизация ходового дифферента. Этому вопросу посвящено достаточно большое количество работ [1, 2, 3, 4], но их результаты носят весьма противоречивый и неоднозначный характер. Это связано с индивидуальными особенностями судов (рис. 1).

На рис.1 обозначено:  $L_i W_i$  ватерлиния;  $L_{wi}$  длина по ватерлинии;  $C_i$  центр величины. Индекс  $i$  равен 0 при посадке на ровный киль, 1 при дифференте на корму и 2 при дифференте на нос. Очевидно, что наличие дифферента ведет к существенным изменениям длины по ватерлинии, положению центра величины и площади смоченной поверхности. Это сказывается на характере взаимодействия волновых систем, возникающих в оконечностях судна при его движении, влечет изменение сопротивления формы и трения.

В классической работе по проектированию судов [5] показано, что оптимальное положение центра величины зависит от коэффициента обшей полноты судна. Характер волнообразования зависит от скорости движения [6, 7]. Кроме этого, дифферент влияет на условия работы гребного винта, прежде всего, на попутный поток и засасывание [8]. Из сказанного, очевидно, что оптимизация дифферента является сложной многофакторной задачей, аналитическое решение которой затруднено.

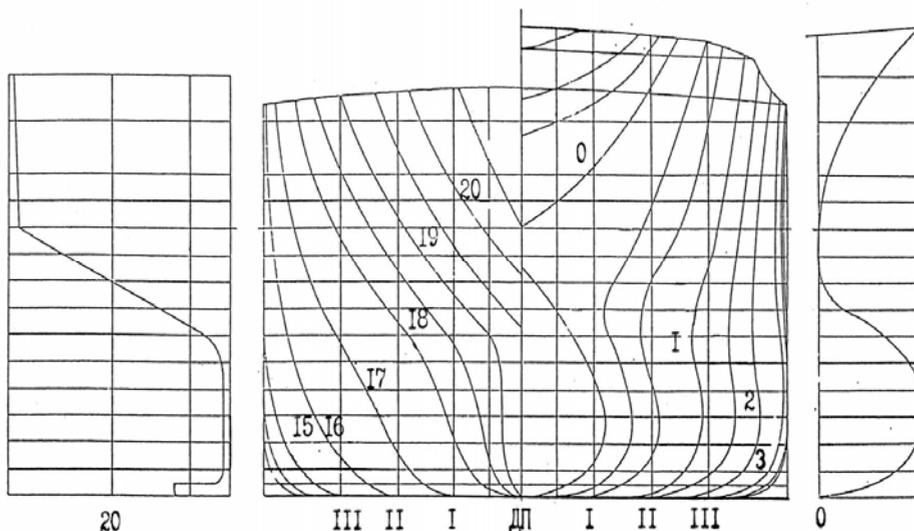


*Рис.1. Влияние дифферента на длину судна по ватерлинии и положение центра величины*

**Целью работы** является экспериментальное исследование влияния дифферента на величину силы сопротивления воды движению судна с большой полной обводов.

**Изложение основного материала.** Для достижения поставленной цели в опытовом бассейне Одесского национального морского университета были выполнены буксировочные испытания модели танкера «Крым».

На рисунке 2 приведена проекция «Корпус» теоретического чертежа и обводы оконечностей т/х «Крым». Характеристики модели приведены в таблице 1.



*Рис. 2. Проекция «корпус» теоретического чертежа и обводы оконечностей т/х «Крым»*

Таблиця 1

Характеристики моделі т/х «Крым»

Характеристика	Значение
Длина между перпендикулярами, $L_{III}$ , м	1,908
Ширина, $B$ , м	0,310
Осадка, $d$ , м	0,087
Водоизмещение модели, $D$ , кг	41.97
Безразмерная абсцисса центра величины, $\bar{x}_C = 2x_C / L_{III}$	0,094

Испытания проводились при 6 значениях дифферента. Дифферент на нос считался положительным. Результаты модельных испытаний представлены на рисунке 3. Видно заметное влияние дифферента на сопротивление воды движению судна.

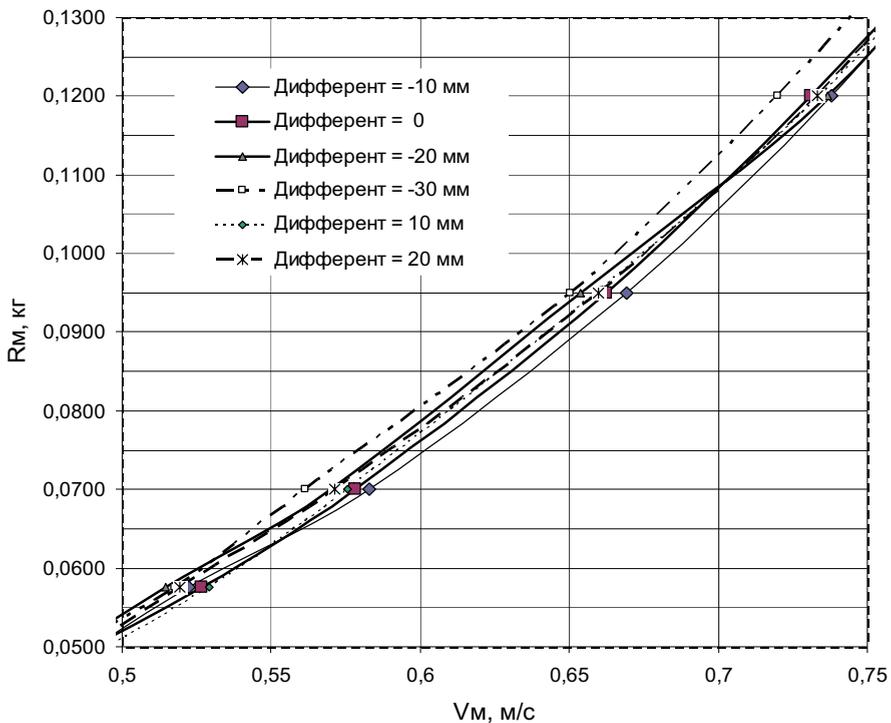
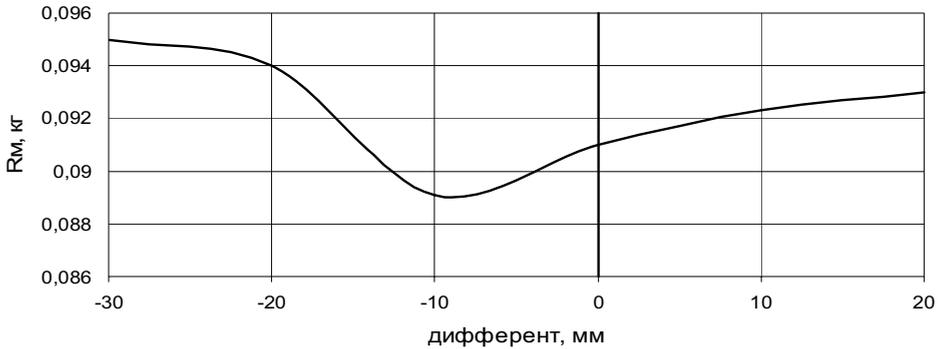


Рис.3. Результаты модельных испытаний

На рис.4 построена зависимость сопротивления модели от дифферента при фиксированной скорости хода. Четко виден минимум сопротивления. Для скорости модели 0,65 м/с оптимальным будет дифферент 8-10 мм на корму.



*Рис.4. Влияние дифферента на сопротивление при скорости модели 0,65 м/с*

Полученные рекомендации были применены на т/х «Eagle Tucson» (рис. 5) имеющем достаточно близкие безразмерные характеристики формы корпуса. Характеристики судна приведены в таблице 2, а в таблице 3 сопоставлены безразмерные характеристики модели т/х «Крым» и т/х «Eagle Tucson».



*Рис.5. Общий вид т/х «Eagle Tucson»*

Таблиця 2

*Характеристики т/х «Eagle Tucson»*

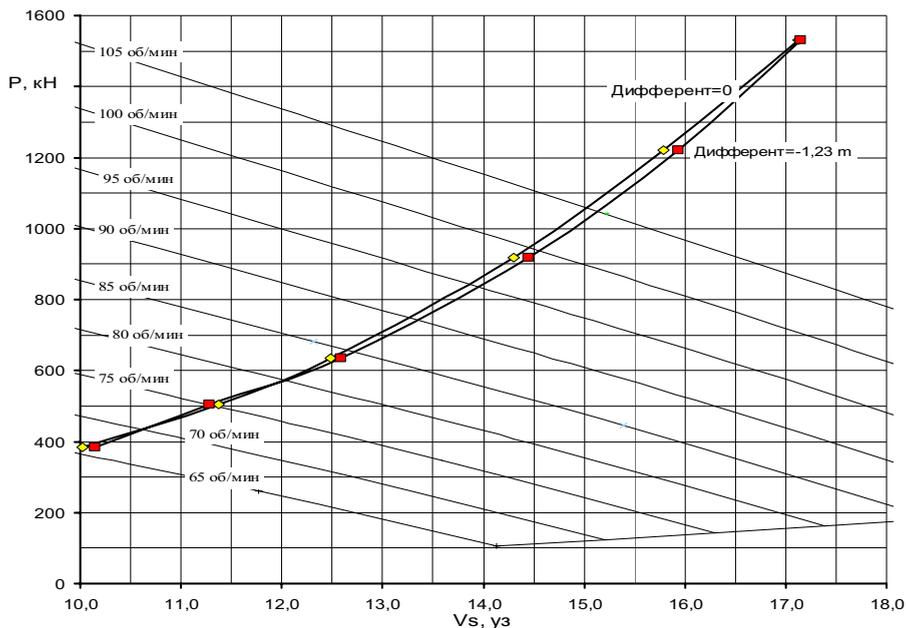
Характеристика	Значение
Длина между перпендикулярами, $L_m$ , м	235
Ширина, $B$ , м	42
Высота борта, $D$ , м	21,3
Водоизмещение в грузу, $D$ , т	123872
Средняя осадка в грузу, $d_{cp}$ , м	14,8
Водоизмещение в балласте, $D$ , т	84157
Средняя осадка в балласте, $d_{cp}$ , м	10,35

Таблиця 3

Безразмерные характеристики т/х «Eagle Tucson» и «Крым»

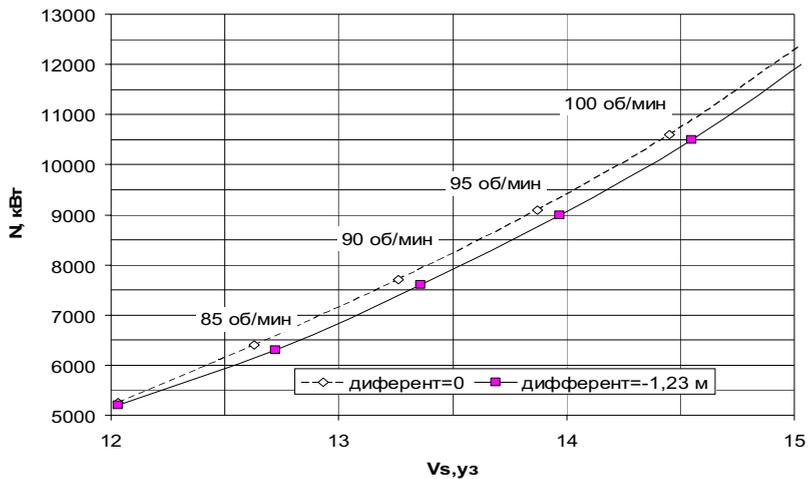
Характеристика	т/х «Eagle Tucson»	т/х «Крым»
Отношение длины к ширине, $L_{III}/B$	5,595	6,15
Отношение ширины к осадке, $B/d$	3,559	3,559
Относительная длина, $\ell = L_{III} / \sqrt[3]{\nabla}$	5,158	5,488
Коэффициент общей полноты, $Cb$	0.8268	0,815
Безразмерная абсцисса центра величины, $\bar{x}_C = 2x_C / L_{III}$	-0,079	0,094

Для оценки влияния дифферента на тяговые и как следствие на экономические показатели работы судна, был выполнен пересчет результатов модельных испытаний т/х «Крым» для посадки на ровный киль и с дифферентом 10 мм на корму на «условное судно» имеющее такую же длину, что и т/х «Eagle Tucson». Масштаб для пересчета был взят по длинам между перпендикулярами 123,17. Для «условного судна» была рассчитана паспортная диаграмма для винта с теми же характеристиками, что и установленный на «Eagle Tucson»: диаметр 7,20 м, количество лопастей 4, шаговое отношение 0,672, дисковое отношение 0,504. Тяговая часть диаграммы представлена на рис.6.



*Рис.6. Тяговые характеристики «условного судна»*

При помощи паспортной диаграммы были получены зависимости потребляемой мощности от скорости хода (рис.7).



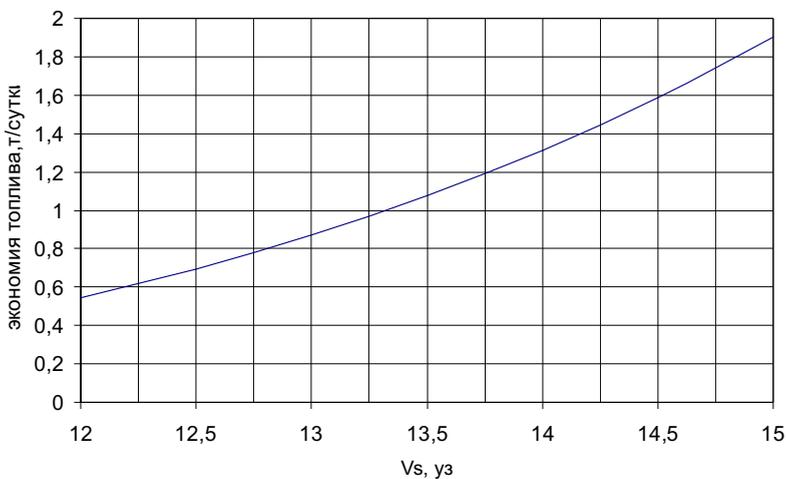
*Рис. 7. Винтовые характеристики «условного судна»*

Была рассчитана разность в потребляемых «условным судном» мощностях для посадок на ровный киль и при оптимальном дифференте 1,23 м на корму. Принимая удельный расход топлива  $q = 0,170$  кг/кВтч, легко отыскивается предполагаемая суточная экономия топлива

$$\Delta Q = \frac{\Delta N \cdot q}{24 \cdot 10^3},$$

где  $\Delta N$  – разность в потребляемых мощностях при посадках на ровный киль и с оптимальным дифферентом.

Результаты расчета суточной экономии топлива приведены на рис.8.



*Рис. 8. Суточная экономия топлива при плавании «условного судна» с оптимальным дифферентом*

На ходовых испытаниях [9] при переходе в балласте т/х «Eagle Tucson» (водоизмещение 80235 т, средняя осадка 9,90 м) были выполнены замеры расхода топлива при движении с дифферентом и без. Испытания проводились в Карибском море в декабре 2011 г. При испытаниях судно двигалось по 2 часа на прямом и обратном курсах. Состояние моря 2 бала. Некоторые результаты испытаний приведены в таблице 2.

При проведении натурных испытаний была выявлена экономия топлива в 0,6 т в сутки. Различие в экономии топлива при пересчете и натурных испытаниях обусловлено следующими факторами:

- не учтено влияние попутного потока на дифферент (это является следующим этапом исследования);
- безразмерные характеристики сопоставляемых судов существенно отличаются и оптимальный дифферент для «Eagle Tucson» (на будущее планируются модельные испытания) неизвестен.

Таблиця 4

*Результаты натурных испытаний т/х «Eagle Tucson»*

Номер	Характеристика	Дифферент = 0		Дифферент 1 м на корму	
1	Обороты, об./мин.	91		91	
2	Курс, °	103	283	103	283
3	Ветер (направление), °	326	340	15	0
4	Ветер (вымпельный), уз	27	23	20	24
5	t воды, °С	29	29	29	29
6	Дистанция по GPS,	26,4	26	26,5	26,5
7	Дистанция по LOG	26,4	26,4	26,5	26,5
8	Расход топлива на пробеге, литр	3250	3280	3260	3265
9	Расход топлива на пробеге, кг/кВтч	0,200073	0,2017	0,2023	0,2025
10	Расход топлива на пробеге, т/милю	0,115867	0,119436	0,115785	0,115963
11	Средний расход топлива на пробеге, т/милю	0,1177		0,1159	
12	Средний расход топлива на сутки, т	38,1192		37,5432	
13	Экономия топлива, т/сутки	0,576			

**Выводы.** Доказана возможность снижения расхода топлива путем оптимизации дифферента. Величина оптимального дифферента является индивидуальной характеристикой судна и надежно может быть найдена путем проведения модельных испытаний.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сизов В.Г. *О рациональной балластировке танкеров типа «Казбек» // Тр. научной конференции ВУЗ ММФ по некоторым вопросам эксплуатации морского транспорта.* – М.: Морской транспорт. 1962.
2. Хильский В.П. *Оптимальная балластировка транспортных судов на тихой воде // НТС «Судостроение и судоремонт».* – Вып.4. – Одесса, 1970.

3. Хильский В.П. *0 волновом сопротивлении тонкого судна с дифферентом* // НТС "Судостроение и судоремонт". – Вып.2. Одесса, 1968.
4. *Understanding the physics of trim. Ship & Offshore // GreenTech. – 2011. – P. 36-38.*
5. Ашик В.В. *Проектирование судов: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985. – 320 с.*
6. Войткунский Я.И. *Сопротивление воды движению судов. – Л.: Судостроение, 1988. – 288 с.*
7. Костюков А.А. *Теория корабельных волн и волнового сопротивления. – Л.: Судпромгиз, 1959. – 312 с.*
8. Хильский В.П. *Коэффициенты попутного потока одновинтовых транспортных судов при различных посадках* // Материалы научной конференции молодых ученых. – Вып.2. – Одесса, 1971.
9. Гирс И.В., Русецкий А.А., Нецветаев Ю.А. *Испытания мореходных качеств судов. – Л.: Судостроение, 1965. – 239 с.*

*Стаття надійшла до редакції 17.02.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, ген. директор Морського інженерного бюро **Г.В. Єгоров.**

УДК 629.5.01

Н.Г. Валько, А.С. Потравко

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОПТИМИЗАЦИИ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАЛИВНЫХ СУДОВ**

*Выполнен анализ изменения десяти различных критериев оптимизации при систематическом изменении исходных данных.*

**Ключевые слова:** оптимизация, нефтехимовозы, основные характеристики, критерий оптимизации.

*Виконано аналіз зміни десяти різних критеріїв ефективності при зміні вихідних даних.*

**Ключові слова:** оптимізація, нафтохімовози, основні характеристики, критерій оптимізації.

*The analysis of ten different efficiency criterions alteration caused by input data variation is carried out.*

**Keywords:** optimization, oil/chemical tankers, the main characteristics, the efficiency criterion.

**Постановка проблемы.** В настоящее время существует большое число критериев оптимизации транспортных судов, пользуясь которыми не удается получить однозначное оптимальное решение.

**Цель настоящей работы.** Установить, какие из критериев позволяют найти однозначное оптимальное решение при проектировании малых нефтехимовозов.

**Изложение основного материала.** В работах М.В. Войлошникова [1, 2] в качестве критериев оптимизации при проектировании судов рассмотрены: приведенные затраты, удельные приведенные затраты, дисконтированные затраты, рентабельность инвестиций, эквивалентная ставка, приведенная стоимость, чистая текущая стоимость инвестиций, внутренняя норма прибыли, критерий в форме обобщения чистой текущей стоимости, отнесенной к инвестициям и внутренней нормы прибыли, критерий в форме разности совокупного дохода и операционных расходов.

В настоящем исследовании выполнена проверка возможности использования вышеперечисленных критериев оптимизации при проектировании малых нефтехимовозов. При выполнении расчетов использовалась методика определения критериев оптимизации, приведенная в монографии [1].

В качестве исходных данных для расчетов приняты наливные суда – нефтехимовозы дедвейтом 2000, 4000, 6000, 8000 и 10000 т, диапазон вариации эксплуатационных скоростей  $v_s$  от 12 до 15 узл. с шагом в

0,5 узл. Стоимость топлива 650 USD/т. Протяженность линии эксплуатации  $R$  2000, 3300, 4200 и 5000 миль. При расчетах принято два варианта фрахтовой ставка 100 и 250 USD/т. Дальность плавания 3300 и 5000 миль, фрахтовые ставки, а также перечисленные ниже данные взяты аналогично использованным М.В. Войлошниковым [1, 2] при его расчетах критериев эффективности. Удельный расход топлива 0,006 т/(кВт сут). Продолжительность годового эксплуатационного периода составляет 335 суток. Численность экипажа 15 человек. Средние годовые расходы на содержание одного члена экипажа 12 тыс. USD. Интенсивность грузообработки в портах отправления и назначения (погрузки и выгрузки) 1000 т/сут. Коэффициент использования грузоподъемности в обратном переходе принят равным 0,67. Отношение средних годовых расходов на ремонт к восстановительной стоимости судна принято равным 1 %. Отношение навигационных расходов и затрат на агентирование к расходам на содержание экипажа принято 10 %. Отношение мощности вспомогательных дизель-генераторов, работающих на стоянке, к эффективной мощности главных двигателей составило 10 %. Эффективная мощность главных двигателей  $N_E$  определялась с помощью адмиралтейского коэффициента  $C$

$$N_E = v_s^{2,5} \cdot \Delta^{0,5} / C, \text{ кВт},$$

где  $v_s$  – эксплуатационная скорость, узл.;

$\Delta$  – водоизмещение, т,

$C = 22,6$  [1].

При проведении настоящих расчетов принят монотонный рост сопротивления воды движению судна, скачкообразного изменения роста сопротивления не наблюдается. Отношение средних расходов на снабжение к расходам на топливо принято 10 %. Отношение продолжительности непроизводительных простоев к стояночному времени составило 10 %. Для определения восстановительной стоимости  $RC$  применена формула

$$RC \approx c_1 \cdot \Delta_{пор} + c_2 \cdot N_E, \text{ тыс. USD},$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – коэффициенты, принятые, соответственно, 2,6 тыс. USD/т и 0,36 тыс. USD/кВт;

$\Delta_{пор}$  – водоизмещение порожнем, т.

Проведенные вычисления критериев оптимизации показали сходство в характере зависимостей от эксплуатационной скорости и дедвейта следующих групп критериев:

- 1) приведенные затраты, дисконтированные затраты и приведенная стоимость;
- 2) рентабельность инвестиций, эквивалентная ставка, внутренняя норма прибыли и критерий в форме обобщения чистой текущей стоимости, отнесенной к инвестициям, и внутренней нормы прибыли.

Внутри вышеперечисленных групп критерии не равны по абсолютной величине, кроме дисконтированных затрат и приведенной стоимости. Критерии первой группы являются минимизируемыми критериями, критерии второй группы – максимизируемыми.

При использовании первой группы критериев эффективности во всех вариантах расчетов получена монотонно возрастающая линейная зависимость критериев от эксплуатационной скорости (рис. 1 и 2), что не позволяет сделать предположения об оптимуме. Возможно характер зависимостей связан с тем, что данные критерии отображают только капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Первая группа критериев не может быть рекомендована к дальнейшему применению при оптимизации малых наливных судов.

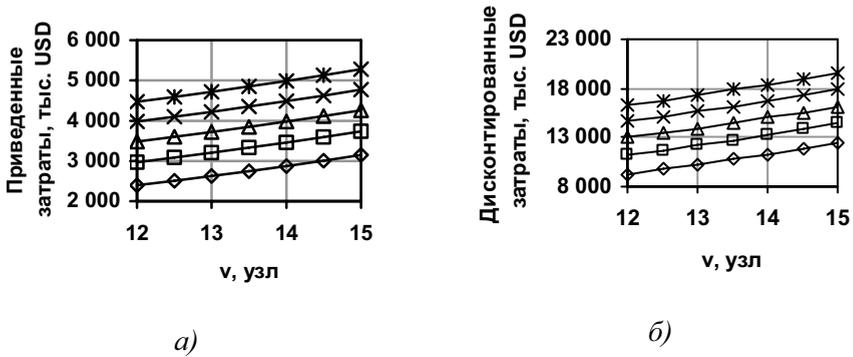


Рис. 1. Зависимость приведенных (а) и дисконтированных затрат (б) от эксплуатационной скорости судна при дальности плавания 2000 миль:  
 ---◇---  $dw = 2000$  т; ---□---  $dw = 4000$  т; ---△---  $dw = 6000$  т;  
 ---×---  $dw = 8000$  т; ---\*---  $dw = 10000$  т

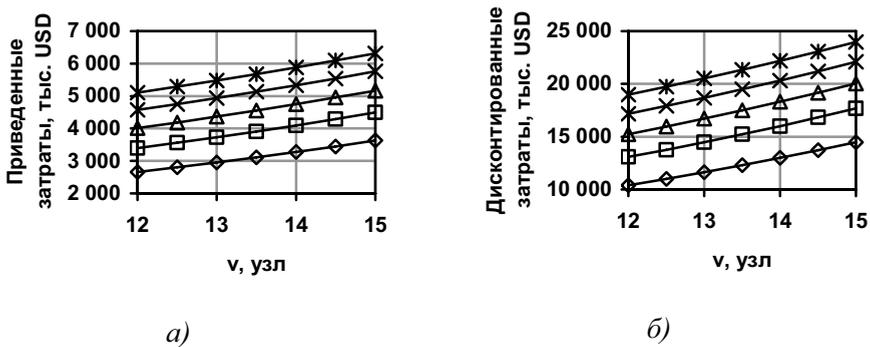


Рис. 2. Зависимость приведенных (а) и дисконтированных затрат (б) от эксплуатационной скорости судна при дальности плавания 5000 миль:  
 ---◇---  $dw = 2000$  т; ---□---  $dw = 4000$  т; ---△---  $dw = 6000$  т;  
 ---×---  $dw = 8000$  т; ---\*---  $dw = 10000$  т

При фрахтовой ставке 100 USD/т наблюдается экстремум функций критериев второй группы от дедвейта (рис. 3 и 4). Суда дедвейтом 2000 т не могут эффективно использоваться при дальности плавания 5000 миль (рис. 4 б, в). При снижении дальности плавания до 4200 миль наблюдается минимальная эффективность их использования, которая повышается по мере уменьшения дальности плавания. На рис. 3 можно видеть, что при фрахтовой ставке 100 USD/т и дальности плавания 2000 миль наиболее эффективной становится эксплуатация судов дедвейтом 4000 т, а при дальности плавания 5000 миль – 8000 и 10000 т (рис. 4). Исследование показало, что при дальности плавания 3300 и 4200 миль наиболее эффективна эксплуатация судов дедвейтом 6000 и 8000 т, соответственно.

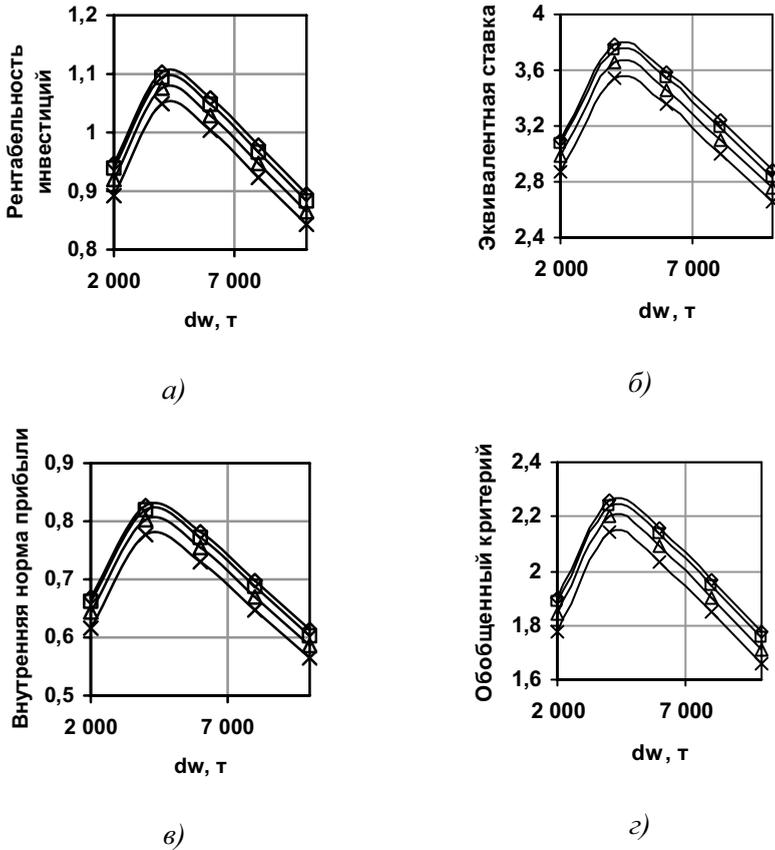
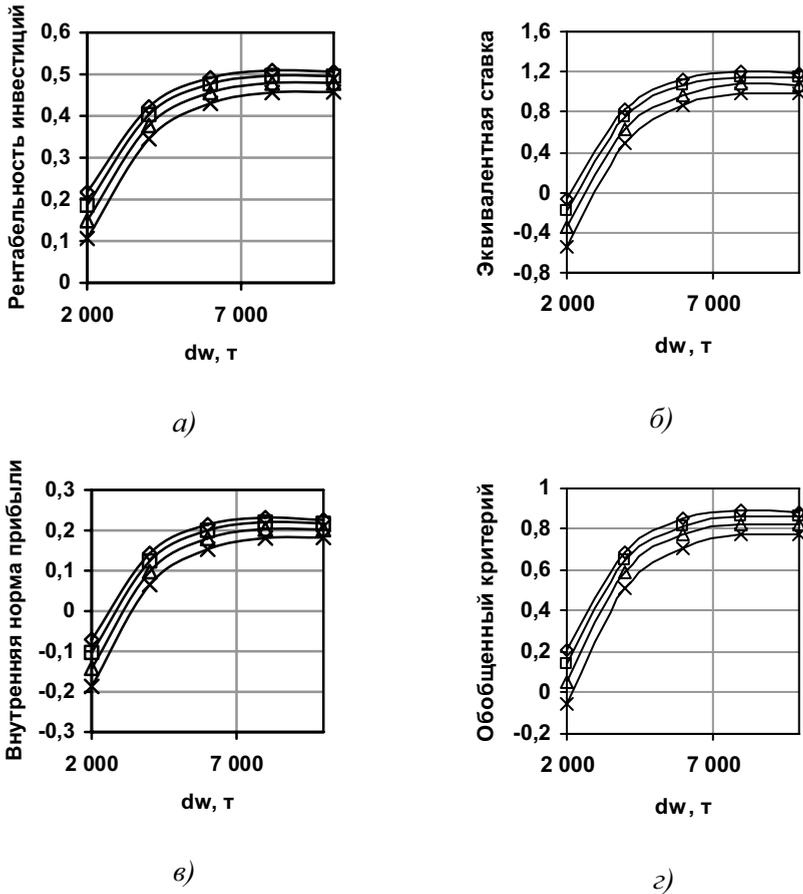


Рис. 3. Зависимость рентабельности инвестиций (а), эквивалентной ставки (б), внутренней нормы прибыли (в) и обобщенного критерия (г) от дедвейта судна при фрахтовой ставке 100 USD/т и дальности плавания 2000 миль:

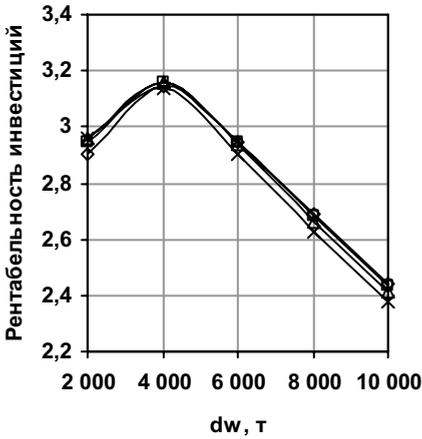
---◇--- – v = 12 узл.; ---□--- – v = 13 узл.; ---△--- – v = 14 узл.;  
---×--- – v = 15 узл.



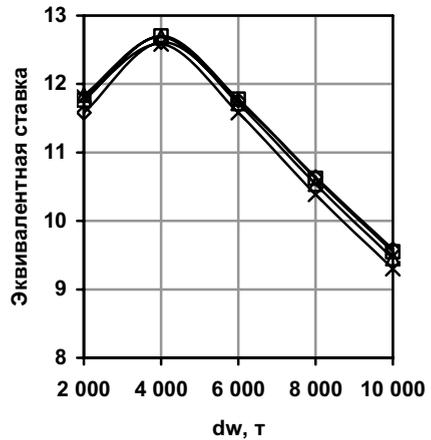
*Рис. 4. Зависимость рентабельности инвестиций (а), эквивалентной ставки (б), внутренней нормы прибыли (в) и обобщенного критерия (з) от дедвейта судна при фрахтовой ставке 100 USD/т и дальности плавания 5000 миль:  
---◇--- v = 12 узл.; ---□--- v = 13 узл.; ---△--- v = 14 узл.;  
---×--- v = 15 узл.*

При фрахтовой ставке 250 USD/т можно определить оптимальные значения эксплуатационных скоростей для судов разного дедвейта при различных дальностях плавания (рис. 5 и 6). Заметен рост абсолютных значений критериев эффективности второй группы по сравнению с их значениями для фрахтовой ставки 100 USD/т. Также на рис. 5 видно, что при дальности плавания 2000 миль наиболее эффективными будут суда дедвейтом 4000 т, а при дальности плавания 5000 миль – 6000 т (рис. 6) с эксплуатационными скоростями 13,5 узл. Установлено, что для дальностей плавания 3300 и 4200 миль экономически целесообразнее использование судов дедвейтом 4000 и 6000 т, соответственно. Пользуясь графиче-

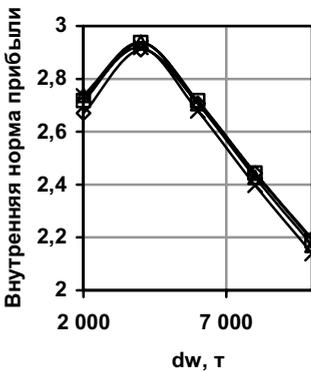
ками (рис. 5 и 6), можно предположить, что с ростом дедвейта судов от 2000 до 10000 т уменьшается наиболее экономически целесообразная эксплуатационная скорость. Такая закономерность наиболее характерна при малой дальности плавания (2000 миль).



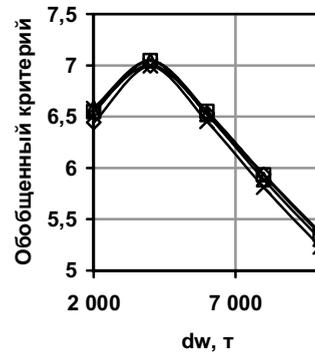
a)



б)



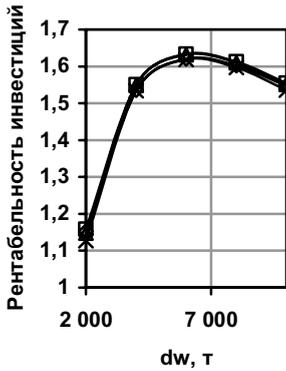
в)



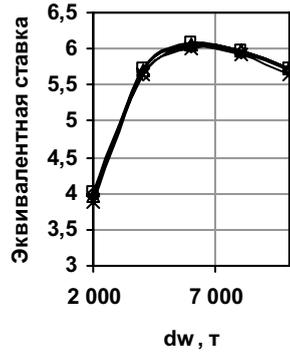
г)

Рис. 5. Зависимость рентабельности инвестиций (а), эквивалентной ставки (б), внутренней нормы прибыли (в) и обобщенного критерия (г) от дедвейта судна при фрахтовой ставке 250 USD/t и дальности плавания 2000 миль:

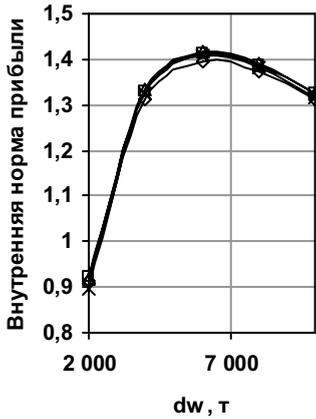
---◇--- v = 12 узл.; ---□--- v = 13 узл.; ---△--- v = 14 узл.;  
---×--- v = 15 узл.



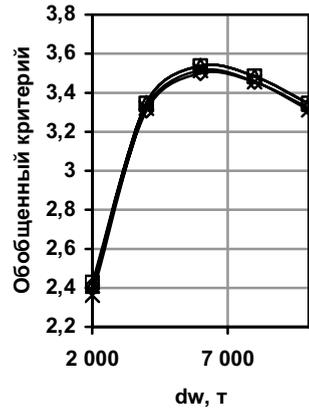
a)



б)



в)

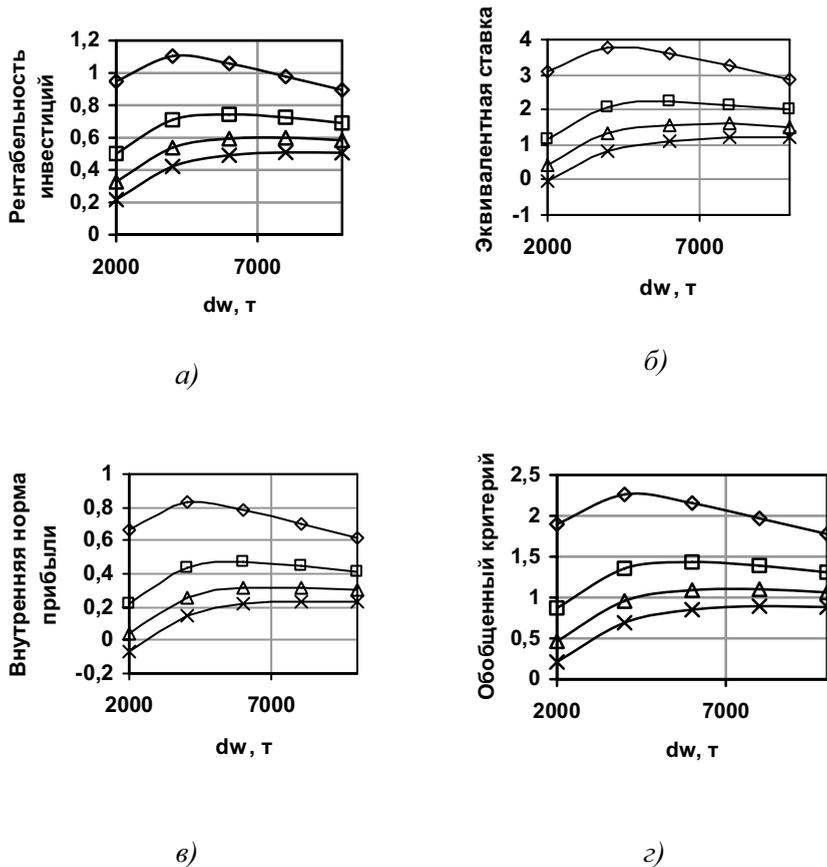


г)

Рис. 6. Зависимость рентабельности инвестиций (а), эквивалентной ставки (б), внутренней нормы прибыли (в) и обобщенного критерия (г) от дедвейта судна при фрахтовой ставке 250 USD/т и дальности плавания 5000 миль:  
 ---◇--- –  $v = 12$  узл.; ---□--- –  $v = 13$  узл.; ---△--- –  $v = 14$  узл.;  
 ---×--- –  $v = 15$  узл.

При фиксированных фрахтовой ставке, эксплуатационной скорости и дальности плавания можно получить оптимальный дедвейт наливного судна с помощью зависимостей критериев второй группы от дедвейта (рис. 7 и 8).

Пользуясь критериями второй группы для одной и той же дальности плавания и фрахтовой ставке, можно определить одинаковые оптимальные значения дедвейта и эксплуатационной скорости наливного судна.



*Рис. 7. Зависимость рентабельности инвестиций (а), эквивалентной ставки (б), внутренней нормы прибыли (в) и обобщенного критерия (г) от дедвейта при фрахтовой ставке 100 USD/т и эксплуатационной скорости 12 узлов:*  
 ---◇--- R = 2000 миль; ---□--- R = 3300 миль; ---△--- R = 4200 миль;  
 ---×--- R = 5000 миль

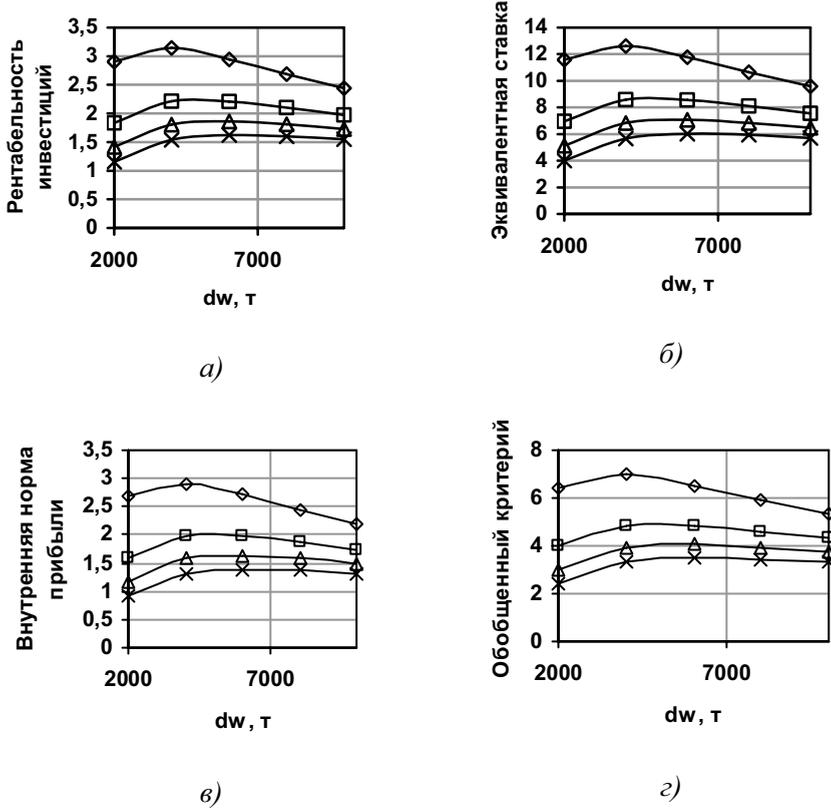


Рис. 8. Зависимость рентабельности инвестиций (а), эквивалентной ставки (б), внутренней нормы прибыли (в) и обобщенного критерия (з) от дедвейта при фрахтовой ставке 250 USD/m и эксплуатационной скорости 12 узлов:  
 ---◇--- – R = 2000 миль; ---□--- – R = 3300 миль; ---△--- – R = 4200 миль;  
 ---×--- – R = 5000 миль

Рассматривая критерий удельных приведенных затрат, который является отношением приведенных затрат к количеству перевезенного груза за год (рис. 9 и 10), можно отметить следующее. Характер зависимости критерия от эксплуатационной скорости судна монотонно возрастающий. Наибольшее значение критерия получено для судов дедвейтом 2000 т при одинаковой дальности плавания. Наименьшее – для судов с максимальным дедвейтом, что общеизвестно.

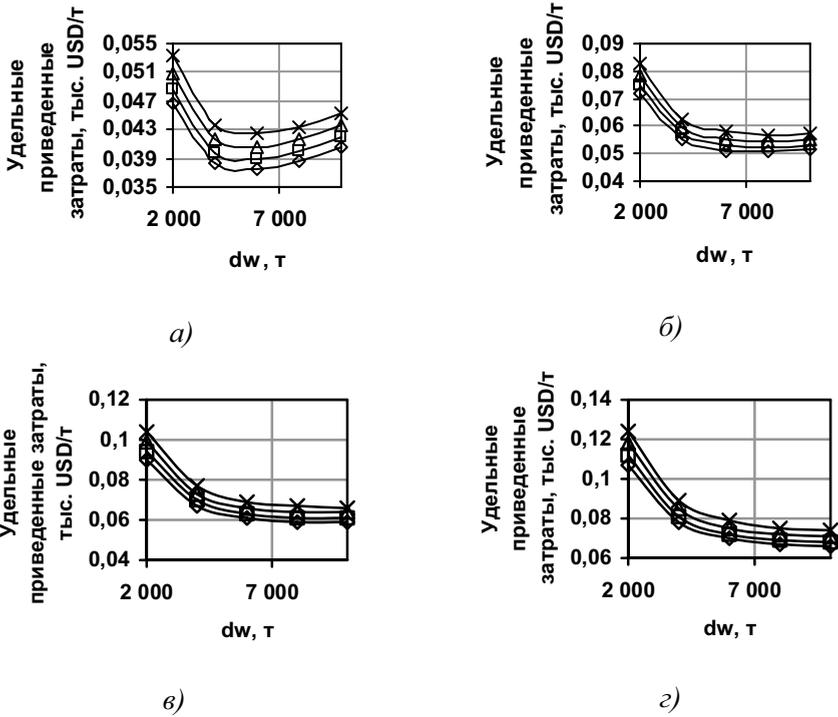


Рис. 9. Зависимость удельных приведенных затрат от дедвейта судна при дальности плавания 2000 (а), 3300 (б), 4200 (в) и 5000 миль (г):

---◇--- -  $v = 12$  узл.; ---□--- -  $v = 13$  узл.; ---△--- -  $v = 14$  узл.;  
---×--- -  $v = 15$  узл.

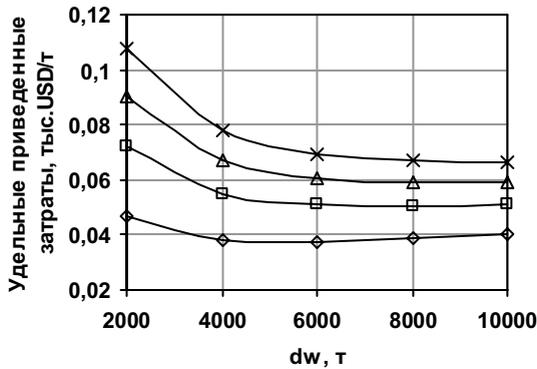


Рис. 10. Зависимость удельных приведенных затрат от дедвейта при эксплуатационной скорости 12 узлов:

---◇--- -  $R = 2000$  миль; ---□--- -  $R = 3300$  миль; ---△--- -  $R = 4200$  миль;  
---×--- -  $R = 5000$  миль

На графиках зависимости чистой текущей стоимости инвестиций от эксплуатационной скорости видно, что с ростом дедвейта судна и уменьшением дальности плавания значение критерия оптимизации растет (рис. 11 и 12). Экстремумы критерия в функции от скорости удалось получить только для ограниченного сочетания исходных данных, в частности, при фрахтовой ставке 100 USD/т и дальностях плавания 2000 и 3300 миль для рассмотренных величин дедвейтов и эксплуатационной скорости около 13 узл (рис. 11 а, б).

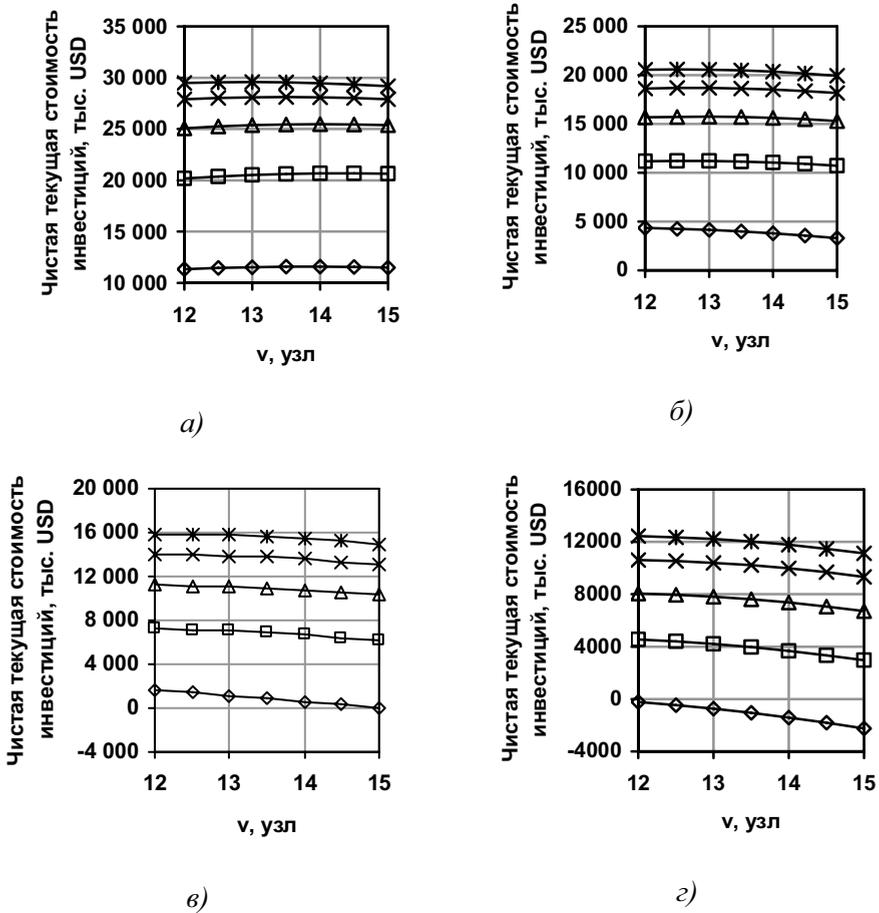


Рис. 11. Зависимость чистой текущей стоимости инвестиций от эксплуатационной скорости судна при фрахтовой ставке 100 USD/т и дальности плавания 2000 (а), 3300 (б), 4200 (в) и 5000 миль (г):  
 ---◇--- dw = 2000 T; ---□--- dw = 4000 T; ---△--- dw = 6000 T;  
 ---×--- dw = 8000 T; ---\*--- dw = 10000 T

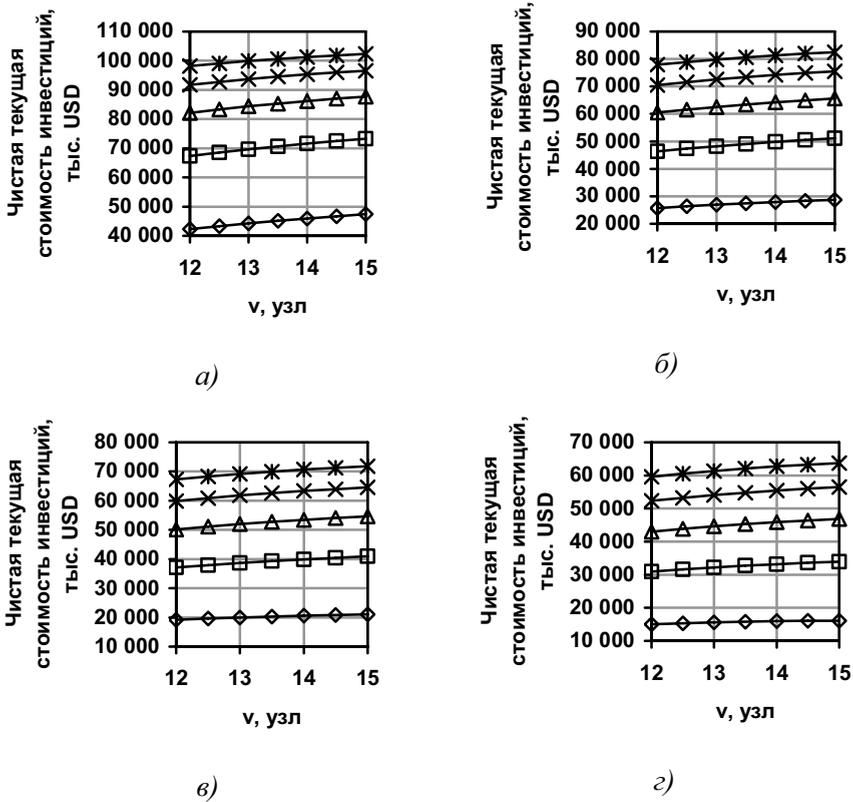
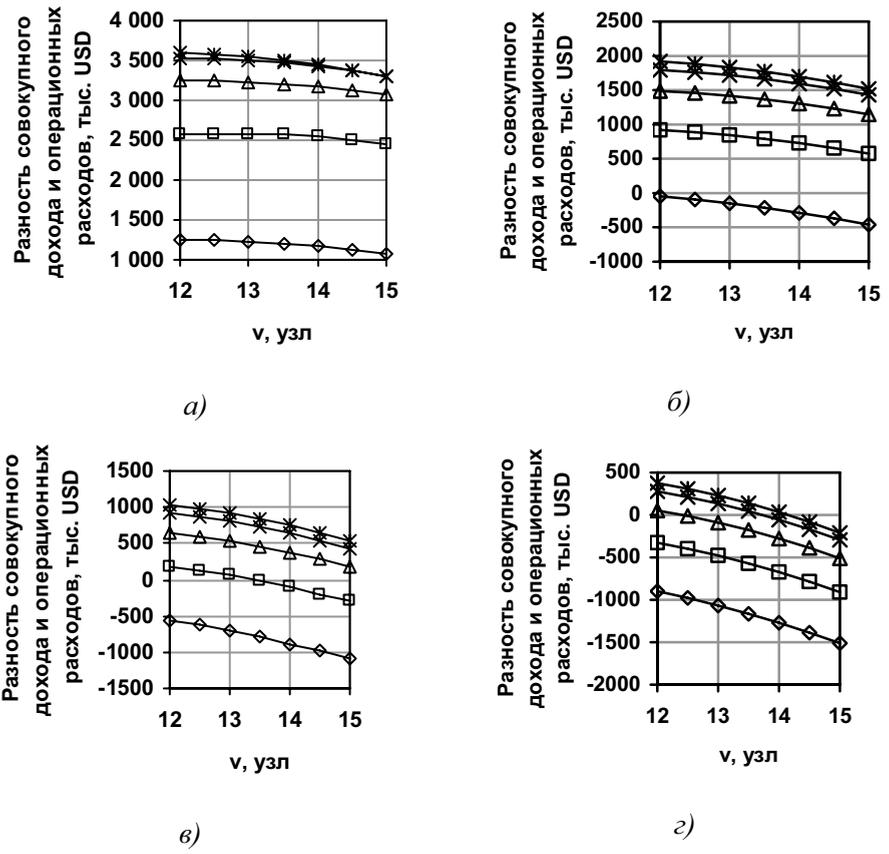
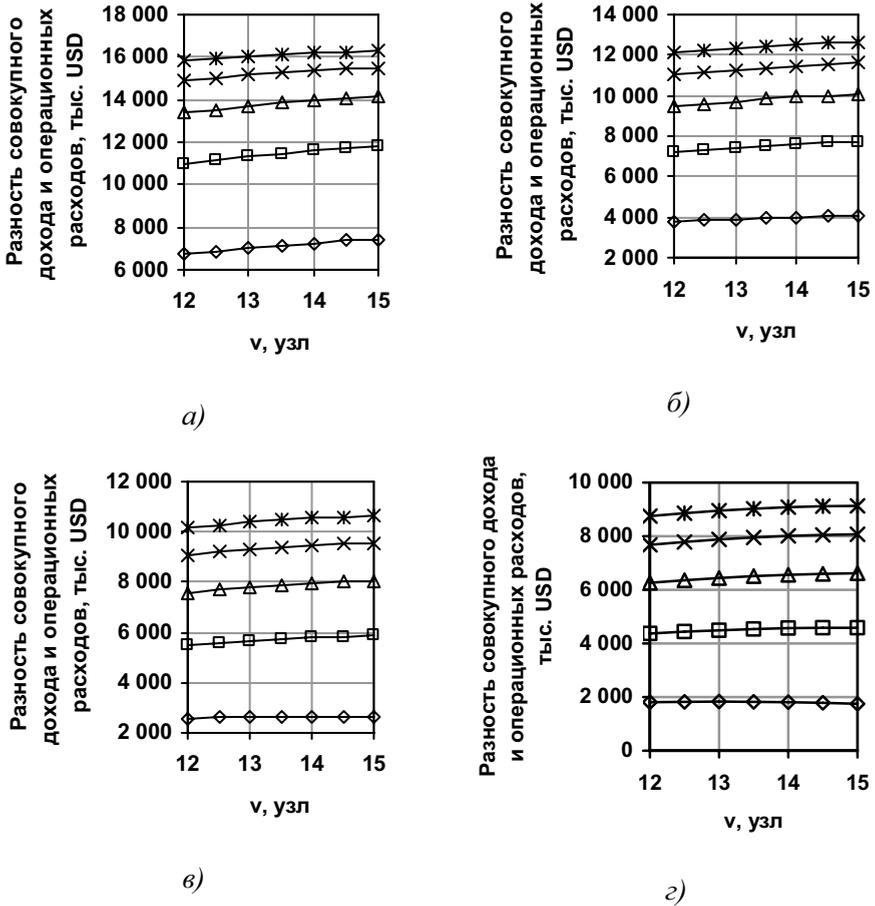


Рис. 12. Зависимость чистой текущей стоимости инвестиций от эксплуатационной скорости судна при фрахтовой ставке 250 USD/m и дальности плавания 2000 (а), 3300 (б), 4200 (в) и 5000 миль (г):  
 ---◇--- — dw = 2000 т; ---□--- — dw = 4000 т; ---△--- — dw = 6000 т;  
 ---×--- — dw = 8000 т; ---\*--- — dw = 10000 т

Графики критерия оптимизации в виде разности совокупного дохода и операционных расходов в функции от скорости (рис. 13 и 14) позволяют сделать предположение о росте величины критерия с ростом фрахтовой ставки и дедвейта судна, а также при уменьшении дальности плавания. Характерным является рост величины критерия с ростом скорости при фиксированных дальности плавания и дедвейте в случае фрахтовой ставки, равной 250 USD/т. При снижении величины фрахтовой ставки до 100 USD/т наблюдается падение величины критерия с ростом скорости. Можно предположить, что при некотором значении величины фрахтовой ставки обозначатся оптимальные значения дедвейта и эксплуатационной скорости малых наливных судов.



*Рис. 13. Зависимость разности совокупного дохода и операционных расходов от эксплуатационной скорости судна при фрахтовой ставке 100 USD/t и дальности плавания 2000 (а), 3300 (б), 4200 (в) и 5000 миль (г):*  
 ---◇---  $dw = 2000$  т; ---□---  $dw = 4000$  т; ---△---  $dw = 6000$  т;  
 ---×---  $dw = 8000$  т; ---\*---  $dw = 10000$  т



*Рис. 14. Зависимость разности совокупного дохода и операционных расходов от эксплуатационной скорости судна при фрахтовой ставке 250 USD/m и дальности плавания 2000 (а), 3300 (б), 4200 (в) и 5000 миль (г):*  
 ---◇--- —  $dw = 2000$  т; ---□--- —  $dw = 4000$  т; ---△--- —  $dw = 6000$  т;  
 ---×--- —  $dw = 8000$  т; ---\*--- —  $dw = 10000$  т

**Выводы.** Критерий приведенный затраты утратил актуальность, в связи с чем его применение при проектировании малых нефтехимовозов нецелесообразно. Так же применение критериев дисконтированные затраты и приведенная стоимость при проектировании малых нефтехимовозов представляется нецелесообразным.

Исследование показало, что рентабельность инвестиций, эквивалентная ставка, внутренняя норма прибыли и обобщенный критерий (в форме обобщения чистой текущей стоимости, отнесенной к инвестициям, и внутренней нормы прибыли) позволяют определить оптимальные

эксплуатационную скорость и дедейт малых наливных судов при заданной дальности плавания и фрахтовой ставке. Наиболее просто определяется критерий рентабельность инвестиций. Это обстоятельство позволяет отдать ему предпочтение.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Войлошников М.В. Морские ресурсы и техника: эффективность, стоимость, оптимальность. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2002. – 586 с.*
2. *Войлошников М.В. Методы оптимизации проектных характеристик транспортного судна: Учебн. пособие / М.В. Войлошников, М.В. Коваленко. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2008. – 116 с.*

*Стаття надійшла до редколегії 06.02.2012*

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та устрій судна» Одеської національної морської академії **І.Ф. Давидов**.

УДК 629.12: 624.02/.09

Б.И. Антонов, В.Б. Удолатий

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
НЕОДНОРОДНОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ  
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Рассмотрены вопросы, связанные с разработкой матрицы жесткости высокоточного прямоугольного конечного элемента с 24-я степенями свободы тонкой пластины, изготовленной из изотропного функционально-градиентного материала. Указанный конечный элемент может быть использован для исследования плоского напряженно-деформированного состояния неоднородных пластин. Приведены результаты исследования влияния неоднородности материала на напряженно-деформированное состояние прямоугольной пластины.*

**Ключевые слова:** *пластина, метод конечных элементов (МКЭ), конечный элемент (КЭ), функционально-градиентный материал (ФГМ).*

*Розглянуті питання, пов'язані з розробкою матриці жорсткості високоточного прямокутного скінченного елементу з 24-а степенями свободи тонкої пластини, виготовленої з ізотропного функціонально-градієнтного матеріалу. Вказаний скінченний елемент може бути використаний для дослідження плоского напружено-деформованого стану неоднорідних пластин. Наведено результати дослідження впливу неоднорідності матеріалу на напружено-деформований стан прямокутної пластини.*

**Ключові слова:** *пластина, метод скінченних елементів (МСЕ), скінченний елемент (СЕ), функціонально-градієнтний матеріал (ФГМ).*

*The questions of development of a stiffness matrix of high precision finite element with 24 the degrees of freedom of rectangular shape of thin plate, made from isotropic functionally gradient material, are considered. The indicated finite element can be utilized for the research of the flat tensely-deformed state of inhomogeneous plates. The influence of inhomogeneous material on the tensely-deformed state of rectangular plate was analyzed.*

**Keywords:** *plate, finite element method (FEM), finite element (FE), functionally gradient material (FGM).*

**Постановка проблемы.** Функционально-градиентные материалы – это материалы, которые создаются из двух или более компонентов. При этом механические свойства каждого компонента изменяются в определенном направлении в соответствии с заданным законом. Такие материалы принято называть композитами. В настоящее время получены вещества для создания композитных материалов, обладающие высокой удельной жесткостью, прочностью, твердостью, жаростойкостью, неокис-

ляемостью. При этом указанные вещества являются относительно недорогими. Многокомпонентные материалы с заданным функциональным изменением механических свойств в последнее время находят широкое применение в различных областях техники.

Многие задачи строительной механики связаны с исследованием плоского напряженно-деформированного состояния тонких пластин. Решение указанных задач для неоднородных пластин представляет сложную математическую проблему, для решения которой в большинстве случаев целесообразно применять численные методы. Поэтому применение метода конечных элементов (МКЭ) для решения указанного типа задач является актуальным.

В работах [1-2] рассматривались вопросы применения метода конечных элементов для исследования напряженно-деформированного состояния прямоугольных пластин, модуль продольной упругости материала которых является функцией координат точек срединной плоскости.

**Цель работы.** В работе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой матрицы жесткости высокоточного прямоугольного КЭ с 24-я степенями свободы, с помощью которого можно эффективно исследовать линейное плоское напряженно-деформированное состояние (НДС) пластин из неоднородного материала. Рассматривается изотропный материал, модуль продольной упругости  $E(x, y)$  и коэффициент Пуассона  $\mu(x, y)$  которого являются функциями координат точек срединной плоскости пластины.

В работе [2] отмечено, что влияние переменности коэффициента Пуассона  $\mu(x, y)$  на напряженно-деформированное состояние пластины незначительно. Потому в настоящей работе неоднородность материала пластины будет определяться только переменностью модуля продольной упругости  $E(x, y)$ .

Рассмотрим прямоугольный КЭ пластины, связанный с общей системой координат  $xu$  (рис. 1).

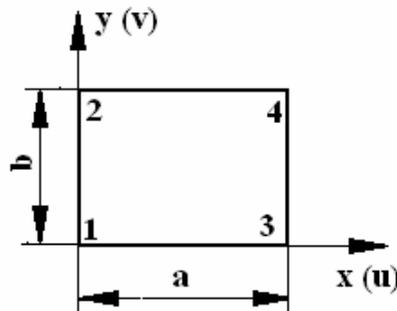


Рис. 1. Прямоугольный КЭ, связанный с общей системой координат  $xu$ :  
1, 2, 3, 4 – номера узлов КЭ

В каждом естественном узле прямоугольного КЭ, введём по 6 степеней свободы – тангенциальные перемещения  $u, v$  и их производные –  $\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}$ . В этом случае вектор-столбец узловых перемещений КЭ в общей системе координат имеет структуру

$$\{q\}_{24 \times 1}^T = [u_1, v_1, (\frac{\partial u}{\partial x})_1, (\frac{\partial v}{\partial y})_1, (\frac{\partial u}{\partial y})_1, (\frac{\partial v}{\partial x})_1, u_2, \dots, (\frac{\partial v}{\partial x})_4, \dots] \quad (1)$$

Функции тангенциальных перемещений  $u, v$  точек срединной плоскости КЭ в этом случае можно представить в виде

$$\begin{bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{bmatrix} = [\Psi_{uv}(x, y)]\{\alpha\}, \quad (2)$$

где  $\{\alpha\}^T = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{24}]$  - вектор столбец подлежащих определению множителей;

$$[\Psi_{uv}(x, y)]_{2 \times 24} = \begin{bmatrix} [f_{uv}(x, y)] & 0 \\ 0 & [f_{uv}(x, y)] \end{bmatrix}, \quad (3)$$

В выражении (3) обозначено

$$[f_{uv}(x, y)]_{1 \times 12} = [1, x, y, x^2, xy, y^2, x^3, x^2y, xy^2, y^3, x^3y, xy^3] \quad (4)$$

– матрица-строка координатных функций.

Применив выражение (2) для формирования кинематических условий в узлах КЭ, получим

$$\{q\} = [B]\{\alpha\}, \quad (5)$$

где  $[B]_{24 \times 24}$  – неособенная квадратная матрица преобразования.

Из формулы (5) найдем

$$\{\alpha\}_{24 \times 1} = [B]_{24 \times 24}^{-1} \{q\}_{24 \times 1}. \quad (6)$$

Выражение (2) с учетом зависимости (6) преобразуется к виду

$$\begin{bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{bmatrix} = [\Psi_{uv}(x, y)][B]^{-1}\{q\}. \quad (7)$$

Потенциальная энергия деформации КЭ может быть вычислена по формуле

$$V = \frac{1}{2} \int_0^a \int_0^b \{r\}^T [E] \{r\} dx dy, \quad (8)$$

где  $a, b$  – размеры КЭ (рис. 1);

$$\{r\}_{4 \times 1}^T = \left[ \frac{\partial u}{\partial x}; \frac{\partial v}{\partial y}; \frac{\partial u}{\partial y}; \frac{\partial v}{\partial x} \right]; \quad (9)$$

$$[E] = \frac{hE(x, y)}{1 - \mu^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 & 0 \\ \mu & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - \mu}{2} & \frac{1 - \mu}{2} \\ 0 & 0 & \frac{1 - \mu}{2} & \frac{1 - \mu}{2} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

Здесь  $h$  – толщина пластины.

Примем, что модуль продольной упругости материала пластины изменяется в пределах КЭ по закону

$$E(x, y) = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y + \beta_4 xy = [f_E(x, y)] \{\beta\}, \quad (11)$$

где

$$[f_E(x, y)] = [1, x, y, xy], \quad (12)$$

- матрица-строка координатных функций;

$$\{\beta\}^T = [\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4], \quad (13)$$

- вектор-столбец подлежащих определению множителей.

Нетрудно установить, что множители  $\beta_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) могут быть вычислены по формулам

$$\beta_1 = E_1; \quad \beta_2 = \frac{E_3 - E_1}{a}; \quad \beta_3 = \frac{E_2 - E_1}{b}; \quad \beta_4 = \frac{E_1 - E_2 - E_3 + E_4}{ab}. \quad (14)$$

Здесь  $E_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) – значения модуля продольной упругости материала пластины в естественных узлах КЭ.

Формула (10) с учетом выражений (11)-(13) преобразуется к виду

$$[\bar{E}] = \frac{h \{f_E(x, y)\} \{\beta\}}{1 - \mu^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 & 0 \\ \mu & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} & \frac{1-\mu}{2} \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} & \frac{1-\mu}{2} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Применив для формирования элементов вектора (9) выражение (7), запишем

$$\{r\}_{4 \times 1} = [\Psi(x, y)]_{4 \times 24} [B]_{24 \times 24}^{-1} \{q\}_{24 \times 1}, \quad (16)$$

где

$$[\Psi(x, y)]_{4 \times 24} = \begin{bmatrix} \frac{\partial [f_{uv}(x, y)]}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial [f_{uv}(x, y)]}{\partial y} \\ \frac{\partial [f_{uv}(x, y)]}{\partial y} & 0 \\ 0 & \frac{\partial [f_{uv}(x, y)]}{\partial x} \end{bmatrix}.$$

Преобразовав выражение (8) с учетом зависимости (16), получим

$$V_j = \frac{1}{2} \{q\}^T [k] \{q\}, \quad (17)$$

где

$$[k]_{24 \times 24} = [B]^{-T} \left( \int_0^a \int_0^b [\Psi(x, y)]^T [\bar{E}] [\Psi(x, y)] dx dy \right) [B]^{-1} \quad (18)$$

- матрица упругой жесткости КЭ в общей системе координат.

Если воспользоваться только первым членом полинома (11), то получим матрицу жесткости КЭ пластины из однородного материала. Остальным членам полинома (11) соответствуют три дополнительные матрицы жесткости, учитывающие переменность модуля продольной упругости  $E(x, y)$  материала пластины.

Просуммировав вклад каждого КЭ в потенциальную энергию деформации, получим выражение для вычисления потенциальной энергии деформации  $V$  пластины (ансамбля КЭ)

$$V = \frac{1}{2} \{Q(t)\}^T [K] \{Q(t)\}, \quad (19)$$

где  $[K]$  – матрица жесткости пластины (ансамбля КЭ) в общей системе координат;  $\{Q(t)\}$  – вектор узловых перемещений пластины в общей системе координат.

Полная потенциальная энергия упругой системы может быть вычислена по формуле

$$\mathcal{E} = V + U = \frac{1}{2} \{Q\}^T [K] \{Q\} - \{Q\}^T \{P\}. \quad (20)$$

где  $U$  – потенциальная энергия внешней нагрузки;  $\{P\}$  – вектор узловых внешних сил в общей системе координат.

На основании принципа возможных перемещений из выражения (20) нетрудно получить уравнение равновесия пластины (ансамбля КЭ)

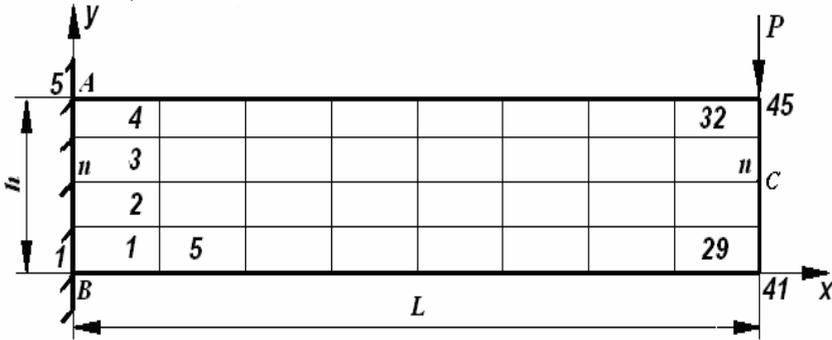
$$[K] \{Q\} = \{P\}. \quad (21)$$

Мембранные напряжения  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  и  $\tau_{xy}$  в  $i$ -м естественном узле любого КЭ могут быть вычислены по формулам

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{array} \right\} = \frac{E_i}{1-\mu^2} \left[ \begin{array}{ccc} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x = \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)_i \\ \varepsilon_y = \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)_i \\ \gamma_{xy} = \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)_i \end{array} \right\}. \quad (22)$$

Отметим, что для рассмотренного КЭ не требуется получение матрицы напряжений, так как узловые значения деформаций  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ , являющихся компонентами вектора узловых перемещений (1) КЭ, становятся известными после решения уравнения (21).

Для иллюстрации свойств разработанного КЭ с 24-я степенями свободы выполнен расчет консольной прямоугольной пластины, жестко заделанной на левой кромке ( $x=0$ ). Длина пластины  $L=0,4$  м, высота  $h=0,1$  м, толщина  $\delta=0,02$  м. В точке с координатами  $x=L, y=h$  к пластине приложена вертикальная сосредоточенная сила  $P=5$  кН. Пластина идеализирована 32-я конечными элементами (сетка 4x8). Расчетная схема пластины приведена на рис. 2.



*Рис. 2. Расчетная схема пластины:  
1, 2, 3, 4, 5, ..., 32 – номера КЭ;  
1, ..., 5, ..., ..., 45 – номера узлов сетки*

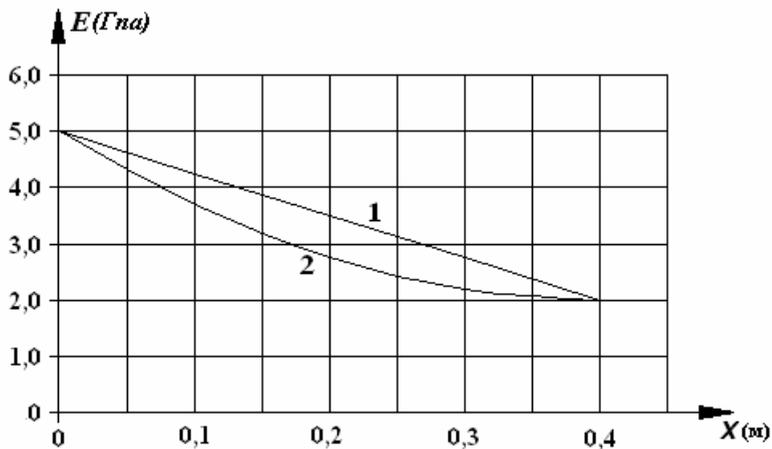
Рассмотрены два типа зависимости модуля продольной упругости материала  $E(x, y)$  от координат

$$E(x, y) = \left[ 2 + 3 \left( 1 - \frac{x}{L} \right) \right] \text{ ГПа} \quad (23)$$

- неоднородный только в направлении оси  $X$  материал (график 1 на рис. 3);

$$E(x, y) = \left[ 2 + 3 \left( 1 - \frac{x}{L} \right)^2 \right] \text{ ГПа} \quad (24)$$

- неоднородный только в направлении оси  $X$  материал (график 2 на рис. 3).



*Рис. 3. Закон изменения модуля продольной упругости  $E$  материала:  
1- линейная зависимость (23);  
2 – квадратичная зависимость (24)*

Для первого и второго типов неоднородности материала максимальное и минимальное значения модуля продольной упругости  $E$  материала составляют 5,0 ГПа на левой ( $x=0$ ) и 2,0 ГПа на правой ( $x=0,4$  м) вертикальных кромках пластины. Отношение  $E_{\max}/E_{\min}$  выбрано из диапазона  $2 \leq E_{\max}/E_{\min} \leq 10$  по аналогии с данными работ [1, 2].

Коэффициент Пуассона во всех случаях постоянный ( $\mu = 0,25$ ).

В таблице приведены результаты расчета пластины методом конечных элементов с использованием разработанного КЭ с 24-я степенями свободы (нормальное напряжение  $\sigma_x$  в точках  $A$ ,  $B$  и вертикальное перемещение  $f$  в точке  $C$  – рис. 2). В этой же таблице приведены результаты расчета однородной пластины по балочной теории для двух значений модуля продольной упругости материала  $E = 2$  ГПа и  $E = 5$  ГПа. Сравнение результатов, полученных по балочной теории, с результатами расчета пластины из однородного материала методом конечных элементов показало, что различие между ними не превышает 6,45 % по напряжениям и 0,3 % по перемещениям.

*Таблица*

*Параметры напряженно-деформированного состояния пластины*

Обозначения	Закон изменения модуля продольной упругости $E$ материала					
	однородный материал				неоднородный материал	
	балочная теория		МКЭ			
	$E=2$	$E=5$	$E=2$	$E=5$	зависимость $E(x,y)$	
	ГПа				(23)	(24)
$\sigma_{xA}$ , МПа	60,0	60,0	63,9	64,0	65,0	65,8
$\sigma_{xB}$ , МПа	-60,0	-60,0	-63,9	-64,0	-65,0	-65,8
$f_C$ , м	-0,0332	-0,0133	-0,0333	-0,0133	-0,0156	-0,0176

На рис. 4 приведены эпюры вертикального перемещения  $V$  точек пластины, расположенных на линии  $mn$  (см. рис. 2).

Отметим, что эпюры 2 и 3, характеризующие перемещения точек линии  $mn$  неоднородной пластины, располагаются внутри диапазона, ограниченного эпюрами 1 и 2, определяющими перемещения тех же точек пластины из однородного материала (рис. 4).

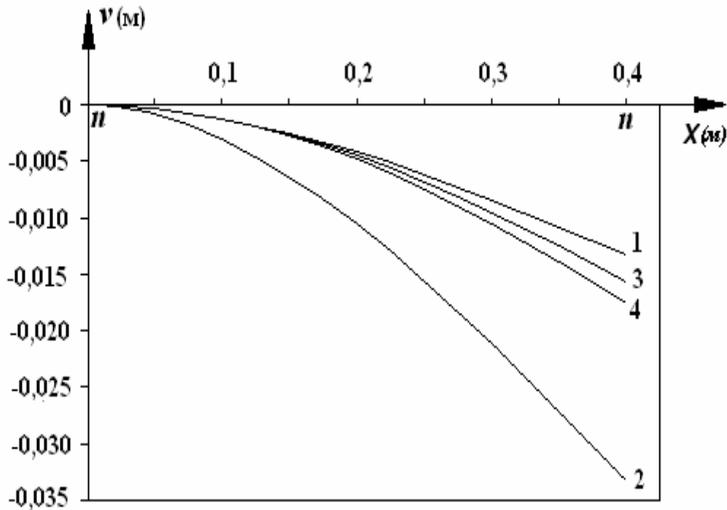


Рис. 4. Эпюры вертикального перемещения  $v$  точек линии  $\pi\pi$  пластины:

- 1 – однородный материал ( $E = 5$  ГПа);
- 2 – однородный материал ( $E = 2$  ГПа);
- 3 – неоднородный материал (зависимость (23) для функции  $E$ );
- 3 – неоднородный материал (зависимость (24) для функции  $E$ )

Результаты, приведенные в табл. 1, и эпюры перемещений, изображенные на рис. 4, показывают, что величина и закон изменения в пределах срединной плоскости пластины модуля продольной упругости материала  $E$  существенно влияют на ее напряженно-деформированное состояние.

**Вывод.** Разработан высокоточный прямоугольный КЭ с 24-я степенями свободы неоднородной пластины, предназначенный для исследования плоского напряженно-деформированного состояния прямоугольных пластин. Опыт применения указанного КЭ для решения указанной задачи показал его высокую эффективность, так как он всегда обеспечивает быструю монотонную сходимость к точному решению на грубой сетке идеализации пластины.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Скінченноелементне дослідження напружено-деформованого стану неоднорідної прямокутної пластини / Р.М. Мартиняк, М.І. Дмит-рів // Математичні методи та фізико-механіч. поля. – Львів: Видавн. Центр Ін-та прикл. проблем механіки і математики ім. Я.С. Постригача НАН України. – 2009. – № 1. – С. 107-114.*
2. *Numerical calculation of stress intensity factors in functionally graded materials / Anlas G., Santare M.H., Lambros J.// Int. J. Fract. – 2000. – 104. P. 131-143.*

*Стаття надійшла до редакції 09.12.2011*

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

УДК 69.05:658.562:728.1

В.А. Гришин, А.В. Гришин

### МОРЕ И БЕРЕГОВЫЕ СКЛОНЫ

*Рассматривается взаимодействие моря и береговых склонов.*

**Ключевые слова:** Одесские склоны, оползни, террасы, море, пляжи, стенки.

*Розглядається взаємодія моря і берегових схилів.*

**Ключові слова:** Одеські схили, зсуви, тераси, море,

*To be considered interaction of the sea and coastal slopes.*

**Keywords:** the Odessa slopes, landslips, terraces, the sea, beaches, walls.

*В береговой зоне моря осуществляется взаимодействие четырех оболочек Земли – литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы. Сложность и противоречивость этого взаимодействия имеют своим результатом высокую динамичность береговой зоны, быстрые и значительные по размаху изменения географической обстановки. Буквально на глазах у человека возникают и уничтожаются формы рельефа, создаются и исчезают геологические формации, бурно протекают сложные, нередко противоположно направленные процессы, пренебрежение которыми нередко приводит к неприятным и дорогостоящим последствиям.*

**Леонтьев О.К. “Основы геоморфологии морских берегов”**

В этой статье авторы продолжают публикации об Одесских оползнях. В данной работе будет рассматриваться только взаимодействие моря и береговых склонов, хотя имеется несколько причин, влияющих на образование оползней, но море является важным фактором из них. Работа в этом направлении будет изложена в двух статьях. В данной статье рассматривается только качественная сторона этих взаимодействий, т. е. как море способствует образованию оползней. В следующей статье будут приведены количественные исследования этих процессов, т. е. как численные расчеты подтверждают происходящие довольно сложные взаимодействия моря и склонов.

Оползни на Одесских склонах были всегда. Например, в позапрошлом веке Малый Фонтан выглядел, как показано на рисунке 1.

А на рисунке 2 он изображен уже после оползня, происшедшего несколько позже. Это был не единичный случай. Так, на рис. 3 приведен,

например, еще один, но не последний, оползень, происшедший на склонах в том же веке. Они продолжают и в настоящее время (рисунок 4). На рисунке 5 изображен сход с берегового склона на пляж небольшого оползня.



*Рис. 1. Малый Фонтан до оползня*

Давайте рассмотрим, как все это развивается во времени. На рисунке 6 приведен участок побережья после очередного оползня. Часть склона сместилась, образуя террасу оползня, на море видны гряды выпора, происшедшие вследствие сдвига массива грунта, включая его донные отложения. Деформированный склон в этом положении находится пока в наиболее устойчивом состоянии.

Затем волны моря начинают свою коварную работу (рисунок 7). Они размывают гряды выпора, уменьшая, таким образом, полезную пригрузку склона и его устойчивость. После окончания этой работы они принимаются, как показано на рисунке 8, за размыв террасы оползня, этим дополнительно ухудшая его устойчивость, и приводят склон к состоянию, близкому к виду, изображенному на рисунке 9. Еще немножко и произойдет новый оползень.



*Рис. 2. Мальный Фонтан после сошедшего оползня*



*Рис. 3. Очередной оползень на Одесском побережье*



*Рис. 4. Не первый и не последний оползень на Черноморке*



*Рис. 5. Вот так происходит небольшой оползень*



*Рис. 6. Состояние склона после происшедшего оползня*



*Рис. 7. Волны размывает гряды выпора dna моря*



*Рис. 8. Разрушение волнами моря террасы оползня*



*Рис. 9. Состояние склона, близкое к образованию нового оползня*

Если не принять своевременно меры, то лет через 30-50 весь цикл образования оползней опять повторится. Одна из возможных схем оползня с пояснениями показана на рисунке 10. Было предложено несколько противоречивых моделей оползней [1], например, в первой, разработанной аббатом Гаюи в 1830 году, море, как фактор, влияющий на их образование, даже не упоминалось. Только в работах Д.Ф. Жаринцева и И.Р. Синцова рассматривалась роль моря в развитии оползней.

Каким способом можно остановить оползни? Оградиться забором, как показано на рисунке 11, не поможет, он уже близок и опасен. Остановить разрушительное действие морских волн на береговые склоны можно только научно обоснованными методами. Рассмотрим некоторые примеры. На рисунке 12 показан мыс, который просто оброс оползнями. После его частичной перепланировки и укрепления береговой полосы, как изображено на рисунке 13, его разрушения прекратились. Доказано, что наилучшей защитой берега является широкий пляж (рисунок 14). Он гасит волны, не подпуская их к откосу, который обычно укреплен подпорной стенкой. Если допустить волны до стенки, как показано на рисунке 15, то она через некоторое время начинает размываться (рисунок 16), а затем будет разрушена, и такая же печальная участь начинает грозить уже откосу.

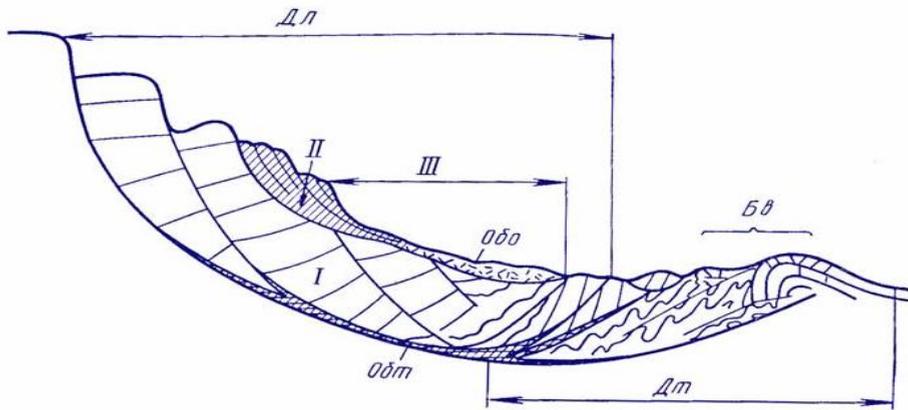


Схема сложного оползня  
(по Е. В. Шанцеру):

Дл — деляпсивная часть оползня; Дт — детрузивная часть оползня; Бв — бугор вы-

пирация; Обт — оползневые брекчи террасы; Обо — отложенные оползневые брекчи оползня поточного типа. I — крупно-блоковые оползни первой стадии; II — малые блоковые оползни второй стадии; III — поточный оползень третьей стадии.

Рис. 10. Одна из схем оползня



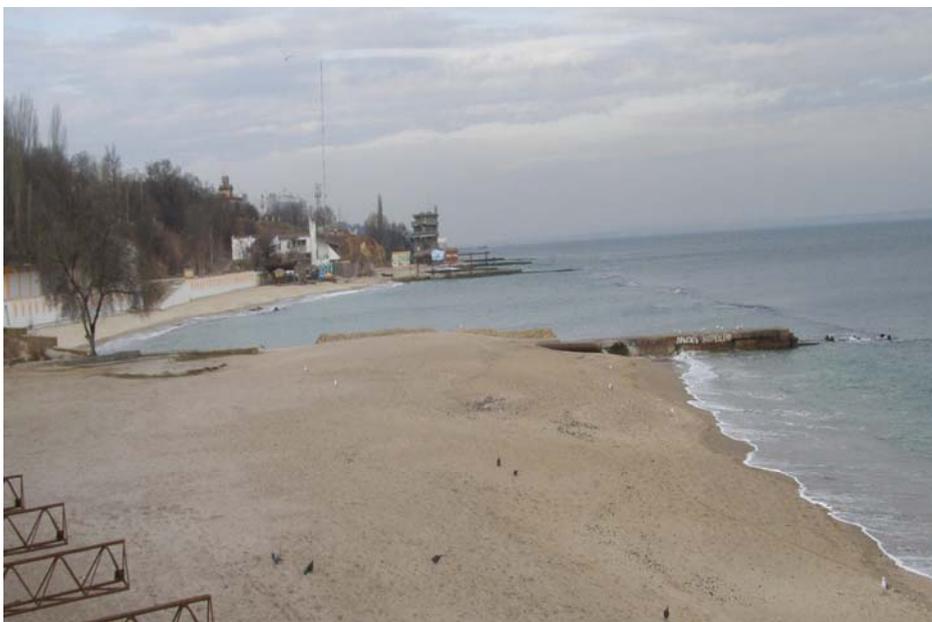
*Рис. 11. Оползень уже за забором*



*Рис. 12. Мыс, разрушаемый морем и оползнями*



*Рис. 13. Укрепление берега стенкой и массивами*



*Рис. 14. Одесский пляж в тихое осеннее время*



*Рис. 15. Начало разрушения подпорной стенки*



*Рис. 16. Вторая стадия разрушения подпорной стенки*

Данная статья, как букварь в картинках, показывает качественно влияние на образование оползней воздействия морских волн. Еще раз следует подчеркнуть, что причин разрушения склонов установлено несколько. Они в совокупности и приводят к печальным последствиям, объединенным в одно слово под названием оползни. В настоящее время предложено несколько моделей их образования. Количественная сторона рассматриваемых здесь проблем (расчеты), так и анализ существующих оползневых моделей, частично изложены в [1] и, как отмечалось выше, будут продолжены нами в следующей статье. Если кто-нибудь заинтересуется более серьезно этими вопросами, обратитесь для начала к книгам [1, 2].

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришин В.А., Снисаренко В.И. *Одесские склоны и оползни*. – К.: МП Леся, 2008. – 300 с.
2. Гришин В.А., Снисаренко В.И. *Нелинейные модели берегоукрепительных сооружений*. – К.: МП Леся, 2007. – 272 с.

*Стаття надійшла до редакції 15.02.2012*

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

УДК 624.15 624.1316

К.И. Анисимов, П.А. Устинов,  
В.П. Слободянюк, А.В. Бондаренко

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ**

*При проектировании противооползневых сооружений глубокого заложения с целью удешевления стоимости строительства проектировщики стремятся размещать свайные ряды в зоне низкого оползневого давления, что может приводить к снижению эффективности таких сооружений.*

**Ключевые слова:** оползень, противооползневые сооружения, устойчивость, оползневое давление, нагрузки, эффективность.

*При проектуванні протизсувних споруд глибокого закладення з метою здешевлення вартості будівництва проектувальники прагнуть розміщувати пальові ряди в зоні низького зсувного тиску, що може призводити до зниження ефективності таких споруд.*

**Ключові слова:** зсув, протизсувні споруди, зсувний тиск, сталість, навантаження.

*Engineers are trying to place pile rows in a area of low landslide pressure in a design of deep foundation anti-slope structures to reduce building cost. That decisions may reduce effectiveness of structures like this.*

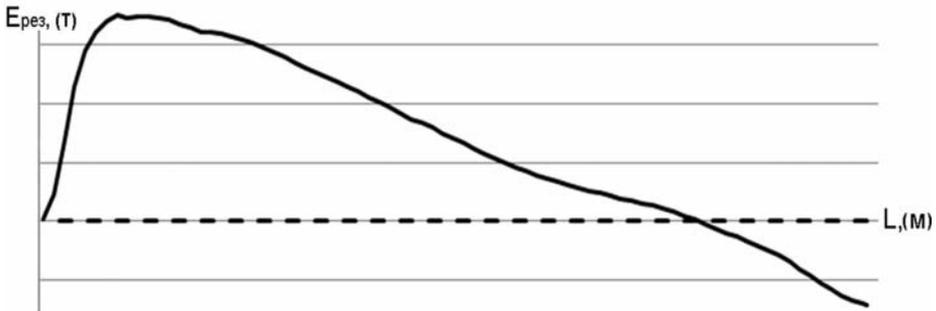
**Keywords:** landslide, landslide structures, stability, landslide pressure, loads, efficiency.

В связи с постоянно увеличивающейся техногенной нагрузкой, проблема устойчивости склонов Черноморского побережья Одесской области становится все более актуальной. Цель проделанной работы – продемонстрировать на примере эффективность противооползневых сооружений глубокого заложения, расположенных в зоне низкого оползневого давления. Задачей работы являлось предложение рекомендаций по обследованию оползневых склонов и рационального размещения противооползневых сооружений.

При проектировании противооползневых сооружений глубокого заложения в качестве нагрузки на свайные ряды принимается оползневое давление, которое представляет собой дефицит удерживающих сил в оползне при обеспечении требуемого коэффициента устойчивости всего склона. Для определения значения оползневого давления строятся эпюры оползневого давления, давления отпора грунта в контрфорсной части оползня и эпюра результирующего оползневого давления, которая является разностью данных эпюр. Физический смысл такого рас-

чета сводится к необходимости учесть все силы в оползне, включая избыток удерживающих сил в блоках, коэффициент устойчивости которых выше требуемого.

Эпюра результирующего оползневое давления ( $E_{рез}$ ) в неустойчивых склонах с частью устойчивых блоков имеет следующий характер: от верхней части оползня эпюра возрастает до максимального значения, далее эпюра ниспадает, возможно, даже приобретает положительные значения. Общий вид возможной эпюры результирующего оползневое давления для задачи описываемого типа показан на рисунке 1.



*Рис. 1. Общий вид эпюры результирующего оползневое давления*

Такие эпюры составляются для определения нагрузок на противооползневые сооружения. Совершенно естественным может являться желание размещать противооползневые сооружения в области пониженных значений оползневое давления, тем самым снижая нагрузку на свайные ряды, и, как следствие, удешевляя стоимость сооружения в целом. В результате возможного существования кривой обрушения, в контрфорсной части, проходящей перед свайным рядом происходит следующая ситуация: свайный ряд работает на удержание части оползня, находящейся ниже по движению оползня, полностью прекратив все подвижки за собой, а оползневой массив, переползая через свайный ряд, продолжает регрессивное развитие в глубь склона. Для недопущения такой ситуации необходимо производить проверку на переползание грунта через свайный ряд. Примером такой ситуации может служить оползень в городе Ильичевске Одесской области. В результате обследования склона обнаружены места расположения закольных трещин, произведена оползневая съемка с целью определения текущего состояния оползневое массива и составления расчетных схем оползня (см. рис. 2). Существующее в настоящее время противооползневое сооружение, выполненное в виде свайного ряда, находящееся в части эпюры с пониженным оползневое давлением, перед частными постройками в прибрежной полосе, никоим образом не влияет на общую устойчивость оползневое массива в целом.

Наблюдаются следующие явления:

1. Выпор грунта перед свайным рядом с систематическими повреждениями конструкций и сооружений в зоне выпора. По сути, зона выпора «переместилась» из прибрежной полосы в глубь склона и находится перед свайным рядом. Что проявляется в систематических деформациях контейнерного хозяйства, находящегося в пределах новообразованной зоны выпора.

2. Скорость движения клина обрушения в несколько возросла за счет общего уменьшения силы трения, являющейся в данном случае основной удерживающей силой по контактной поверхности клина обрушения и основания оползневого массива.



Рис. 2. Результаты визуального обследования оползневого массива

Как иллюстрация такого явления показательной будет фотография (рис. 3), на которой явно видны деформации секций ограждения территории.



Рис. 3. Деформации секций ограждения

Анализируя работы Л.К. Гинзбурга [1], и рекомендации [2] в области оползней и противооползневых сооружений, можно прийти к следующим соображениям:

1. При построении эпюр оползневого давления для, в целом неустойчивых склонов, с частью отсеков, имеющих коэффициент запаса устойчивости больше требуемого, необходимо строить три эпюры: оползневого давления, давления отпора грунта и результирующего оползневого давления.

2. Установка противооползневых конструкций может быть допустима, начиная с точки максимума эпюры результирующего оползневого давления. Возможна установка свайных рядов и ниже по склону при условии проверки возможности переползания грунта через подпорное сооружение. Таким образом, ни одна из возможных кривых обрушения выше свайного ряда при учете физико-механических характеристик нарушенной структуры грунта не должна обладать коэффициентом запаса устойчивости ниже требуемого.

3. Такие расчеты (в том числе построение эпюры оползневого давления) должны производиться для серии расчетных поперечников, назначенных с целью как можно полнее охватить все разнообразие инженерно-геологических условий площадки и возможных изменений оползневого массива. Что в первую очередь обусловлено необходимостью обеспечить надежность и эффективность работы противооползневых сооружений.

Следует отметить, что, возможно, приведенные выше противооползневые сооружения устраивались с целью защиты частных построек в прибрежной части оползневого массива. Однако, такой путь борьбы с оползнями не является последовательным и систематическим. Становится очевидным, что при решении комплексной задачи устойчивости оползневого склона, стоимость защитных сооружений может быть увеличена в разы, что конструктивно будет выражаться в устройстве нескольких свайных рядов увеличенного сечения для восприятия больших нагрузок.

**Выводы:**

1. Выполненные расчеты устойчивости и оползневого давления на рассмотренном склоне в целом коррелируются с результатами визуального и инструментального обследования. Существующие в настоящее время конструкции свайного ряда, расположенные в зоне низкого оползневого давления, показали низкую эффективность.

2. При проектировании противооползневых сооружений необходимо производить проверку на переползание грунта через противооползневое сооружение.

3. Проектирование противооползневых сооружений глубокого типа должно базироваться на достаточном расчетном обосновании. Вопрос устойчивости оползневого склона должен решаться комплексно, с учетом описанных требований по определению местоположения и действующих нагрузок на удерживающие свайные ряды.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гинзбург Л. К. Противооползневые сооружения / Л.К. Гинзбург. – Д.: Лира, 2007. – 188 с.
2. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. – М.: ЦБНТИ, 1986. – 86 с.

*Стаття надійшла до редакції 26.01.2012*

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Енергетичне та водногосподарче будівництво» Одеської державної академії будівництва та архітектури **В.С. Осадчий**.

УДК 681.518

В.В. Вычужанин

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА  
И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
СУДОВЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК**

*В статье рассмотрены методы и системы мониторинга, анализа и диагностирования технического состояния судовых энергоустановок на основе информационных технологий.*

**Ключевые слова:** *техническая диагностика, информационные технологии, мониторинг технического состояния, удаленный мониторинг, судовая энергоустановка.*

*У статті розглянуто методи і системи моніторингу, аналізу та діагностування технічного стану судових енергоустановок на основі інформаційних технологій.*

**Ключові слова:** *технічна діагностика, інформаційні технології, моніторинг технічного стану, віддалений моніторинг, суднова енергоустановка.*

*The paper considers the methods and systems for monitoring, analyzing and diagnosing the technical state of ship power plants on the basis of information technologies.*

**Keywords:** *technical diagnostics, information technology, and monitoring the technical condition, remote monitoring, marine power plant.*

**Введение.** Эффективность судового оборудования достигается при условии его высокой надежности, закладываемой при проектировании, обеспечиваемой при производстве и поддерживаемой при эксплуатации. Усложнение состава подобного оборудования сопровождается увеличением его отказов. При этом на долю судовых энергоустановок (СЭУ) приходится до 80 % от всех отказов. В этой связи наличие качественных оценок технического состояния имеет принципиальное значение для повышения эффективности СЭУ. Анализ известных оценок технического состояния СЭУ показал, что оценки имеют системные недостатки [1, 2, 4-6, 8-10]. Например, история установок ведется в судовом журнале, что затрудняет оперативную оценку их технического состояния. Для решения задач диагностирования СЭУ не установлен минимальный необходимый состав параметров. Не определены требования к полноте, точности диагностических моделей (ДМ) СЭУ. Не сформулированы требования к составу алгоритмического обеспечения по процедурам выделения трендов параметров СЭУ. Поэтому большинство ремонтов СЭУ выполняется в соответствии с регламентом или после аварии.

**Актуальность.** С точки зрения проблемы диагностирования СЭУ это сложные технологические объекты, с малой инерционностью, многорежимностью, неопределенностью поведения, большим количеством коррелированных параметров, функционирующие в напряженных, нештатных режимах. Широко используемая для диагностирования сложных объектов методологическая база основывается на подходах: поиска дефектов; проверки работоспособности; прогнозирования технического состояния [1, 2, 4-6, 8-10, 17]. Оценка состояния СЭУ в нештатных режимах для решения задач поиска дефектов, определения работоспособности и прогнозирования требует наличия заданных значений показателей диагностирования. Каждая из таких задач решается формальными методами (последовательными или комбинационными), предусматривающими формирование логических гипотез на основании анализа характера проявления отказов с последующей их проверкой.

Поскольку СЭУ характеризуется множеством параметров, значения которых могут отклоняться по случайному закону, то наиболее эффективными методами ее диагностирования являются методы, учитывающие неопределенности. Известны два основных подхода к учету неопределенностей: стохастический, использующий в своей основе вероятностное пространство случайных событий, и нечеткий, базирующийся на теории нечетких множеств. Преимущество стохастического подхода заключается в возможности его применения в условиях минимальной априорной информации о технологическом объекте, его структуре и поведении. Недостатком является применение больших объемов данных, которые невозможно получить в нештатных режимах. Достоинством диагностических методов нечеткой логики является возможность использования субъективных оценок экспертов, недостатком – ориентированность на решение задач для конкретных классов объектов [3, 8, 9]. В перечисленных методах предусмотрена возможность разработки оптимальных программ с автоматизацией процесса поиска, но недостаточно полно учитываются особенности эксплуатации СЭУ. Общими недостатками методов, учитывающих неопределенности, является не учет множества дефектов, появляющихся в процессе эксплуатации в нештатных режимах работы СЭУ, а также невозможность построения ДМ, в полной мере отражающих реальные дефекты. Кроме того, использование методов требует относительно больших затрат времени и объема измерений, высокой квалификации обслуживающего персонала.

Для успешного решения проблемы безаварийной эксплуатации судового оборудования в нештатных режимах работы необходимо использовать новые подходы, специальные методы и направления развития технической диагностики, а также максимально использовать информационные технологии (ИТ) с унификацией программных и аппаратных модулей диагностирования [4-6, 8, 9, 17]. В этой связи создание информаци-

онной среды мониторинга, анализа и диагностирования объектов, позволяющей выполнить оценку технического состояния с заданными вероятностными показателями, а также разработка информационного обеспечения для систем диагностирования технических средств с учетом реализации новых ИТ является актуальной масштабной научно-технической задачей (рис.1).

**Целью работы** является создание информационной среды мониторинга, анализа и диагностирования объектов для оценки их технического состояния с заданными вероятностными показателями.

**Изложение основного материала.** В настоящее время для оценки технического состояния СЭУ все более широко применение находят методы, основанные на удаленном мониторинге. Использование таких методов позволяет обеспечить организационную и методическую основу для решения проблемы эксплуатации оборудования по техническому состоянию, а в перспективе – по уровню функциональной надёжности [4-6]. Предпосылками к созданию технологий удаленного мониторинга являются наличие: научно-методического, алгоритмического и программного обеспечения диагностирования состояния сложных объектов; ИТ сбора, обработки и передачи данных неограниченного объема; технико-экономических условий, обеспечивающих конкурентоспособность ИТ и технологий удаленного мониторинга.



Рис. 1. Масштабность задач при мониторинге, анализе и диагностировании

Создание единой открытой платформы для систем удаленного мониторинга и диагностики машин и оборудования должно опираться на стандарты ISO в области «Condition monitoring and diagnostics of machines» [11-15]. Использование стандартной базы позволяет обеспечить унификацию подходов по получению информации с первичных средств измерения. Применение единой формы описания объектов диагностики,

точек контроля рабочих и вторичных процессов в оборудовании, а также результатов их анализа обеспечивает принятие и эффективное использование информации из различных систем мониторинга и диагностики. Кроме того, единая форма представления результатов мониторинга состояния и диагностики объектов контроля позволяет упростить прием информации из систем диагностики в системе управления объектом.

Методическое обеспечение организации удаленного мониторинга и диагностирования состояния СЭУ может основываться на использовании обобщенного алгоритма, приведенного на рис.2.

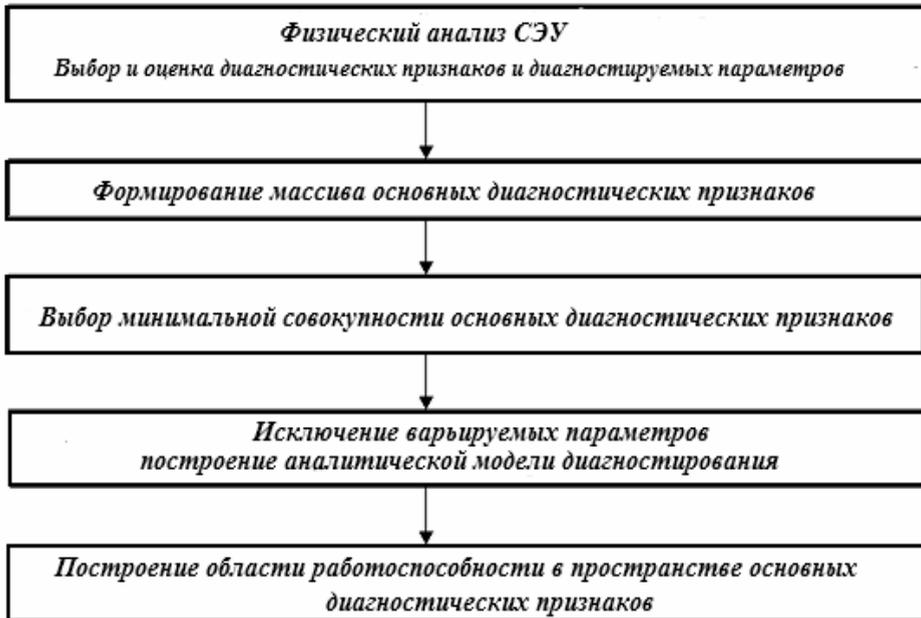


Рис. 2. Этапы построения диагностических моделей

В алгоритме предусмотрены решения задач, связанных с: формированием адекватной ДМ, устанавливающей связи между ожидаемыми воздействиями и изменяющимися свойствами; определением на основании анализа ДМ совокупности диагностических признаков, их ранжированием и установлением предельно допустимых для работоспособного состояния объекта значений; определением условий работоспособности и признаков дефектов; построением алгоритмов и разработка программ определения работоспособности, поиска дефектов и прогнозирования изменения состояния СЭУ.

Готовой частью методического обеспечения построения диагностической модели для СЭУ и их двигателей может служить «дерево отказов». При построении «дерева отказов» следует использовать принципы [7]: блочно-модульной иерархии, адаптации и развития, информационно-

го единства. Каждый модуль – это деталь (узел), выполняющий определенные функции, имеющий свою входную и выходную информацию. Например, для определения последствий отказа отдельных элементов ДВС предлагается разбивать главный двигатель (ГД) на составные части, используя опыт разбивки двигателя при анализе его надежности [7]. В результате такого расчленения ГД может быть представлен в виде иерархического графа «дерева отказов» (рис. 3).

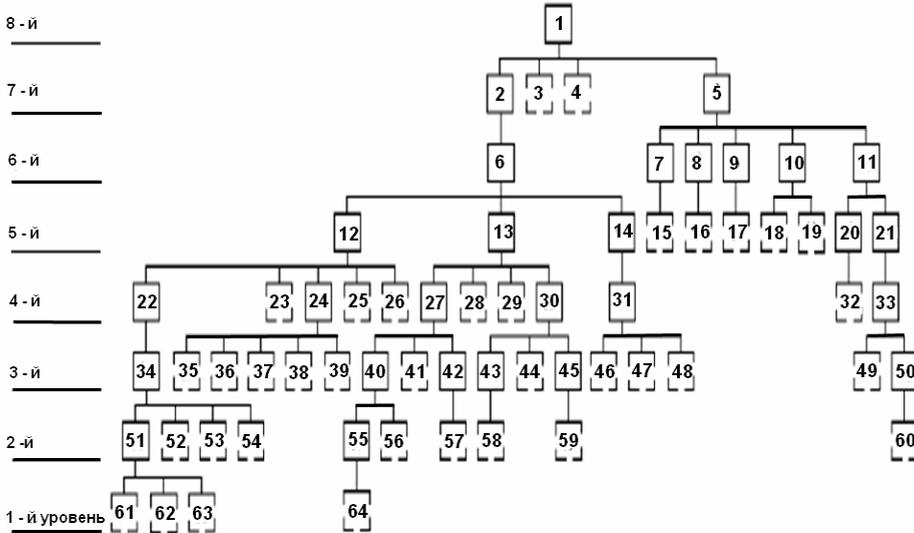


Рис. 3. Структура «дерева отказов»: 1– ГД; 2, ..., 64 – узлы дизеля

В «дереве отказов» все элементы распределены на семь уровней, восьмой (высший) уровень – это дизель. На каждом уровне располагаются элементы, обладающие структурной важностью в сценарии нарушения условий работоспособности. На низшем уровне находятся элементы, отказ которых не зависит от надежности других. Связи между элементами разных уровней «дерева» устанавливаются зависимостями на основании логики соподчиненности, рассматриваемыми в вероятностной трактовке. Информационно связав элементы «дерева отказов» с диагностическими параметрами можно постоянно осуществлять прогноз технического состояния по текущим значениям и предыстории.

Качество процессов удаленного мониторинга СЭУ во многом зависит от используемых технических средств диагностирования (ТСД). Разработка алгоритма процесса диагностирования предопределяет процесс разработки диагностического обеспечения с автоматизацией при реализации методики построения ДМ на ЭВМ. Одновременно задаются допуски на диагностические параметры в виде условий работоспособности, оказывающих влияние на выбираемую погрешность измерений ТСД.

При разработке ТСД для решения задач удаленного мониторинга и управления техническим состоянием СЭУ необходимо использовать математические модели (динамики изменения технического состояния для каждой группы узлов СЭУ как объектов управления, оперативной оценки состояния, прогнозирования технического состояния, принятия оперативного и перспективного управленческого решения и т.д.), а также информационное обеспечение математических моделей и процессов принятия решений в системе управления с программным обеспечением и базой данных, включающей результаты контроля и диагностики технологического оборудования. Структура систем удаленного мониторинга корректируется с учетом реального состояния оборудования. В частности может использоваться передача в систему стандартных оценок текущего и прогнозируемого состояния оборудования. На рис.4 представлен один из вариантов структурной схемы ТСД, состоящей из блоков: коммутации и измерений (БКИ); памяти для хранения и использования информации (БП); обработки информации (БО); индикации (БИ); генерирования тестовых сигналов (БГТ); управления (БУ); регистрации (БР).

Анализ процессов поддержания и восстановления технического состояния судового оборудования показал [7-9], что для управления их качеством необходимо использовать комбинированный подход, сочетающий робастность производственной среды с предупреждающими и корректирующими действиями и обеспечивающий естественное разделение функций между ними. Структурная схема процесса управления техническим состоянием оборудования СЭУ, отражающая комбинированный подход, представлена на рис. 5.

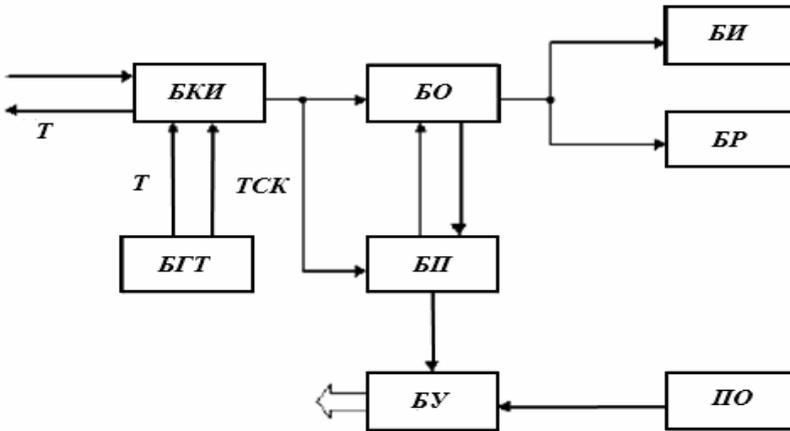
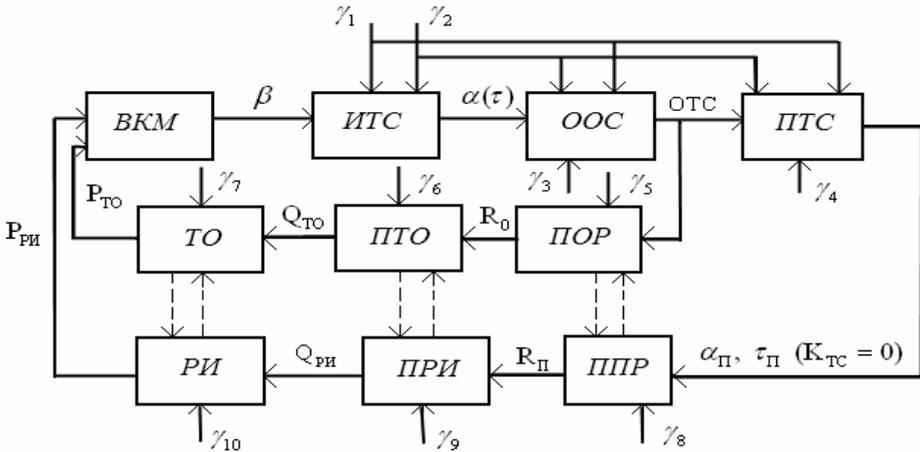


Рис. 4. Структурная схема технических средств диагностирования

На рис 5. приведены процессы: ИТС – изменения технического состояния; ООС – оперативной оценки состояния; ПТС – прогнозирования технического состояния; ПОР – принятия оперативного управленческого решения; ППР – принятия перспективного управленческого реше-

ния; ПТО – подготовки к техническому обслуживанию; ПРИ – подготовки к ремонту и испытаниям; ТО – технического обслуживания; РИ – ремонта и испытаний; ВКМ – влияния комплексов мероприятий на техническое состояние объектов).



*Рис. 5. Структура процесса управления техническим состоянием оборудования СЭУ*

На рис. 5  $\alpha(\tau)$  – совокупность показателей технического состояния; ОТС – оценки технического состояния;  $\beta$  – совокупность управляющих воздействий;  $\alpha_{\Pi}, \tau_{\Pi} (K_{TC} = 0)$  – значения показателей состояния и наработки, при которых остаточный ресурс будет исчерпан (результат прогнозирования);  $R_0$  – оперативное управленческое решение;  $R_{\Pi}$  – перспективное управленческое решение; сигналы:  $Q_{ТО}$  – готовности к техническому обслуживанию;  $Q_{РИ}$  – готовности к ремонту и испытаниям;  $R_{ТО}$  – окончания выполнения мероприятий по техническому обслуживанию;  $R_{РИ}$  – окончания выполнения ремонтных работ и проведения испытаний;  $\gamma_1$  – условия эксплуатации объектов;  $\gamma_2$  – режимы работы объекта;  $\gamma_3, \gamma_4$  – нормативные базы оперативной оценки; критерии:  $\gamma_5$  – принятия оперативного управленческого решения;  $\gamma_6$  – подготовки к техническому обслуживанию;  $\gamma_7$  – качества технического обслуживания;  $\gamma_8$  – принятия перспективного управленческого решения;  $\gamma_9$  – подготовки к ремонту;  $\gamma_{10}$  – качества ремонта и испытаний.

Структура ИТ удаленного мониторинга может состоять из центра мониторинга, анализа и диагностики в специализированной организации и локальных судовых систем мониторинга и диагностики, связанных с центром каналами связи. Локальная система мониторинга и диагностики может содержать рабочую станцию диагностики на основе ЭЦВМ, связанную с центром и техническими средствами, установленными на СЭУ для решения локальных задач мониторинга. В центре диагностики устанавливаются удаленные терминалы (рис.6). Аппаратная конфигурация системы имеет структуру, показанную на рис.7. Соответствующая схема обработки сигналов приведена на рис.8.

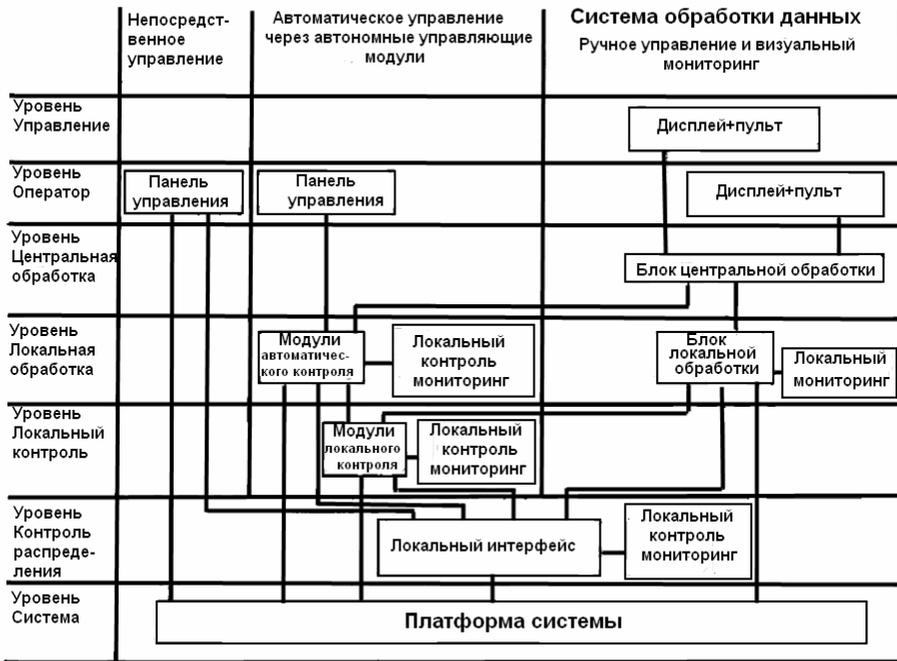


Рис. 6. Структура ИТ удаленного мониторинга

Информацию, получаемую в процессе удаленного мониторинга, можно разделить на информацию о технических параметрах исследуемых СЭУ и информацию об изменяемых воздействиях и режимах их функционирования. Экспресс-анализ измерительной информации может выполняться в режимах on-line и off-line.

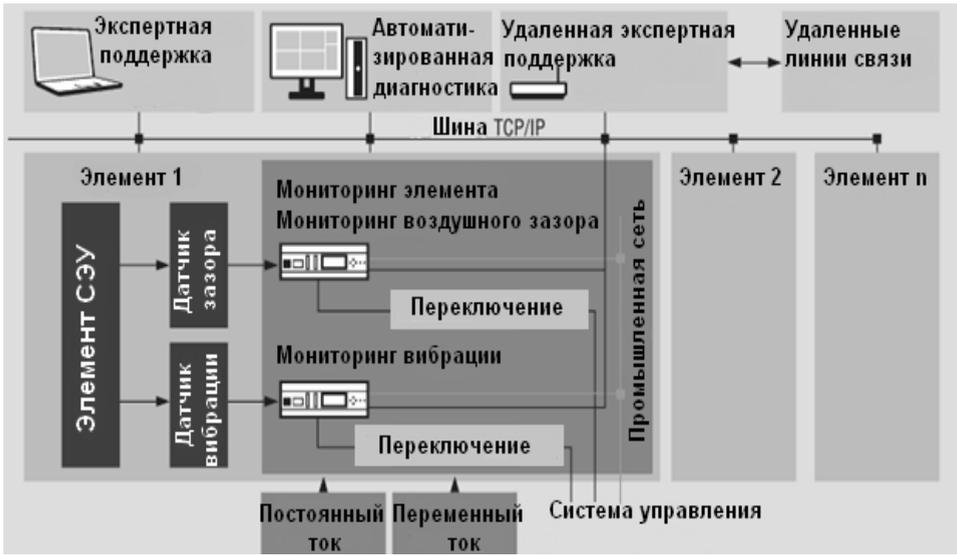


Рис. 7. Аппаратная конфигурация системы удаленного мониторинга, анализа и диагностики

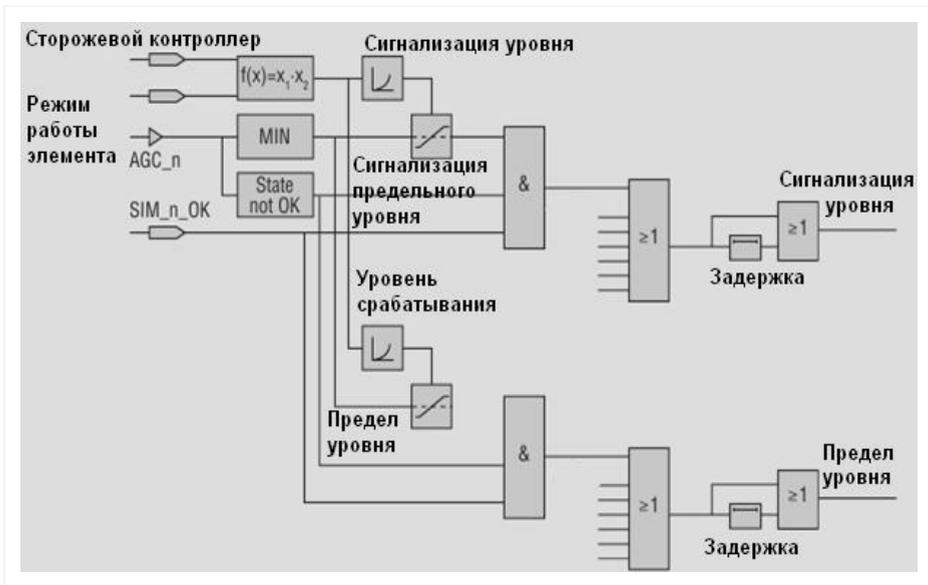


Рис. 8. Схема обработки сигналов в системе удаленного мониторинга, анализа и диагностики

Програмное обеспечение удаленного мониторинга состояния и диагностики СЭУ должно предусматривать:

- автоматическую диагностику и прогноз состояния оборудования и его узлов по результатам измерений вторичных процессов по требованиям, предъявляемым программой в виде заданий на измерения;
- экспертную оценку состояния оборудования по совокупности алгоритмов, предлагаемых разработчиками программы, с учетом ее редактирования и дополнительных алгоритмов, предлагаемых пользователями программы для экспертной оценки состояния;
- возможность работы с системой удаленным экспертам по стандартным линиям связи и Интернету;
- предоставление текущей информации о состоянии оборудования и результатах его прогноза в информационные системы удаленного мониторинга состояния и диагностики в стандартизированной форме.

Необходимое алгоритмическое и программное обеспечение следует разрабатывать применительно к процедурам: локализации и поиска дефектов; контроля и оценки работоспособности оборудования; прогноза возможных дефектов и регулирования запаса работоспособности. В настоящее время создано программное обеспечение АСУ техническим обслуживанием и ремонтом судов. Наиболее распространенными являются программные комплексы AMOS for Windows и TRIM. Для наполнения указанных программных «оболочек» необходима формализация процессов, протекающих в звеньях системы управления техническим состоянием СЭУ.

Источниками информации для открытой корпоративной системы удаленного мониторинга СЭУ могут быть результаты:

- входного контроля нового оборудования и оборудования после ремонта в виде данных первичных измерений и/или результатов анализа параметров рабочих и/или вторичных процессов;
- периодически проводимых неразрушающих испытаний оборудования, включая результаты выборочного неразрушающего контроля;
- измерений и диагностики во время наладочных работ перед запуском оборудования в работу.

А также данные:

- по наработке оборудования, замечания обслуживающего персонала по результатам визуальных осмотров, обслуживаний и ремонтов;
- средств измерений систем управления оборудованием и решения, принимаемые системой аварийной сигнализации и защиты;
- периодических измерений средствами контроля основных параметров оборудования (переносных и стационарных средств мониторинга);
- периодических измерений и обследований, выполняемых в рамках экспертной диагностики оборудования.

В качестве типовых средств измерения для системы удаленного мониторинга и диагностики, передающих информацию на уровне сигналов используются виброанализаторы для измерения и анализа вибрации, тока и акустической эмиссии, тепловизоры, а также эндоскопы с фото или телеприемниками. В качестве типовых средств количественного анализа, периодически передающих результаты измерений в систему, могут использоваться средства контроля рабочих процессов, температуры отдельных узлов оборудования, средства анализа смазки.

Реализовать структуру ИТ удаленного мониторинга можно, например в открытой корпоративной системе дистанционного автоматического управления СЭУ с подсистемой контроля эксплуатационных параметров – ABB-Remote Control System – ABB Marine, функционирующей совместно с системой контроля работы гребного винта, турбокомпрессора, генератора тока и дизельного двигателя – NORIS [16, 18].

Принцип действия таких систем состоит в сборе информации о техническом состоянии судового оборудования, поступающей как от штатных контрольно-измерительных приборов, так и от специальных датчиков, а также в сравнении полученной информации с эталонной, характеризующей состояние нового оборудования. В зависимости от результатов сравнения по заранее составленным алгоритмам вырабатывается заключение о работоспособности оборудования.

На рис. 9 представлена диаграмма потоков информационных сигналов с преобразованием между регулятором скорости вращения главного дизельного двигателя, блоком управления гребным винтом с регулировкой шага и системой мониторинга NORIS.

На рис. 10 представлены результаты диагностического контроля эксплуатационных параметров в системе мониторинга NORIS с дизельным двигателем B&W типа MANN 8L56: 1 – частота вращения вала ГД; 2 – давление подачи воздуха, 3 – управление давлением воздуха, 4 – настройка угла винта.

Полученные данные диагностического контроля эксплуатационных параметров (рис.10) свидетельствуют о нарушениях в работе ГД, проявляющихся в коротких устойчивых изменениях скорости вращения основного вала двигателя, отсутствии ротационной стабильности скорости вала двигателя. Выполненный анализ результатов обработки отказов ГД позволил сделать следующие основные выводы. Вероятности отказов на основе статистических данных не дают объективной информации и не могут быть использованы для прогнозирования отказов других двигателей и планирования технического обслуживания по состоянию. Однако вероятности отказов позволяют выявить основные причины отказов. К таким причинам относятся усталостные изменения материала деталей, износ сопряженных узлов, повышенная вибрация, термические напряжения из-за значительных градиентов температур, из-за конструктивных недостатков.

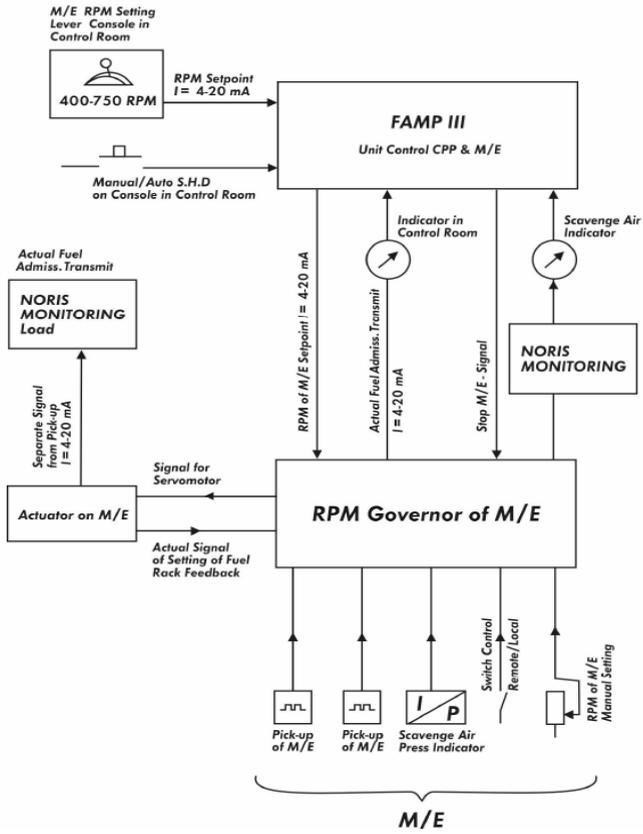


Рис. 9 . Диаграмма потоков информационных сигналов в системе мониторинга NORIS

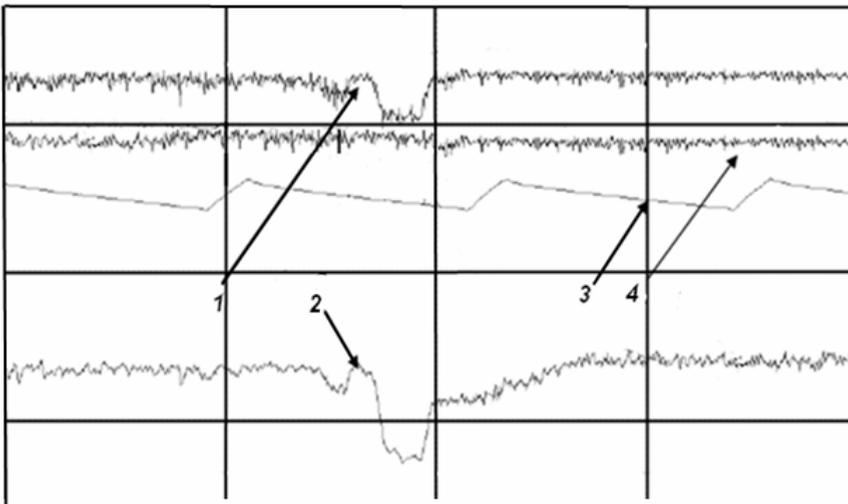


Рис. 10. Результаты контроля эксплуатационных параметров при мониторинге СЭУ

**Выводы.** Предлагаемый информационный подход для удаленного мониторинга и диагностики создает основу для реализации стратегии эксплуатации СЭУ по техническому состоянию. Основой для такого подхода становятся открытые корпоративные системы с возможностями получения информации из средств измерения и других источников, а также с возможностями передачи результатов мониторинга и диагностики в стандартной форме в информационные системы.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блинов Э.К., Розенберг Г.Ш. *Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию: Справочник.* – СПб.: Судостроение, 1992. – 189 с.
2. Веретенников Л.П. *Исследование процессов в судовых энергетических установках.* – Л.: Судостроение, 1984. – 210 с.
3. Вычужанин В.В. *Диагностика, контроль при эксплуатации и ремонте систем кондиционирования воздуха на основе гибридных нейро-нечетких экспертных систем // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць.* – 2010. – Вып. 30. – С. 100-109.
4. Гузик В.Ф., Кидалов В.И., Самойленко А.П. *Статистическая диагностика неравновесных объектов.* – СПб.: Судостроение, 2009. – 304 с.
5. Гуменюк В.М. *Надежность и диагностика электротехнических систем: Учебн. пособие для вузов.* – Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2010. – 218 с.
6. Концевич Т.Ю., Филоненко А.А., Миргород В.Ф., Ранченко Г.С. *Концепция возможности построения удаленного мониторинга ГТД в составе силовых установок наземного применения // Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – Харків: НАКУ «ХАИ», 2007. – Вып. 4 (40). – С. 49-54.
7. Медведев В.В. *Применение методологии формализованной оценки безопасности при проектировании судовой энергетической установки и ее элементов: монография.* – СПб.: Реноме, 2008. – 328 с.
8. Моек Е.Н., Штрикерт Х.А. *Техническая диагностика судовых машин и механизмов.* – Л.: Судостроение, 2005. – 328 с.
9. Портнягин Н.Н., Пюкке Г.А. *Теория и методы диагностики судовых электрических средств автоматизации.* – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2003. – 112 с.
10. Рябинин И.А., Киреев Ю.Н. *Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования: Учебник для вузов.* – Л.: Судостроение, 1974. – 264 с.
11. *Стандарт ИСО 17359-2003. Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство.*

12. *Стандарт ИСО 13371-2004. Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование развития неисправностей. Общее руководство.*
13. *Стандарт ИСО 13374. Контроль состояния и диагностика машин. Методы обработки, передачи и представления данных. Ч.1. Общее руководство. Ч.2. Общие методы обработки и анализа. Ч.3. Требования к обработке данных.*
14. *Стандарт ИСО 13379-2003. Контроль состояния и диагностика машин. Интерпретация данных и методы контроля состояния машин.*
15. *Стандарт ИСО 20958. Контроль состояния и диагностика машин. Анализ электрических параметров.*
16. *ABB Marine Rotterdam, Files on technical-motion control of the main power system with a propeller on the m/s Topaz vessel. – 218 p.*
17. *Monti A., Ponci F., Santi E. “Ship power system control: a technology assessment”, IEEE-Electric Ship Technologies Symposium, Philadelphia, 2005.*
18. *NORIS Germany, Manual for the control system of the main power system operation for m/s Topaz. – 118 p.*

*Стаття надійшла до редакції 27.01.2012*

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

УДК 621.431.74.03

В.И. Черемисин, П.В. Мельников

**МЕТОД РАСЧЕТА ПРОТЕЧЕК ТОПЛИВА  
ЧЕРЕЗ ПРЕЦИЗИОННУЮ ПАРУ РАСПЫЛИТЕЛЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ФОРСУНКИ**

*Предложена новая формула для определения протечек топлива в распылителе форсунки дизеля, полученная на основе обработки опытных данных методом теории подобия. Может использоваться в гидродинамическом методе расчета топливоподачи в дизелях.*

**Ключевые слова:** дизель, форсунка, протечки топлива, формула.

*Запропонована нова формула для визначення протікання палива у розпилювачі форсунки дизеля, що отримана на підставі оброблення даних експерименту методом теорії подібності. Може використовуватися у гідродинамічному методі розрахунку паливоподачи у дизелях.*

**Ключові слова:** дизель, форсунка, протікання палива, формула.

*A new formula for detection of fuel leakage in the engine nozzle atomizer obtained on the basis of processing of the experimental data by the method of the similarity theory is introduced. It can be used in the hydrodynamic method of calculation of fuel supply in diesel engines.*

**Keywords:** the engine, nozzle atomizer, fuel leakage, formula.

В топливных системах без разгрузки нагнетательного трубопровода от остаточного давления протечки топлива в гидравлически неплотном распылителе происходят как в процессе впрыскивания, так и в период между впрыскиваниями. Проведенные опыты по определению этих двух видов протечек и влиянию их на процесс топливоподачи [5] позволили установить, что при нахождении иглы у верхнего упора обеспечивается хорошее уплотнение, полностью устраняющее протечки топлива через распылитель. Таким образом, на режимах номинальных и средних нагрузок, когда в процессе впрыскивания игла большую часть времени находится у верхнего упора, протечки практически отсутствуют, а на процесс топливоподачи оказывают влияние только протечки топлива в период между впрыскиваниями.

В последнее время наметилась тенденция к увеличению диаметрального зазора в распылителях, что, в конечном счете, приводит к снижению остаточного давления, а, следовательно, и к увеличению неравномерности подач топлива в многоцилиндровом двигателе, так как невозможно обеспечить постоянство остаточного давления. В связи с этим необходима методика расчета протечек топлива через распылитель между впрыскиваниями. Предлагаемый метод основан на обработке опытных данных.

В связи с этим **целью настоящей статьи** является разработка методики для расчета протечек топлива через распылитель между впрыскиваниями.

Исследование выполнено на распылителе дизеля ЧН27,5/36 с набором из пяти игл, уплотняющие поверхности которых имели следующие длины:  $l = 32; 25; 22; 17,5$  и  $11$  мм. Во всех случаях были обеспечены качественное уплотнение игл по посадочному пояску и плотность нагнетательного клапана топливного насоса. Задача опытного исследования заключалась в нахождении протечек топлива между иглой и корпусом распылителя за одну секунду из системы с объемом  $V_c = 14,47 \text{ см}^3$  в зависимости от диаметрального зазора в прецизионной паре, давления затяга форсуночной пружины и от длины уплотняющей прецизионной части иглы. Каждая серия опытов проводилась при неизменном зазоре в указанных пяти парах. Изменялось лишь давление затяга форсуночной пружины от  $35 \text{ МПа}$  до  $5 \text{ МПа}$  через каждые  $5 \text{ МПа}$ .

Было проведено четыре серии опытов, в каждой из которых средние диаметральные зазоры в прецизионной паре соответствовали:  $\delta = 4; 7; 9$  и  $11$  мкм. В опытах осуществлялось единичное впрыскивание топлива. Изменение давления в системе регистрировалось тензометрическим датчиком и записывалось на осциллографе в функции от времени.

Протечки топлива за 1 секунду рассчитывались по формуле

$$G = \rho \cdot \alpha \cdot V_c \cdot \Delta p$$

где  $\rho$  – плотность топлива;

$\alpha$  – коэффициент сжимаемости топлива;

$V_c$  – объем системы;

$\Delta p$  – снижение давления в системе за счет протечек топлива через зазор в распылителе за одну секунду.

В результате исследования была получена совокупность опытных данных, связывающих четыре переменные

$$G, \delta, p_0, l,$$

где  $p_0$  – начальное давление топлива в системе перед истечением;

$l$  – длина уплотняющей части иглы;

$\delta$  – диаметральный зазор между иглой и корпусом распылителя.

Для обработки такого материала наиболее целесообразно пользоваться методами теории подобия.

Из общей системы уравнений установившегося течения вязкой несжимаемой жидкости [3] следует, что процесс течения в концентрической щели определяется следующими критериями подобия:

$$Eu, Re, \frac{\delta}{l}, \frac{\delta}{d}.$$

Производя комбинацию критериев, приводим систему к общему решению в безразмерном виде

$$Eu \cdot Re = f_1\left(\frac{1}{d}, \frac{\delta}{l}\right).$$

В качестве масштабных величин в критериях Эйлера  $Eu$  и Рейнольдса  $Re$  приняты  $w_0$  (средняя по сечению скорость жидкости),  $\nu$  (кинематическая вязкость жидкости перед входом в щель),  $\delta$  (зазор в щели),  $\rho$  (плотность жидкости перед входом в щель),  $p_0$  (давление жидкости перед щелью при условии, что давление ее за щелью равно атмосферному). Заменяя в  $Eu \cdot Re$  скорость  $w_0$  через массовый расход жидкости через щель, получим

$$w_0 = \frac{G}{\pi \cdot d \cdot \delta \cdot \rho};$$

$$Eu \cdot Re = \frac{p_0}{\rho \cdot w_0^2} \cdot \frac{w_0 \cdot \delta}{\nu} = \frac{p_0 \cdot \delta \cdot d}{\mu \cdot G} \cdot \pi.$$

Опуская безразмерную постоянную  $\pi$  и комбинируя полученный критерий с параметрическими критериями  $\left(\frac{1}{d}\right), \left(\frac{\delta}{l}\right)$  найдем окончательный вид определяемого критерия

$$Eu \cdot Re \cdot \left(\frac{\delta}{l}\right)^2 \cdot \left(\frac{l}{d}\right) = \frac{p_0 \cdot \delta^4 \cdot \rho}{\mu \cdot G \cdot l}.$$

Таким образом, решение общей системы уравнений представляется как

$$\frac{p_0 \cdot \delta^4 \cdot \rho}{\mu \cdot G \cdot l} = f_2\left(\frac{1}{d}, \frac{\delta}{l}\right). \quad (1)$$

Решение системы уравнений гидродинамики в точном виде невозможно, и эту задачу, ставшую классической, решают с определенными допущениями, полагая, что течение по оси  $x$  (направлена перпендикулярно радиусу концентрической щели) и  $y$  (направлена по радиусу) отсутствует ( $u=v=0$ ), давление в щели меняется линейно  $\left(\frac{\partial p'}{\partial z'} = \text{const}\right)$  только по оси  $z$  (направлена по течению жидкости). Тогда система приводится к виду

$$w' \cdot \frac{\partial w'}{\partial z'} \cdot \left(\frac{\delta}{l}\right) = -Eu \cdot \frac{\partial p'}{\partial z'} \cdot \left(\frac{\delta}{l}\right) + \frac{1}{Re} \cdot \frac{\partial^2 w'}{\partial y'^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial w'}{\partial z'} \cdot \frac{\delta}{l} = 0.$$

Здесь штрих у величины означает ее безразмерность. Учитывая, что

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{dp}{dz} = -\frac{p_0}{l}$$
$$\frac{\partial p'}{\partial z'} = -\left(\frac{p_0 / p_0}{l / l}\right) = -1,$$

а также второе уравнение системы (2), процесс течения жидкости в щели представим одним безразмерным уравнением

$$\frac{\partial^2 w'}{\partial y'^2} = -Eu \cdot \text{Re} \cdot \left(\frac{\delta}{l}\right),$$

решение которого

$$w' = \frac{1}{8} \cdot Eu \cdot \text{Re} \cdot \left(\frac{\delta}{l}\right) \cdot (1 - 4y'^2)$$

позволяет найти безразмерный расход через кольцевую щель

$$\frac{p_0 \cdot \delta^4 \cdot \rho}{\mu \cdot G \cdot l} = \frac{12}{\pi} \cdot \left(\frac{l}{d}\right) \cdot \left(\frac{\delta}{l}\right). \quad (3)$$

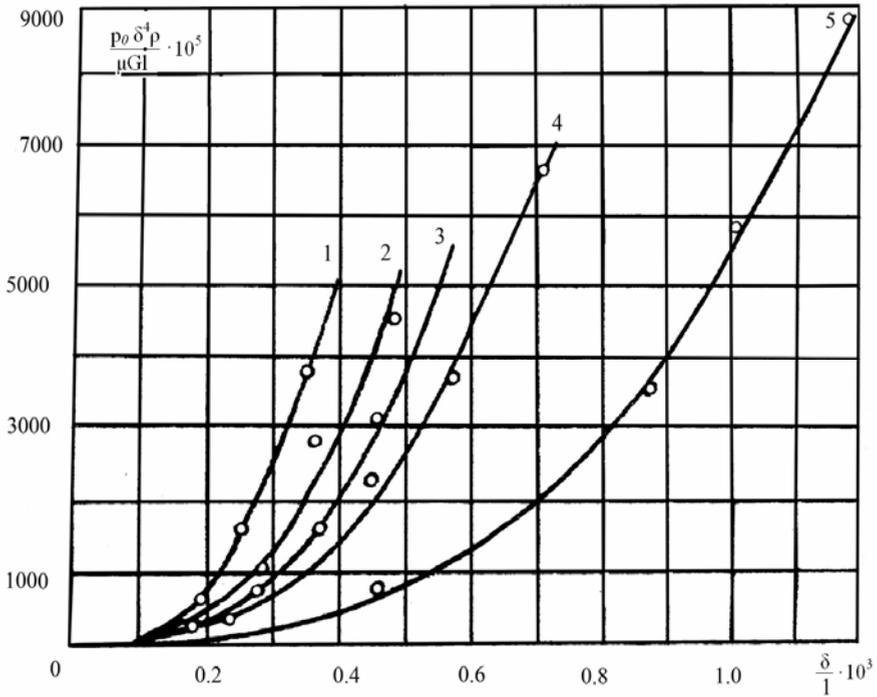
Как видно, теоретически  $f_2$  из (1) является линейной функцией параметрических критериев. В развернутом виде (3)

$$G = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{p_0 \cdot \delta^3 \cdot d \cdot \rho}{\mu \cdot l} \quad (4)$$

представляет собой известную формулу Пуазейля и ее производных [1, 3, 4].

Сопоставление теоретического решения по формуле (4) с опытными данными свидетельствует о существенном количественном и качественном их расхождении. На рис. 1 приведена критериальная зависимость протечек от параметрического критерия  $\left(\frac{\delta}{l}\right)$ . Опытные данные

образуют семейство парабол с параметром  $\left(\frac{1}{d}\right)$ , в то время как по теоретическому решению должно быть семейство прямых с угловым коэффициентом, пропорциональным  $\left(\frac{1}{d}\right)$ .



*Рис.1. Критериальная зависимость протечек топлива от параметрического критерия  $(\frac{\delta}{l})$ : 1 – при  $\frac{l}{d}=4,57$ ; 2 – при  $\frac{l}{d}=3,58$ ; 3 – при  $\frac{l}{d}=3,14$ ; 4 – при  $\frac{l}{d}=2,5$ ; 5 – при  $\frac{l}{d}=1,57$*

Следует заметить, что полученный определяемый критерий  $\frac{p_0 \cdot \delta^4 \cdot \rho}{\mu \cdot G \cdot l} / (\frac{l}{d})^{2,28}$ , очень хорошо "стягивает" совокупности опытов с различными значениями  $p_0$ , которое в опытах варьировалось в достаточно широких пределах (5-35 МПа).

Обработка опытных данных в логарифмических координатах позволила установить действительные показатели степени в параметрических критериях и записать общую критериальную формулу протечек через щель

$$\frac{p_0 \cdot \delta^4 \cdot \rho}{\mu \cdot G \cdot l} = 1,738 \cdot 10^6 \cdot (\frac{l}{d})^{2,28} \cdot (\frac{\delta}{l})^{2,65}. \quad (5)$$

На рис. 2 сопоставлены опытные данные с аппроксимирующей кривой 1. Максимальное отклонение опытных точек от кривой – 11 %, среднеквадратичное – 3 %. На вышеприведенных рисунках точками обо-

значены среднеарифметические значения критериев по отдельным сериям. Всего обработана 131 опытная точка. Максимальное и среднеквадратичное отклонения опытных точек рассчитывались по истинным значениям приведенных критериев.

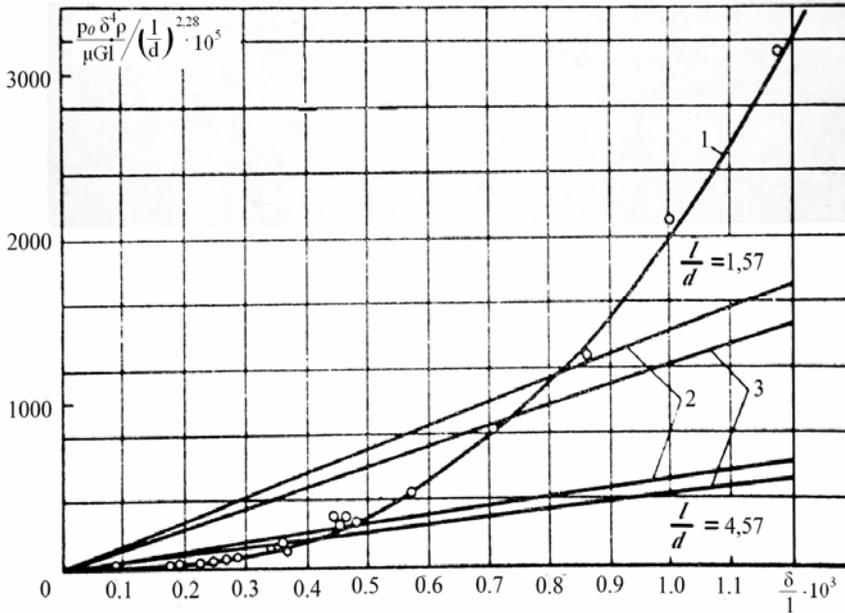


Рис. 2. Обобщенная критериальная зависимость протечек топлива в прецизионной паре игла – направляющая:  
1 – аппроксимирующая кривая по формуле (5);  
2 – расчетная область по формуле Г.Л. Соскинды;  
3 – расчетная область по формуле Пуазейля

На рис. 2 также показана область расчетных значений относительных протечек по формуле Пуазейля [3] и Соскинды [4]. Как видно, результаты по формулам этих авторов очень близки между собой и существенно отличаются от опытных данных. В области  $(\frac{\delta}{l}) < 0,6$  теоретическое решение в среднем превышает эксперимент в три раза, а в области  $(\frac{\delta}{l}) > 0,6$  – теоретическое решение меньше в два раза. Это расхождение вызвано допущениями, принятыми при решении системы уравнений гидродинамики. Очевидно, пренебрегать поперечной составляющей скорости течения жидкости  $v$  (по оси  $y$ ) нельзя. Проходное сечение щели по оси  $z$  не остается постоянным – оно может изменяться как из-за геометрических погрешностей деталей, так и в связи с явлением облитерации тонких зазоров. "Зарастание" щели полярно-активными молекулам не

может быть равномерным по длине, так как наиболее вероятна интенсивность облитерации на входе в щель. Тогда при строгой геометрической параллельности стенок щель представит собой диффузор, в котором

$$\frac{\partial w}{\partial z} \neq 0, v \neq 0 \text{ и } \frac{\partial p}{\partial z} \neq \text{const.}$$

Но в этом случае система уравнений гидродинамики оказывается настолько сложной, что единственным методом ее разрешения является метод подобия, который и был применен для описания исследуемого процесса.

Формула (5), решенная относительно  $G$ , имеет вид

$$G = 0.575 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{p_0 \cdot \delta^{1,35} \cdot d^{2,28} \cdot \rho}{\mu \cdot l^{0,63}}. \quad (6)$$

Как видно, протечки в значительно меньшей степени зависят от величины диаметрального зазора  $\delta$ , чем это дается формулой Пуазейля: при увеличении зазора в 2 раза протечки возрастают не в 8 раз, а 2,5 раза, а при увеличении  $\delta$  в 3 раза – не в 27 раз, а всего в 4,4 раза. На меньшую степень влияния  $\delta$  указывал Гуревич Д.Ф. [2], основываясь на обработке опытных данных по протечкам через гладкую плунжерную пару.

Полученный результат свидетельствует о возможности снижении жестких требований ГОСТа 9928-71 на гидравлическую плотность распылителей, а также увеличения срока службы этих пар в эксплуатации за счет изменения браковочных признаков по гидравлической плотности.

Используя формулу (6), можно определить падение остаточного давления в топливной системе высокого давления между впрыскиваниями. Из уравнения сжимаемости следует

$$\alpha \cdot V_c \cdot \rho \cdot dp = dG = -G \cdot dt$$
$$p = p_0 - \frac{G \cdot t}{\alpha \cdot V_c \cdot \rho}.$$

Учитывая (6), получаем

$$p = p_0 \cdot \left(1 - 0.575 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\delta^{1,35} \cdot d^{2,28}}{\alpha \cdot V_c \cdot \mu \cdot l^{0,63}} \cdot t\right). \quad (7)$$

Как видно, в этом решении падение давления в топливной системе по времени подчиняется линейному закону. Опытные данные строго не следуют этой закономерности. Из рис. 3 видно, что изменение давления после посадки иглы (если отсутствуют волновые явления) протекает по линии небольшой кривизны и замена ее прямой даже в большом диапазоне времени, превышающем реальные промежутки между впрыскиваниями в малооборотном двигателе в 2-3 раза, приводит к незначительной погрешности, составляющей не более 4 %, даже при  $l = 32$  мм и  $\delta = 11$  мкм. При наличии волновых явлений после посадки иглы расчет по формуле (7) даст прямую расположения средних точек амплитуд давления.

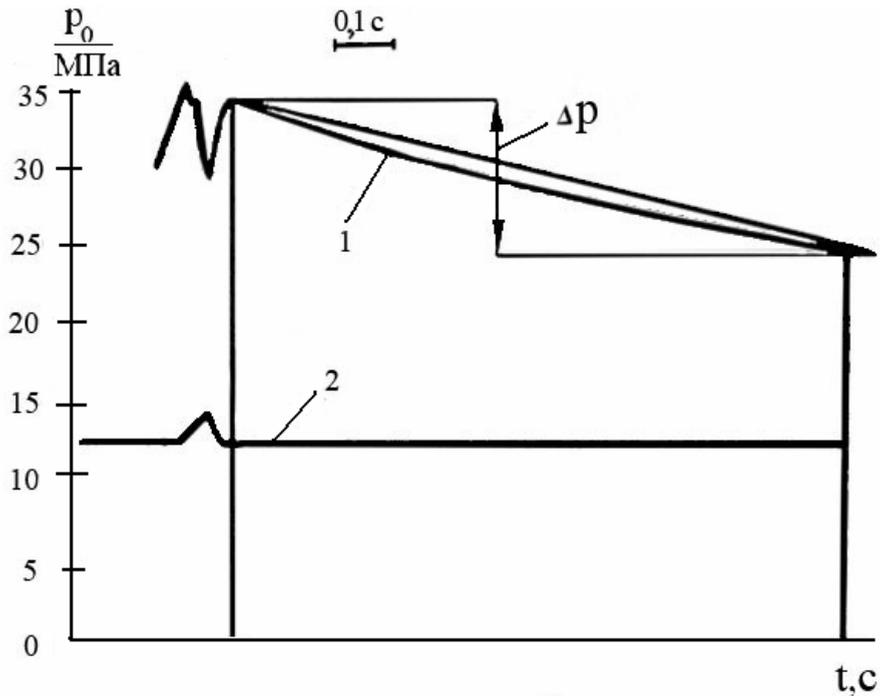


Рис. 3. Осциллограмма изменения остаточного давления в топливной системе после посадки иглы при  $l = 32$  мм и  $\delta = 11$  мкм:  
1 – остаточное давление; 2 – подъем иглы форсунки

Проведенная работа дает основание сделать следующие **выводы**.

1. Критериальная формула протечек топлива через кольцевую цилиндрическую щель может быть использована при расчетах топливных систем высокого давления дизелей с пониженной гидравлической плотностью распылителей форсунок.

2. Полученный результат свидетельствует о возможности снижения жестких требований ГОСТ 9928-71 к гидравлической плотности распылителей.

3. Экспериментально установлена возможность увеличения срока службы прецизионных пар «игла – корпус распылителя» в эксплуатации за счет изменения браковочных признаков по гидравлической плотности.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Башта Т.М. и др. Объемные гидравлические приводы. – М.: Машиностроение, 1969. – 628 с.
2. Гуревич Д.Ф. Гидравлическая плотность цилиндрически: со-пряжений с малыми зазорами // Вестник машиностроения. – 1964. – № 10. – С. 33-36.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 784 с.
4. Соскинд Г.Л. Влияние плотности распылители на утечки топлива вдоль иглы форсунки дизеля // Тр. Таллинского политехнического института. Серия А. – № 224. – 1965. – С. 11-19.
5. Фомин Ю.Я. Распределение утечек топлива через распылитель дизельной форсунки // Тр. ЦНИТА. – 1974. – Вып. 60. – С. 8-12.

*Стаття надійшла до редакції 25.01.2012*

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

УДК621.65.038:621.431.74

В.Г. Сиверин

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДА РАСЧЕТА  
ПРОЦЕССА ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМОЙ  
С РАЗЛИЧНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ НАГНЕТАТЕЛЬНОГО КЛАПАНА  
И РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

*В статье рассмотрена экспериментальная проверка метода расчета влияния месторасположения нагнетательного клапана на процесс топливоподачи и результаты теоретического исследования.*

**Ключевые слова:** методика расчета, топливоподача, процесс впрыскивания.

*У статті розглянута експериментальна перевірка методики розрахунку впливу місця положення нагнітального клапану на процес паливоподачі та результати теоретичного дослідження.*

**Ключові слова:** методика розрахунку, паливоподача, процес впорскування.

*Here is given the information of experimental result of methodology calculation of fuel valve location on a process of injection and result of the theoretical investigation.*

**Keywords:** method calculation, fuel injection, the process of injection.

**Постановка проблемы в общем виде.** С целью проверки адекватности разработанной математической модели процесса впрыскивания топлива, был проведен эксперимент, который подтвердил работоспособность данной модели, кроме того были проведены широкие расчетно-аналитические исследования.

**Анализ публикаций.** В области расчетно-аналитических исследований топливной аппаратуры дизелей, имеется достаточно научных публикаций, где рассматриваются основные направления совершенствования и оптимизации параметров процесса впрыскивания топлива топливной аппаратурой [1-3].

**Цель** данной статьи – произвести экспериментальную проверку метода расчета, который позволит проводить расчетно-аналитические исследования и сократить затраты на экспериментальные исследования, а также оптимизировать выбор параметров процесса впрыскивания топлива.

**Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Экспериментальная проверка разработанной методики процесса впрыска была осуществлена на целом ряде

топливоподающих систем разветвленного и обычного типа, в которых нагнетательный клапан размещался или перед форсункой, или непосредственно в форсунке. При этом целью ставилось осуществить проверку на большем числе топливных систем, отличающихся как конструктивно (количество форсунок, нагнетательными клапанами и др.), так и основными параметрами в широком диапазоне цикловых подач, нагрузок и частот вращения распределительного вала.

Проверка осуществлялась как на опытных системах, на лабораторных стендах, которые позволяли выполнять эти требования, так и на топливоподающих системах судовых дизелей.

Одна из опытных топливных систем разветвленного типа состояла из золотникового насоса дизеля NVD 48 с автоматическим всасывающим клапаном и двух форсунок закрытого типа дизеля Шкода 6S275L, впереди которых были установлены нагнетательные клапаны от топливного насоса дизеля Шкода 6S275L. Длина основного нагнетательного трубопровода равнялась 1310 мм, а ответвленных – 775 и 840 мм. Эффективное сечение распылителей 0,00276 см<sup>2</sup> для форсунки № 1 и 0,00232 см<sup>2</sup> для форсунки № 2. Давление начала подъема иглы было установлено 22 МПа.

Результаты сравнения расчетных характеристик с опытными характеристиками для трех режимов приведены в табл.1, а совмещенные осциллограммы для режима  $n = 130 \text{ мин}^{-1}$  – на рис.1. Начало отсчета угла поворота кулачковой шайбы соответствует началу подъема плунжера топливного насоса. Из табл. 1 и рис.1 видно, что разность между расчетными и опытными значениями давления топлива в различных точках системы не превышает 1,5 МПа (за исключением лишь одного случая, когда разность давления достигала 2,5 МПа), а разность значений углов продолжительности подъема нагнетательного клапана (до 1<sup>0</sup>). Следовательно, отклонения расчетных значений основных характеристик впрыска (максимального давления топлива в насосе и форсунке, продолжительности впрыска и цикловой подачи) от опытных значений не превышает  $\pm 8 \%$  и находятся в пределах погрешности замера последних. Аналитическое исследование проводилось на математической модели и опубликовано [6].

Результаты сравнения расчетных характеристик с опытными для двух режимов винтовой характеристики опытной топливной системы дизеля NVD 48 (неразветвленная система), дизеля 6 ДКРН 75/160 в двух вариантах (разветвленная и неразветвленная системы) и дизеля 8 ДКРН 74/160-2 (разветвленная система), приведены в табл.2, а на рис.2 и 3 представлены в качестве примера совмещенные кривые основных параметров процесса впрыска, полученных расчетным путем (пунктирные линии) и осциллографированием (сплошные линии), разветвленной и обычной систем дизеля 6 ДКРН 75/160.

Основные данные по характеристикам рассматриваемых топливоподающих систем приведены в табл.2.

Таблиця 1

*Расчетные и опытные характеристики впрыска топлива*

Наименование параметра	Режим испытания					
	n = 170 мин <sup>-1</sup>		n = 130 мин <sup>-1</sup>		n = 170 мин <sup>-1</sup>	
	расчет	опыт	расчет	опыт	расчет	опыт
Цикловая подача, $q_{ц}$ , г	0,952	0,93	0,889	0,89	0,80	0,802
Максимальное давление топлива в насосе, $p_n$ , МПа	36,0	35,3	38,0	36,5	38,0	37,5
Максимальное давление топлива в распределительной камере, $p_p$ , МПа	30,0	30,8	32,0	31,0	35,0	32,5
Максимальное давление топлива перед клапаном форсунки № 1, $p_{к1}$ , МПа	31,5	30,0	31,0	30,8	32,0	31,8
Максимальное давление топлива после клапана, $p_{к1}$ , МПа	28,0	27,3	28,0	27,8	30,0	29,5
Максимальное давление топлива после клапана форсунки № 2, $p_{к2}$ , МПа	28,0	28,6	29,0	29,6	31,5	29,8
Максимальное давление топлива в канале сопла форсунки № 1, $p_{а1}$ , МПа	27,0	26,5	27,5	27,5	31,0	29,5
Максимальное давление топлива в канале сопла форсунки №2, $p_{а2}$ , МПа	29,0	28,2	29,0	30,5	33,0	33,0
Продолжительность впрыска форсункой № 1, $\gamma_{впрф\phi1}$ , град.	7,5	7,35	8,5	8,2	10,2	-
Продолжительность впрыска форсункой № 2, $\gamma_{впрф\phi2}$ , град.	7,5	7,4	8,5	8,7	10,2	9,85
Продолжительность подъема клапана форсунки № 1, $\gamma_{отк1}$ , град.	15,5	14,7	16	15	17,5	16,3

Таблица 2

*Параметры топливной аппаратуры*

Наименование параметров	Размерность	Опытная топливная аппаратура дизеля NVD48 (неразветвленная система)	Топливная аппаратура дизеля 6ДКРН 75/160 (разветвленная)	Топливная аппаратура дизеля 6ДКРН 75/160 (неразветвленная)	Топливная аппаратура дизеля 8ДКРН 75/160 (разветвленная)
Тип насоса	-	золотниковый	золотниковый	золотниковый	золотниковый
Диаметр плунжера	мм	21	42	42	42
Ход плунжера	мм	23	70	70	70
Диаметр отсечного окна насоса	мм	6	3,3	3,3	3,3
Максимальная скорость плунжера	м/с	0,72	1,35	1,35	1,18
Тип форсунок	-	закрытый	закрытый	закрытый	закрытый
Количество форсунок	-	1	2	1	2
Диаметр сопловых отверстий	мм	0,3	1	0,9	1
Количество сопловых отверстий	-	7	4	10	4
Диаметр иглы	мм	8	10	14	10
Ход иглы	мм	0,5	1	1	0,75
Тип сопла	-	отъемный	отъемный	неотъемный	отъемный
Давление начала подъема иглы	МПа	22	25	27	25

Таблиця 3

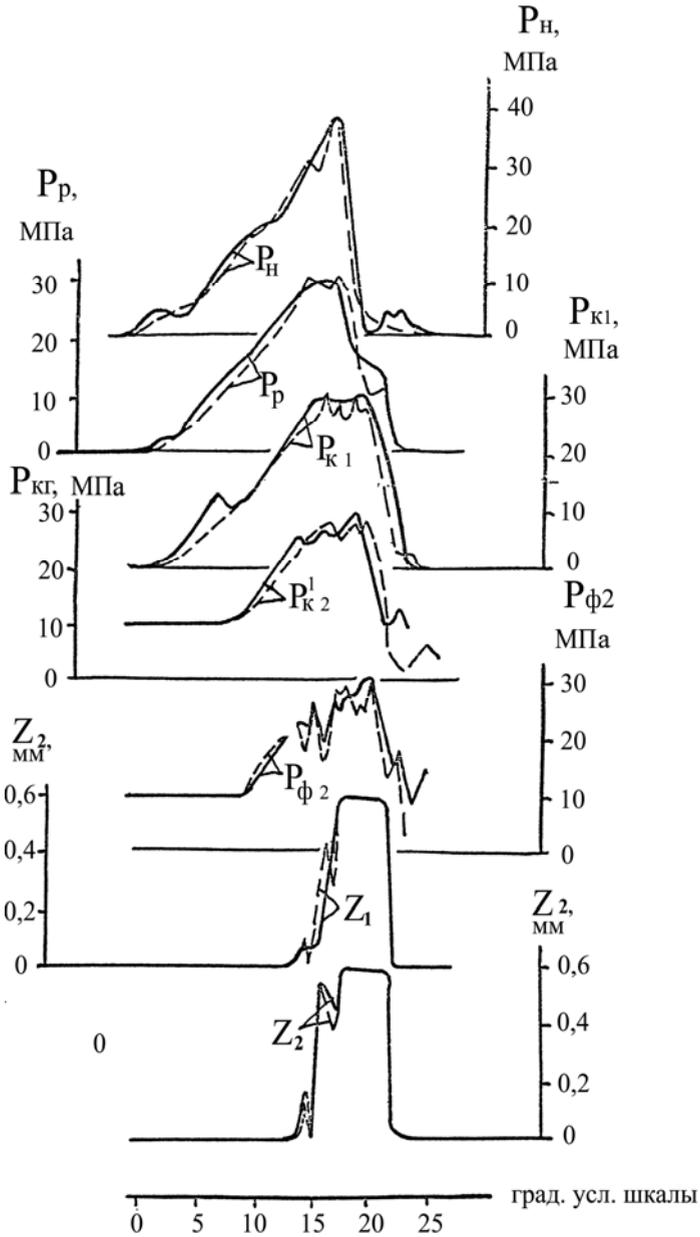
*Расчетные и опытные характеристики впрыска топлива*

Система топливоподачи	Характеристики	Нагрузка, % от $N_{\epsilon}$	Числовое значение параметра		Отклонение расчета от опыта, %
			расчет	опыт	
дизеля NVD48 (опытная)	Макс. давление топлива в насосе, $p_n$ , МПа	25 100	27,9 49,8	29,5 50,9	-5,43 -2,16
	Макс. давление в канале сопла, $p_a$ , МПа	25 100	19,1 39,9	20,6 38,3	-7,28 +4,18
	Продолжительность подачи форсункой, $\gamma_{\text{впрф}}$ , град.	25 100	4 14,5	3,84 14,68	+4,17 -1,23
дизеля 6ДКРН 75/160 (неразветвленная)	Макс. давление топлива в насосе, $p_n$ , МПа	25 100	39,4 70,8	40,6 72,1	-2,96 -1,8
	Макс. давл. перед нагнет. клапаном, $p_k$ , МПа	25 100	38,6 70,0	35,0 71,0	+10,3 -1,4
	Продолжительность подачи форсункой, $\gamma_{\text{впрф}}$ , град.	25 100	10 22	11 23	-9,1 -4,55
дизеля 6ДКРН 75/160 (разветвленная)	Макс. давление топлива в насосе, $p_n$ , МПа	25 100	40,1 71,2	37,0 70,0	+8,37 +1,72
	Макс. давл. перед нагн. клапаном носов. форсунки, $p_{kn}$ , МПа	25 100	37,4 68,2	37,4 66,3	0 +2,87
	Макс. давление перед нагн. клапаном кормовой форсунки, $p_{kk}$ , МПа	25 100	36,2 67,7	35,3 66,5	+2,55 +1,81
	Макс. давление за нагн. клапаном кормовой форсунки, $p_{kk}^1$ , МПа	25 100	- 66,7	- 65,6	- +1,68
	Продолжит. подачи носовой форсункой, $\gamma_{\text{впрфн}}$ , град.	25 100	9,0 21,6	9,82 23,4	-8,35 -7,7
	Продолжит. подачи кормовой форсункой, $\gamma_{\text{впрфк}}$ , град.	25 100	9,0 21,4	9,8 23,2	-8,36 -7,75

*Продолжение табл.3*

дизеля 8ДКРН 75/160 (разветвленная)	Макс. давление топлива в насосе, $p_n$ , МПа	25	36,5	38,0	-3,98
		100	60,6	58,5	+3,69
	Продолжит. подачи носовой форсун- кой, $\gamma_{впрфн}$ , град.	25	10,0	9,65	+4,17
		100	23	24,3	-4,77
	Продолжит. подачи кормовой фор- сункой, $\gamma_{впрфк}$ , град.	25	9,2	8,65	+6,36
		100	23	24,5	-6,13

Как видно из рис. 2, 3 и табл. 3, расчетные характеристики процесса топливоподачи вполне удовлетворительно совпадают как по характеру протекания, так и по абсолютным значениям параметров с опытными характеристиками. Отклонения абсолютных значений расчетных параметров опытных на режиме номинальной нагрузки не превышают в основном по давлению топлива (+5 %), а по продолжительности подачи ( $\pm 8$  %), т.е. находятся в пределах погрешности замера опытных данных. Полученные расхождения в характере протекания и в абсолютных значениях параметров процесса впрыска можно объяснить отсутствием при проведении расчетов достоверных данных по характеристикам топлив (скорости распространения волн давления  $\alpha$ , вязкости  $\nu$ , плотности  $\rho$ ), и по коэффициентам гидравлического сопротивления  $K$  трубопроводов и каналов форсунок и по коэффициентам истечения по результатам утечек (отсечных окон от плунжерной втулки в зависимости от хода плунжера  $\mu_0$  сопловых отверстий  $\mu_c$  и др.). Больше расхождение наблюдается по давлению топлива ( $\pm 10$  %) на режимах 25 % нагрузки. Но это вполне закономерно, так как с уменьшением частоты вращения распределительного вала дизеля и цикловых подач возрастает величина погрешности замера и обработки опытных данных и на процессе впрыска сильнее сказывается качество наполнения топливного насоса топливом и увеличивающиеся утечки топлива через зазоры, которые не учитываются предложенной методикой.



*Рис. 1. Процесс топливоподачи разветвленной опытной топливной системы на режиме  $n = 130 \text{ мин}^{-1}$  и  $q_{ц} = 0,89 \text{ г}$ ;  $p_H, p_{К1}, p_k^1, p_{Ф2}$  – давление топлива в насосе; в распределительной камере перед клапаном форсунки 1; за клапаном форсунки 2;  $Z_2, Z_1$  – подъемы игл форсунок 1и 2*

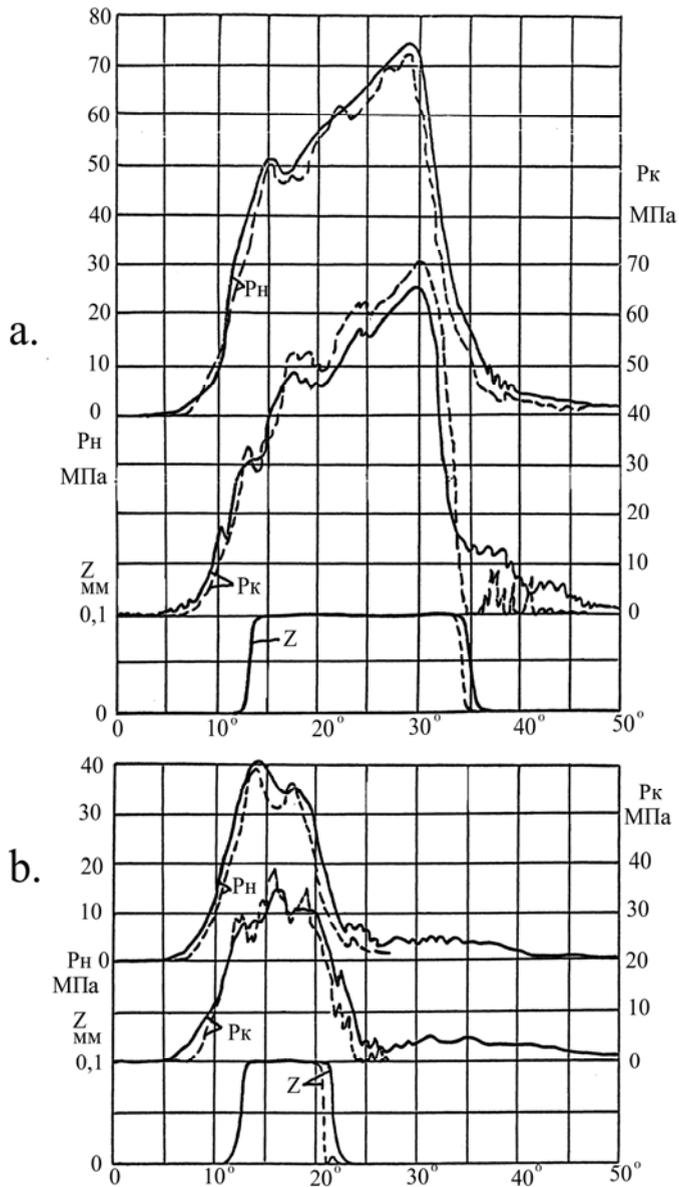


Рис.2. Процесс топливоподачи дизеля 6ДКРН 75/160  
(неразветвленная система)  
при работе по винтовой характеристике на режимах:  
а – номинальной мощности; б – 25 % мощности;  
----- – расчет; \_\_\_\_\_ – эксперимент;  $P_H, P_K$  – давление топлива в насосе,  
перед нагнетательным клапаном форсунки;  
 $Z$  – подъем иглы форсунки

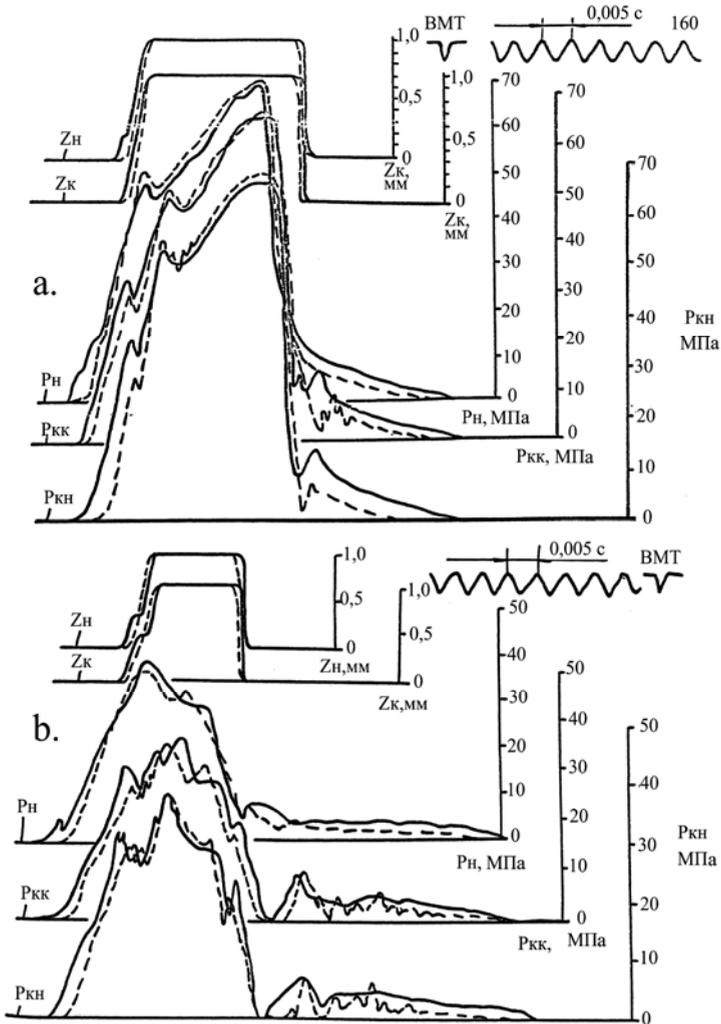
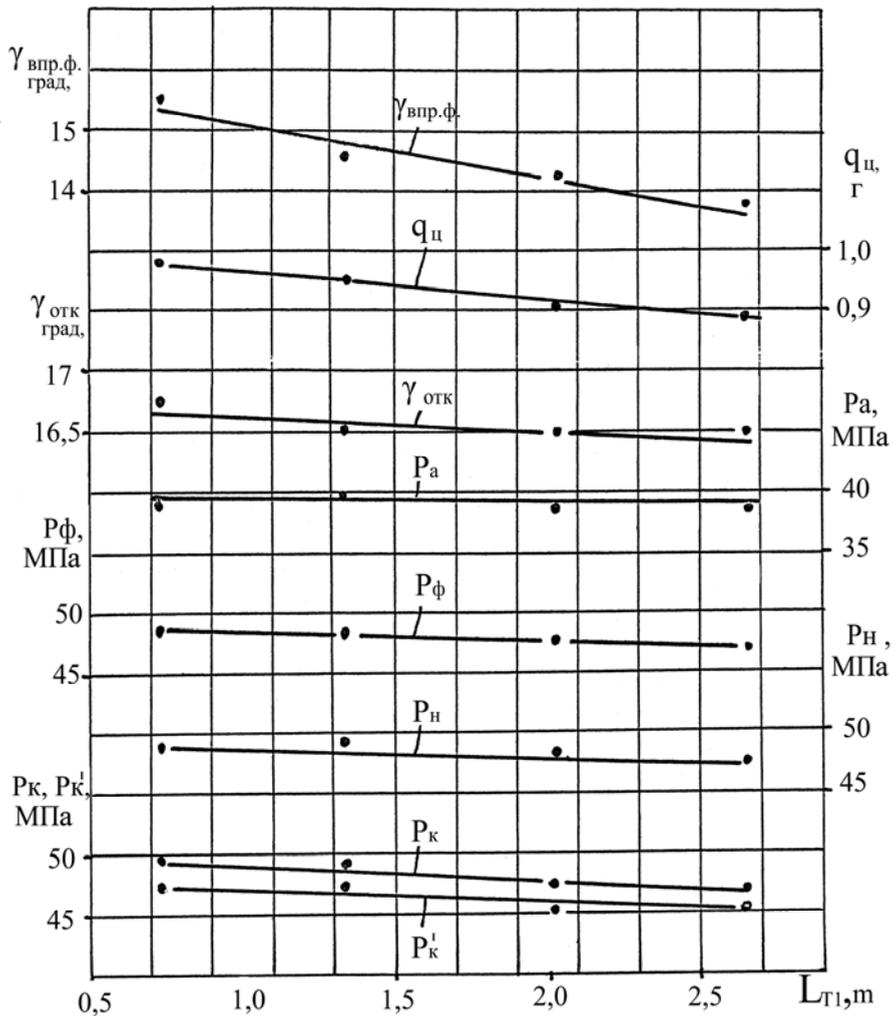


Рис.3. Процесс топливоподачи дизеля 6 ДКРН 75/160  
(разветвленная система)

при работе по винтовой характеристике на режимах:

а – номинальной мощности; б – 25 % мощности

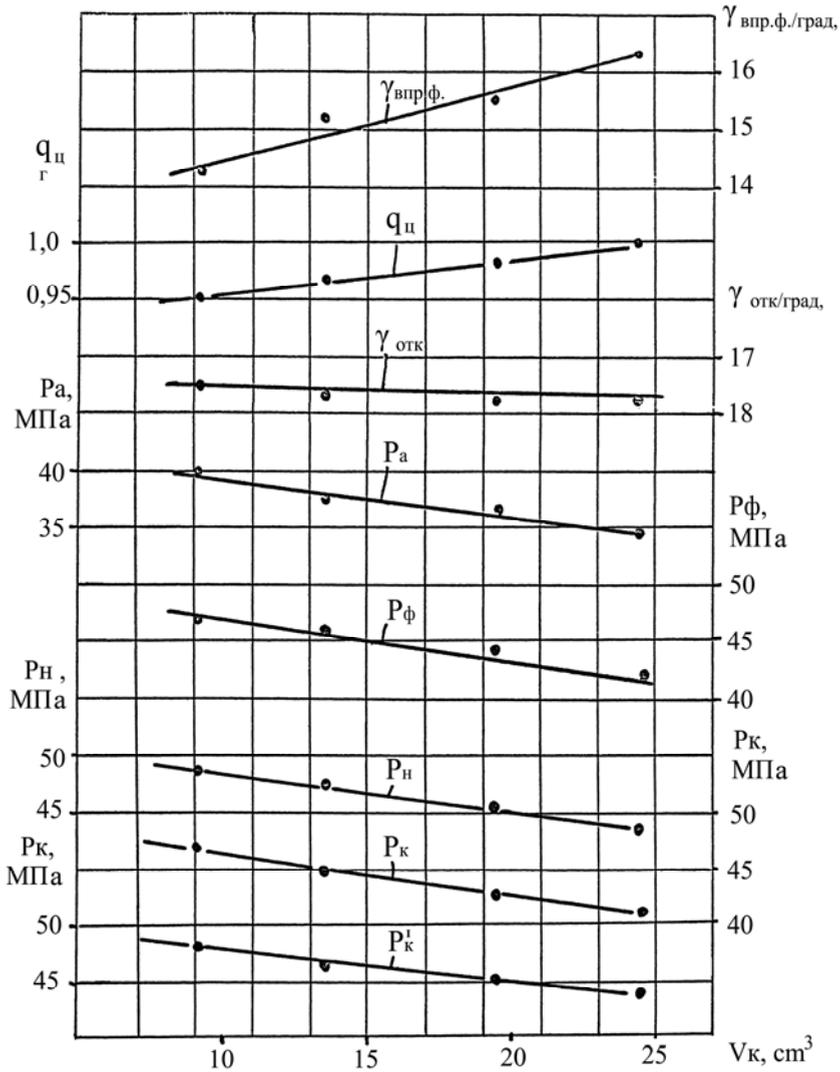
---- – расчет; \_\_\_ – эксперимент;  $P_{и}$ ,  $P_{кн}$ ,  $P_{кк}$  – давление топлива в насосе,  
перед нагнетательными клапанами носовой и кормовой форсунок;  
 $Z_{н}$ ,  $Z_{к}$  – подъем игл носовой и кормовой форсунок



*Рис.4. Влияние длины нагнетательного трубопровода от насоса до клапана на параметры процесса топливоподачи на режиме  $n = 188 \text{ мин.}^{-1}$  и закрепленной рейке топливного насоса в положении, соответствующем  $Q_{ц} = 0,95 \text{ г}$ ;*

$P_{н}, P_{к}, P_{к}^1, P_{ф}, P_a$  – давление топлива в насосе, перед клапаном, за клапаном, под иглой форсунки, в канале сопла;

$\gamma_{впр.ф.}, \gamma_{отк.}$  – продолжительность подачи топлива форсункой, открытия клапана;  $Q_{ц}$  – цикловая подача топлива



*Рис. 5. Влияние объема полости за нагнетательным клапаном на параметры процесса топливоподачи на режиме  $n=188\text{мин}^{-1}$  и закрепленной рейке топливного насоса в положении, соответствующем  $Q_{ц}=0,95 \text{ г}$ ;*

$P_n, P_k, P_k^1, P_{\phi}, P_a$  – давление топлива в насосе, перед клапаном, за клапаном, под иглой форсунки, в канале сопла;

$\gamma_{\text{впр.ф.}}, \gamma_{\text{отк}}$  – продолжительность подачи топлива форсункой, открытия клапана;  $Q_{ц}$  – цикловая подача топлива

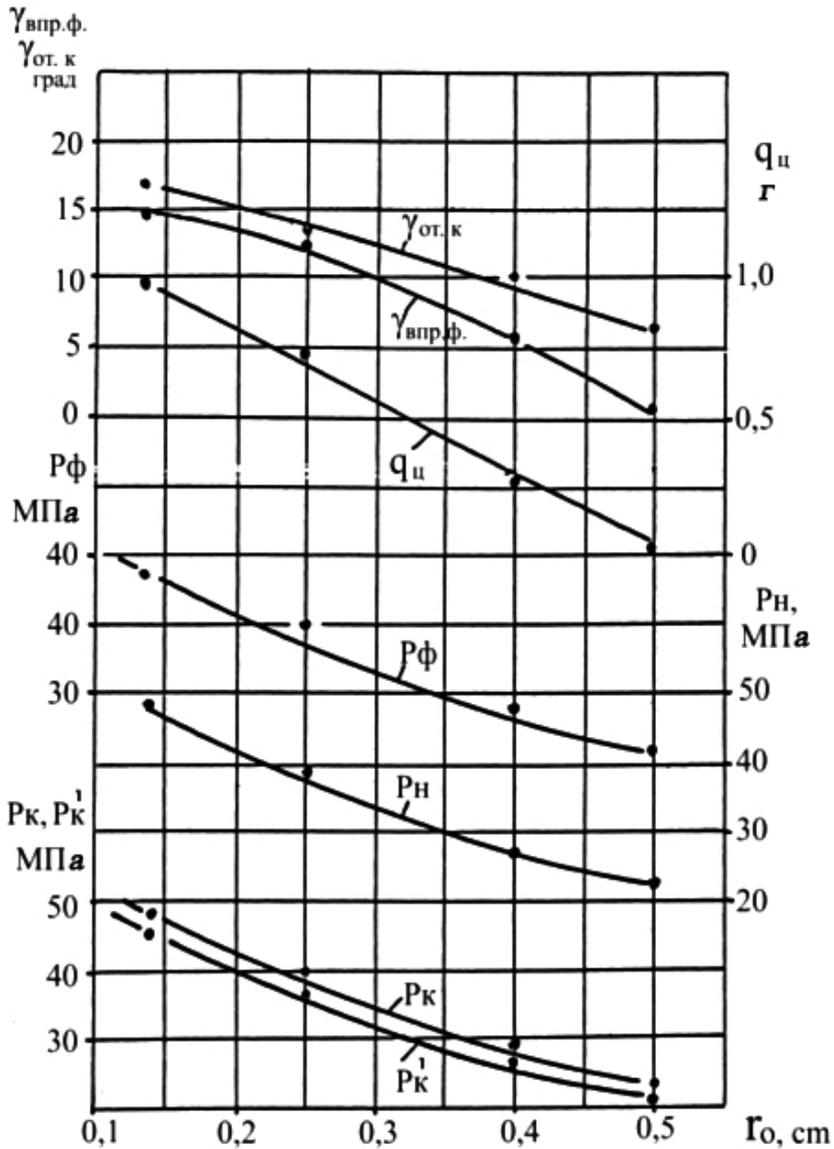


Рис.6. Влияние радиуса нагнетательного трубопровода на параметры процесса топливоподачи на режиме  $n = 188 \text{ мин}^{-1}$  и закрепленной рейке топливного насоса в положении, соответствующем  $Q_{ц} = 0,95 \text{ г}$ ;  $P_{н}, P_{к}, P_{к}^1, P_{ф}$  – давление топлива в насосе, перед клапаном, за клапаном, под иглой форсунки;  $\gamma_{впр.ф.}, \gamma_{отк}$  – продолжительность подачи топлива форсункой, открытия клапана;  $Q_{ц}$  – цикловая подача топлива

Таким образом, разработанная методика расчета при надежно заданных исходных данных обеспечивает достаточную точность расчета процесса впрыска (в пределах точности эксперимента) и может быть использована для выполнения проектных и поверочных расчетов, а также проведения аналитических исследований топливных систем судовых дизелей рассматриваемого типа.

В связи с вышесказанным было проведено и теоретическое исследование влияния некоторых конструктивных параметров топливной системы на характеристики впрыска.

После обработки результатов теоретического исследования были получены такие же выводы, как и в опытах. В качестве примера на рис.4 приведены результаты исследования влияния длины нагнетательного трубопровода от насоса до клапана  $L_{Г1}$ , а на рис.5 – полости за клапаном  $V_k^1$  на характер процесса топливоподачи. Расчеты выполнены для опытной топливной системы дизеля NVD48 при постоянной величине индексов топливного насоса.

На рис.6 представлены расчетные графические зависимости характеристик процесса впрыска от радиуса нагнетательного трубопровода  $r_0$ . В данном случае опытного исследования не проводилось.

Как видно из рис. 6, с увеличением диаметра трубопровода, когда одновременно увеличивается и объем системы, происходит снижение максимального давления топлива, цикловой подачи и продолжительности впрыска. Объясняется это увеличением влияния сжимаемости топлива.

**Выводы.** Данная методика может быть использована для анализа процессов топливоподачи в дизелях, как малооборотных, так и среднеоборотных, также подтверждена работоспособность математической модели.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фомин Ю.Я. *Гидродинамического расчета топливных систем дизелей с использованием ЭЦВМ.* – М.: Машиностроение, 1973. – 75 с.
2. Фомин Ю.Я. *Гидравлический расчет топливных систем судовых дизелей с разветвленными нагнетательными трубопроводами // Машиностроение.* – № 11. – 1964.
3. Сиверин В.Г., Ивановский В.Г. *Методика расчета процессов впрыскивания топливной системы с различным расположением нагнетательного клапана // Проблемы техники.* – № 3. – 2010. – 23 с.

*Стаття надійшла до редакції 10.01.2012*

**Рецензент** – кандидат технічних наук, професор ОНМУ, декан судномеханічного факультету Одеського національного морського університету **В.В. Груздев.**

УДК 620.19

С.Я. Соломатин, В.П. Губанов, К.А. Кузьмин

### ДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

*Представлены результаты анализа технического состояния подшипников скольжения паровой турбины цеха производства аммиака Одесского припортового завода.*

*Выявлены причины возникновения повышенной вибрации и износа подшипников турбины.*

**Ключевые слова:** *паровая турбина, вибродиагностика, самовозбуждающиеся колебания.*

*Представлені результати аналізу технічного стану підшипників ковзання парової турбіни цеху виробництва аміаку Одеського припортового заводу.*

*Виявлені причини виникнення підвищеної вібрації і зносу підшипників турбіни.*

**Ключові слова:** *парова турбіна, вибродіагностика, коливання, що самозбуджуються.*

*The results of analysis of the technical state of slidewaies steam-turbine which is placed in ammonia manufacture shed of Odessa Port Plant.*

*Reasons of origin of enhanceable vibration and wear of bearings of turbine are exposed.*

**Keywords:** *steam-turbine, vibrodiagnostics, selfbecomings excited vibrations.*

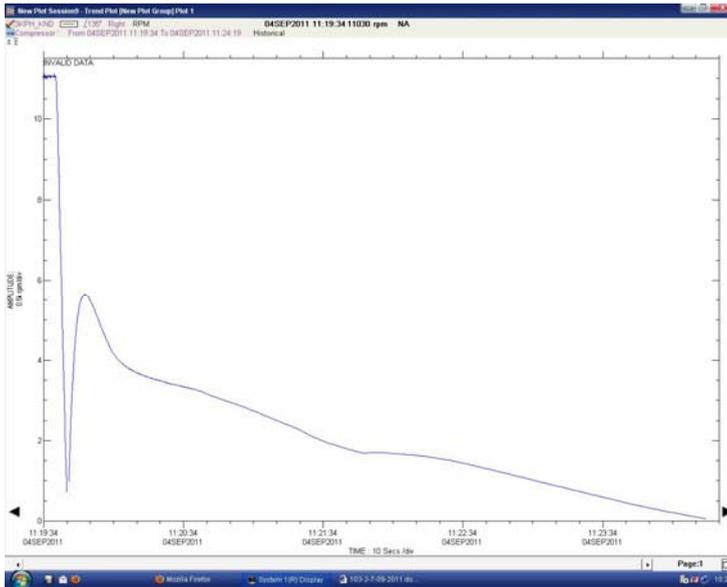
**Постановка задачи.** На Одесском припортовом заводе в установках по производству аммиака успешно эксплуатируются центробежные компрессоры с паровой турбиной мощностью в 32 МВт. Как правило, весь двухгодичный межремонтный период вибрационное состояние машин соответствует категории состояния «хорошо» и «удовлетворительно».

Особенностью данного компрессора является характерный режим останова, заключающийся в том, что естественный выбег после прекращения подачи пара на турбину протекает неестественно быстро, затем машина вновь раскручивается в обратном направлении. Окончательная остановка вращения ротора происходит через 5-6 мин, после чего осуществляются обычные процедуры по выводу компрессора из эксплуатации. Обратное раскручивание машины происходит потоком сжимаемого газа вследствие несвоевременного отсечения КВД и расположенной в нем

ступени рециркуляції газу від колонни синтезу установки. Виконаний аналіз вібраційного стану компресора саме на такому коротко-часовому режимі, виявив небагатоприятні умови, що призводять до зносу підшипників турбіни.

Нижче приводиться аналіз діагностичних характеристик, отриманих за допомогою системи System-1 в час вибігу при прямому обертанні ротора, а також при наступному зворотному обертанні в час зупинки компресора.

**Напрямок і частота обертання ротора.** На рис.1 показано зміну частоти обертання ротора компресора спочатку при вибігу, тобто при зменшенні частоти обертання при прямому обертанні (тривалість 5 с), потім збільшення частоти обертання приблизно до 5600 об/хв (тривалість 8 с) і, нарешті, плавне зменшення частоти обертання до повної зупинки (тривалість 4 хв. і 40 с).



*Рис.1. Обертання компресора одразу після відключення пари на турбіну – вибіг при прямому обертанні і розкручування при зворотному обертанні*

Аналіз параметрів пари і газу після припинення подачі пари на турбіну показав наступне. В час визначеного періоду після початку вибігу ротора відбувається поступове зменшення значень параметрів стиснутого газу, що може свідчити про затримку в закритті клапанів, що відокремлюють компресор від колонни синтезу. Це і призводить до зворотних потоків газу, що, в свою чергу, викликає зворотне обертання компресора.

Проточная часть турбины состоит из ступеней высокого давления и ступеней низкого давления (конденсационная часть). После ступеней высокого давления часть пара отводится на другие турбины, а оставшаяся большая часть пара через регулирующие клапаны поступает в ступени конденсационной части. После прекращения подачи пара на ступени высокого давления турбины одновременно закрываются клапана подачи пара на конденсационную часть и давление пара в конденсационной части резко падает до значения вакуума в конденсационной системе. В то же время в проточной части высокого давления от регулировочной ступени до камеры отбора, «закупоренной» со всех сторон, сохраняется повышенное давление пара. Сразу после закрытия пара на турбину давление за регулировочной ступенью составляет около  $65 \text{ кг/см}^2$ , а в камере отбора – около  $40 \text{ кг/см}^2$ . В течение 5с во время выбега ротора давление в данной проточной части выравнивается и при начале реверса давление пара в проточной части составляет примерно  $31 \text{ кг/см}^2$ . Затем, за счет протечек пара через концевые уплотнения в течение 1 мин, давление пара в проточной части уже выравнивается с давлением в камерах укупорки.

**Осевой сдвиг ротора.** Сразу после закрытия пара на турбину имело место резкое изменения осевого положения упорного гребня ротора турбины в упорном подшипнике (рис.2) – ротор сместился к нерабочим (установочным) сегментам упорного подшипника на величину до 0,55 мм, то есть в пределах осевого разбега ротора. Такое смещение ротора турбины можно объяснить следующим образом. При номинальном режиме работы турбины ротор прижат к рабочим сегментам осевым усилием, направленным по ходу пара в проточной части. Сразу после отсечения пара на турбину прекращается поток пара через проточную часть и «обычная» осевая нагрузка на ротор исчезает. Но, в проточной части турбины от регулировочной ступени до камеры отбора в первоначальный момент, сохраняется повышенное давление пара, что приводит к осевой нагрузке. Направление нагрузки в сторону нерабочих (установочных) сегментов упорного подшипника определяется тем, что диаметр ротора в районе думмиса несколько больше диаметра уплотнения между камерой отбора и конденсационной частью турбины.

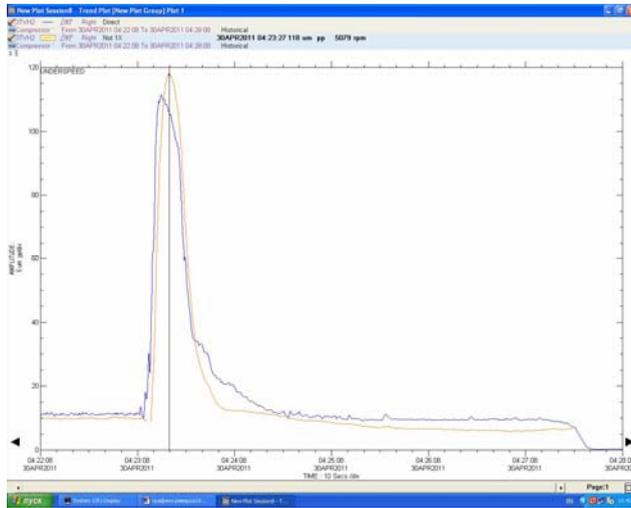
При обратном вращении ротора турбина начинает работать как осевой компрессор, сжимая паровую среду, что приводит к осевой нагрузке на ротор в том же направлении, как и при штатной работе турбины. Ротор вновь прижимается к рабочим сегментам.

Во время начала вращения ротора в обратном направлении, возможно, не было достаточных условий для формирования надежного масляного клина, поэтому на установочных сегментах были обнаружены подпалы смазочного масла и незначительный износ баббита в виде натиров (рис.3).

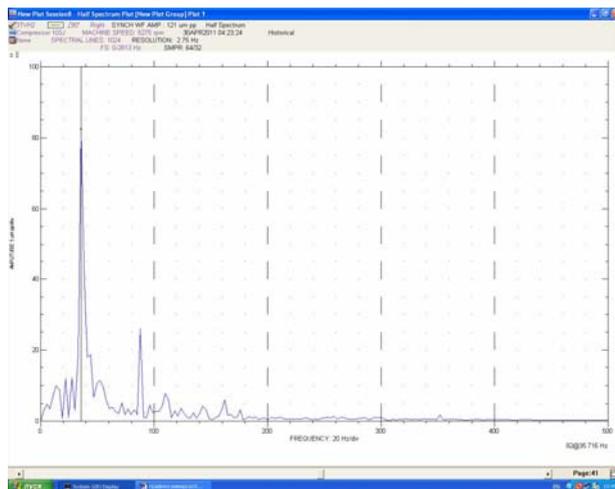


мент максимальной вибрации в спектре наибольший уровень имеет субгармоника 35,7 Гц (рис.5), что может характеризовать появление определенных кратковременных условий в масляном клине, приводящих к масляной вибрации [1, 2]. Характерно, что при номинальной нагрузке на рабочей частоте вращения в подшипниках турбины вибрация составляла менее 20 мкм при отсутствии субгармонических колебаний.

На рис.6 приведена орбита и временная реализация в момент максимальной вибрации. Орбита при этом имеет некоторую приплюснутость по вертикали.



*Рис.4. Вибрация ротора турбины (Direct и Not1X) на опорном подшипнике при обратном вращении*



*Рис.5. Спектр вибрации ротора на опорном подшипнике турбины в момент пика вибрации при обратном вращении*

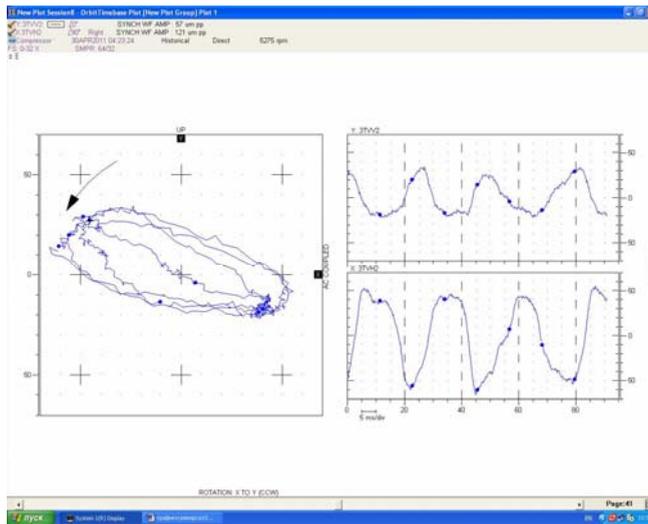


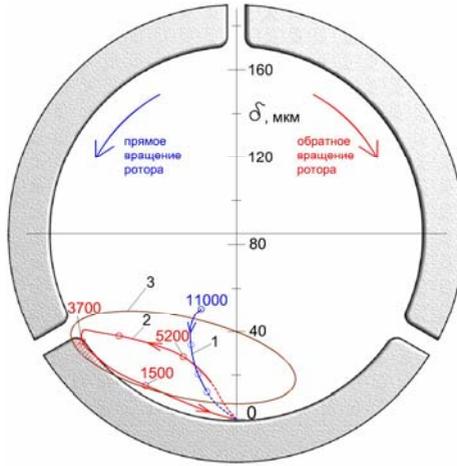
Рис.6. Орбита ротора и временная реализация на опорном подшипнике турбины в момент пика вибрации при обратном вращении

**Смещение среднего положения оси ротора в опорном подшипнике.** Среднее положение осевой линии вала в подшипнике является одной из наиболее информативных диагностических характеристик. В данном компрессоре при пуске и выходе на номинальную нагрузку ротор турбины всплыл в опорном подшипнике на масляной пленке на величину до 55 мкм при диаметральном зазоре в подшипнике  $\delta = 170$  мкм, что является приемлемым (рис.7, кривая 1, т.11000 об.мин.).

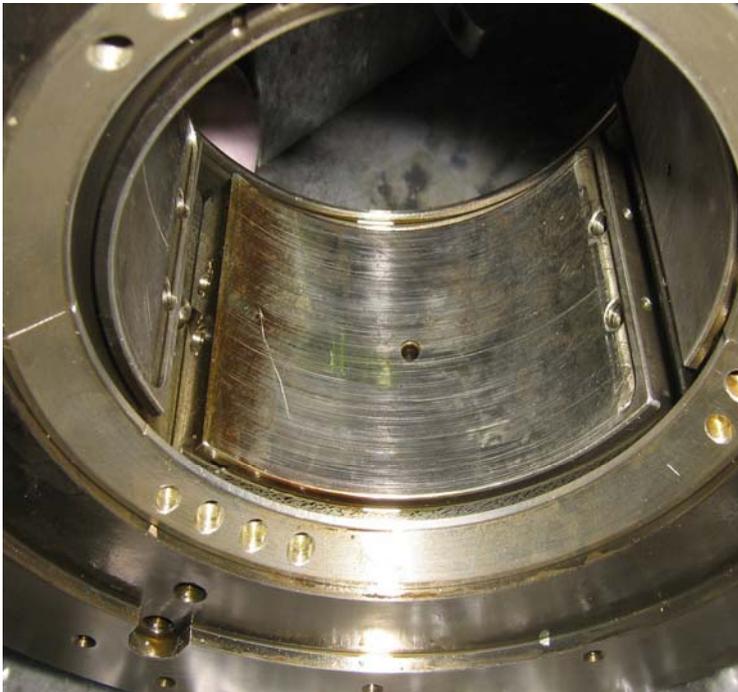
В рассматриваемом случае при выбеге ротора, то есть при снижении частоты вращения толщина масляной пленки уменьшается и ротор смещается вниз (кривая 1 на рис.7). Затем, при раскручивании турбины газом в обратном направлении, среднее положение оси ротора турбины перемещается по кривой 2, совершенно отличной от кривой всплытия ротора при пуске турбины, и при частоте вращения, равной примерно 5200 об/мин., имеет место максимальная вибрация по горизонтали.

На графике относительно точки «5200» нанесена орбита вибрации ротора (кривая 3). Характерно то, что при такой вибрации возможно касание ротора баббита подшипника, а следовательно, и износ его. После прохождения резонанса и снижения частоты вращения ротор смещается влево вплоть до касания баббита и, как бы, прокатывается по поверхности вкладыша подшипника, возвращаясь к исходному положению после прекращения вращения. Такой характер перемещения ротора в подшипнике дал возможность с определенной уверенностью предположить касание баббита в подшипниках турбины.

И, действительно, при ремонте такое касание ротора баббита вкладышей, было подтверждено визуально в обоих опорных подшипниках турбины (рис.8).



*Рис.7. Траектории смещения среднего положения оси ротора в опорном подшипнике турбины:  
1 – во время выбега; 2 – при обратном вращении;  
3 – траектория ротора при резонансных колебаниях на частоте вращения 5200 об.мин.*



*Рис.8. Фотография рабочих вкладышей опорного подшипника турбины*

### Выводы и рекомендации

- Резкое торможение ротора потоком газа после закрытия пара на турбину приводит к большому крутящему моменту, что в результате может спровоцировать сдвиг полумуфта на роторах. На роторе КНД компрессора такой сдвиг был зафиксирован.

- Резкое торможение и вращение ротора в обратном направлении приводит к пиковому смещению ротора турбины в осевом направлении в пределах осевого разбега в упорном подшипнике. Ротор турбины кратковременно был прижат к нерабочим (установочным) сегментам упорного подшипника. Конструкция данных сегментов не обеспечивает гарантированное формирование масляного клина при начале вращения ротора, что и привело к подпалинам масла и натирам на баббите.

- Повышенная вибрация ротора турбины (до 110 мкм) при обратном вращении компрессора газом после прекращения подачи пара, является следствием кратковременного появления определенных условий, способствующих возникновению масляной вибрации.

Субгармоника 35,7 Гц характеризует появление возмущающей силы, которая привела к резонансным колебаниям системы ротор – корпус. При ремонте визуально были обнаружены износ масляных уплотнений и касание баббита на подшипниках турбины.

- В целом, существующая практика вывода компрессора из работы приводит к определенному «стрессу» машины. Для обеспечения гарантированного безопасного состояния машины необходимы конструктивные решения, обеспечивающие своевременное закрытие невозвратных клапанов по газу, или разработка специальной процедуры останова компрессора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тондл А. Динамика роторов турбогенераторов. – Л.: Изд-во Энергия, 1971. – 387с.
2. Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. – М.: Изд-во «Энергоиздат», 1982. – 352 с.

*Стаття надійшла до редакції 27.01.2012*

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

УДК 628.86.078.6:"401"

М.А. Стариков, А.А. Дмитриев

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

*Владение достоверной информацией о реальном состоянии металлоконструкции машин, отработавших свой нормативный срок эксплуатации, позволяет безопасно эксплуатировать машины и аргументированно выполнять ремонты и модернизации.*

*Статья иллюстрирует применение новой методики оценки состояния остаточного ресурса на примере причального перегружателя.*

**Ключевые слова:** причальный перегружатель, металлоконструкция, остаточный ресурс, коэрцитивная сила, механические напряжения.

*Володіння достовірною інформацією про реальний стан металоконструкції машин, які відпрацювали свій нормативний термін експлуатації, дозволяє безпечно експлуатувати машини і аргументовано виконувати ремонти та модернізації.*

*Стаття ілюструє застосування нової методики оцінки стану залишкового ресурсу на прикладі причального перевантажувача.*

**Ключові слова:** причальний перевантажувач, металоконструкція, залишковий ресурс, коерцитивна сила, механічні напруги.

*Having of reliable information about the real state of metal works of machines that have finished their scheduled time of operation, allow you to safely operate the machine and arguments repairs and modernization.*

*The article illustrates the application of new method of estimation of resource by the example of ship-to-shore crane.*

**Keywords:** ship-to-shore crane, metal works, final resource, coercive force, mechanical stress.

**Введение.** Грузоподъемные машины являются машинами повышенной опасности – от их безопасной эксплуатации зависит здоровье и жизни обслуживающего персонала, а также экономическое благополучие, поскольку именно они обеспечивают основную часть доходной статьи предприятия. А ввиду того, что самой дорогой частью грузоподъемной машины является ее металлоконструкция, которая к тому же имеет и наибольший срок эксплуатации – владение достоверной информацией о состоянии металлоконструкции машины либо в процессе ее штатной эксплуатации, либо после аварийной ситуации, либо при проведении реконструкции металлоконструкции, либо в процессе принятия решения о це-

лесообразности модернизации механизмов машины, либо при приобретении грузоподъемных машин, которые уже находились в эксплуатации, является залогом успеха в любого из перечисленных мероприятий и позволит избежать различных негативных последствий и дополнительных финансовых вливаний.

В настоящее время не так много организаций могут аргументированно оценить состояние металлоконструкции грузоподъемной машины ввиду сложности самого процесса. Существующие методические указания также не облегчают работу экспертов, поскольку либо имеют слишком сложный алгоритм, либо не имеют достоверной доказательной базы. Ситуация во многом осложнена малой изученностью вопроса усталостного повреждения металла и отсутствием единого мнения ученых в этом вопросе. В то же время, кафедра «Подъемно-транспортные машины и механизация перегрузочных работ» Одесского национального морского университета, уже более двадцати лет работает над проблемой оценки остаточного ресурса грузоподъемных машин и результаты этой работы выразились в подготовке научных диссертаций, разработке методики оценки остаточного ресурса [1], выполнении практических работ по оценке состояния металлоконструкций и остаточного ресурса на украинских предприятиях и за границей, опубликован ряд научных трудов.

По разработанной методике в последнее время был выполнен ряд работ, одной из которых стала оценка состояния металлоконструкции стрелы причального перегружателя.

**Постановка задачи.** В статье предлагается ознакомиться с ходом и результатами проведения оценки остаточного ресурса металлоконструкции стрелы причального перегружателя, отработавшего свой нормативный срок эксплуатации и не имеющего достоверных данных о предыдущей эксплуатации машины, что труднореализуемо с помощью действующей методики оценки остаточного ресурса.

Причальный перегружатель Aarhus Maskinfabrik был произведен в 1976 году, но заказчиком он был приобретен не так давно, а соответственно на момент приобретения уже имел внушительный срок эксплуатации. Кран используется в грейферном режиме на погрузо-разгрузочных работах при двухсменной работе.

Состояние металлоконструкции перегружателя и история его нагружения на момент приобретения известны не были, однако проблемы проявились сразу, и в районе сварного соединения верхней полки стрелы с боковыми стенками в 2008 году было выполнено усиление металлоконструкции из-за регулярно образовавшихся трещин.

С целью определения степени усталости металла металлоконструкции морской консоли был выполнен магнитный контроль напряженно-деформированного состояния металлоконструкции морской консоли перегружателя.

Контроль проведен согласно МВ 0.00-7.01-05 [2]. Данные контроля занесены в табл. 1.

Таблиця 1

*Максимальные значения результатов контроля коэрцитивной силы*

Наименование элементов металлоконструкций	Материал (по чертежам завода-изготовителя)	Толщина металла h, мм	Измеренное значение коэрцитивной силы $H_c$ , А/см	Приведенное к фактической толщине металла значение коэрцитивной силы $H_{c(нов)}$ , А/см	Состояние металла	Остаточный ресурс, %
Боковая стенка морской консоли	09Г2С	12	4,6	5,4	Режим надежной эксплуатации	41 %
Усиление боковой стенки морской консоли	09Г2С	10	5,9	6,2	Режим контролируемой эксплуатации	32 %

Для определения уровня механических напряжений, возникающих в металлоконструкции морской консоли в процессе использования крана на погрузо-разгрузочных работах на паспортных характеристиках и определения наиболее напряженных опасных мест металлоконструкции, было проведено аналитическое определение механических напряжений в элементах металлоконструкции морской консоли причального перегружателя.

Исходные данные для построения модели были получены из заводских чертежей и по результатам натурного исследования металлоконструкции. Материал металлоконструкции был указан заказчиком (на основании сертификата соответствия) как аналог стали 09Г2С.

Внесение изменений в заводскую конструкцию были учтены на основании предоставленного предоставленной документации проекта реконструкции причального перегружателя.

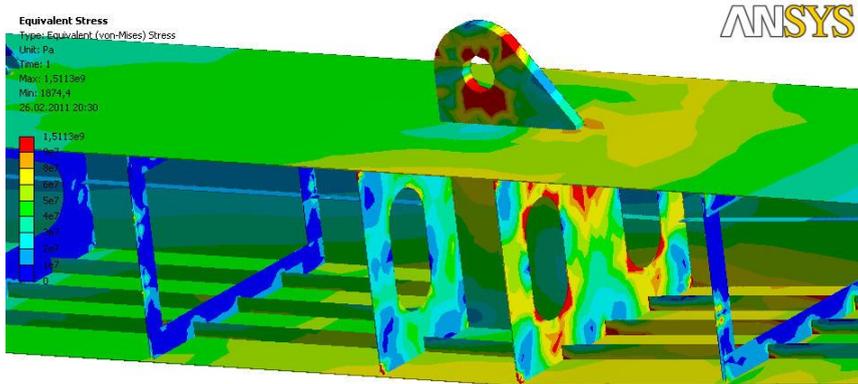
В соответствии с полученными данными была определена нагрузка, действующая на консоль в процессе эксплуатации перегружателя, при этом были учтены весовые характеристики тележки с грузом, давление ветра на тележку, груз и на морскую консоль, а также силы инерции, возникающие при разгоне тележки.

Расчет напряжений, возникающих в элементах металлоконструкции морской консоли причального перегружателя, производился для трех характерных положений грузовой тележки с грузом:

а) посредине опор консоли – между корневым шарниром консоли и шарниром жесткой оттяжки;

- б) непосредственно в районе шарнира жесткой оттяжки консоли;
- в) в районе концевых упоров морской консоли.

В результате расчета были получены поля напряжений в исследуемой металлоконструкции (рис. 1). Поля напряжений представлены в виде изменения цвета области в зависимости от действующих напряжений в элементе.



*Рис. 1. Увеличенное изображение наиболее нагруженного узла*

Таким образом, металлоконструкция морской консоли перераспределяет внешние нагрузки не вызывая значительных напряжений в ее элементах. Как видно из вышеизложенного наиболее нагруженным узлом металлоконструкции является узел закрепления проушины шарнира жесткой оттяжки консоли, который оказывается нагруженным в любом положении грузовой тележки. Следовательно, именно этот узел будет накапливать в себе наибольшие усталостные повреждения и, возможно, определять ресурс перегружателя.

Однако, как мы видим из табл. 1 самому быстрому «старению» были подвержены не элементы самой металлоконструкции, а именно элементы усиления металлоконструкции, несмотря на то, что срок их эксплуатации составил всего 2 года.

Таким образом, в процессе выполнения работы стало очевидным, что элементы металлоконструкции, установленные в ходе реконструкции морской консоли в 2008 году, находятся в похожем состоянии (а иногда и в худшем состоянии) с элементами металлоконструкции, эксплуатирувавшимися с момента постройки перегружателей. Это явление можно объяснить следующими причинами:

- материал элементов усиления не соответствует данным, указанным в технической документации на выполнение ремонтных работ;
- ремонт проводился с использованием материалов, имеющих в себе накопленные усталостные повреждения;

- в процессе выполнения грузовых работ в элементах усиления возникают нагрузки, значительно превосходящие нагрузки в основной металлоконструкции;

Рассматривая непосредственно узел усиления соединения верхней полки консоли с боковыми стенками, отмечено, что косынки усиления полностью разгрузили боковые стенки, испытывая повышенные напряжения, а значит, ускоренно накапливая усталостные повреждения. Полученные результаты подтвердили данные замеров коэрцитивной силы.

Судя по темпам роста коэрцитивной силы в материале усилений при невысокой интенсивности использования перегружателей за указанный период, можно сделать прогноз о том, что в ближайшие годы значение коэрцитивной силы в материале усилений достигнет предельных значений и сделает невозможным эксплуатацию машины.

Для определения фактических значений напряжений, возникающих в металлоконструкции морской консоли причального перегружателя, а также для определения степени точности данных, полученных в результате испытания пространственных моделей, был проведен тензометрический эксперимент.

В ходе эксперимента на металлоконструкцию консоли были наклеены розетки тензодатчиков, с которых были получены значения электрических напряжений, возникающих в данной точке металлоконструкции, и затем полученные результаты были переведены в значения механических напряжений. Для возможности выполнения сравнения результатов, полученных разными путями – были выбраны участки металлоконструкции, которые имеют наибольшие амплитуды изменения напряжений в ходе грузового цикла.

Цикл работы крана состоял из следующих операций: перемещение тележки с грузом массой 40 т в крайнее положение на консоли, опускание груза, подъем груза и передвижение в направлении тыловой консоли до полного съезда с морской консоли.

В результате проведения натурального эксперимента были получены следующие значения механических напряжений (рис. 2-12), приведенные затем «методом дождя» [3] к эквивалентным и отмечены характерные положения грузовой тележки в цикле:

Пол. 1 – тележка с грузом находится вне морской консоли;

Пол. 2 – тележка с грузом посередине между опорами морской консоли;

Пол. 3 – тележка с грузом над опорой морской консоли (место крепления жесткой тяги и консоли);

Пол. 4 – тележка с грузом на максимальном вылете.

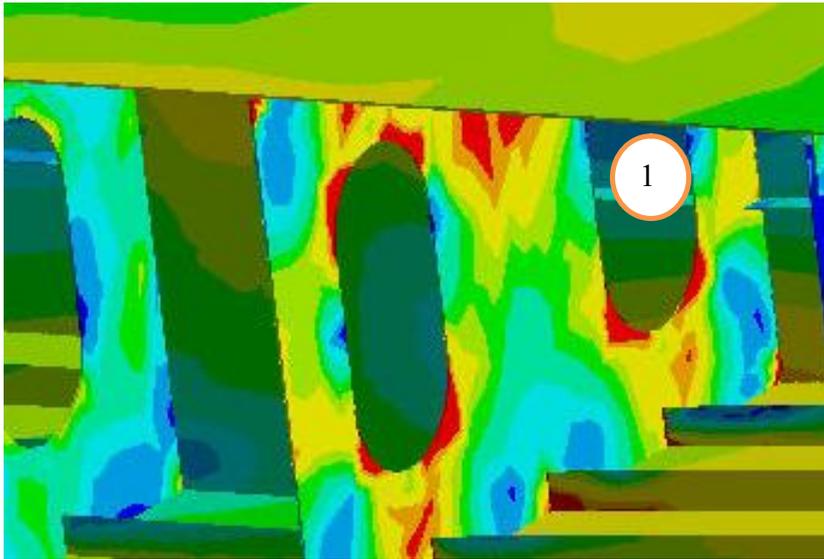


Рис. 2. Место установки розетки тензодатчиков на диафрагме в районе проушины крепления оттяжки – точка 1

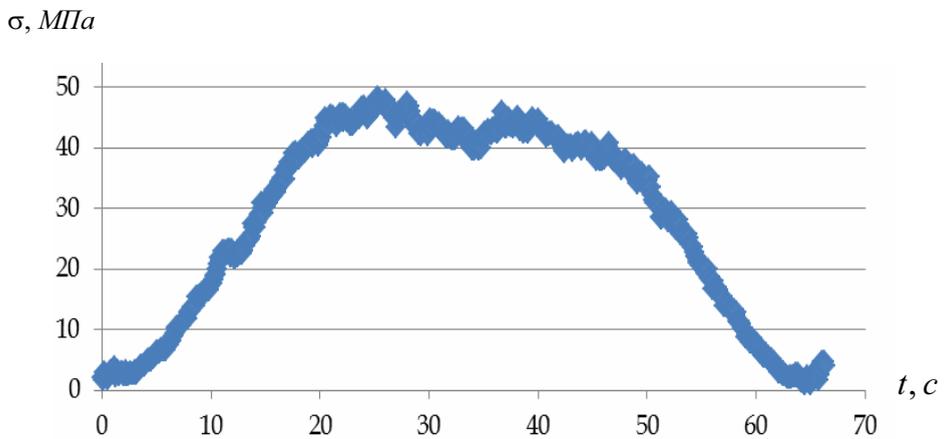
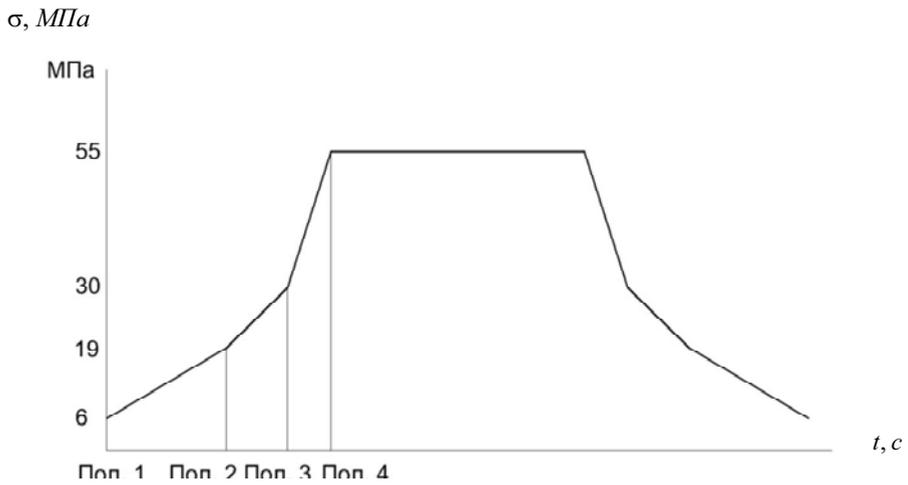
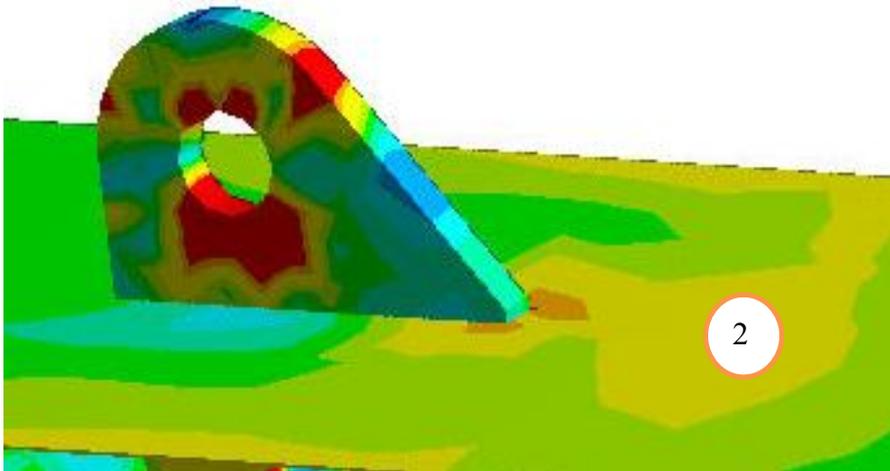


Рис. 3. Закон изменения эквивалентных напряжений по Мизесу в зависимости от времени в течение цикла работы крана (экспериментально) – точка 1



*Рис. 4. Закон изменения эквивалентных напряжений по Мизесу в зависимости от времени в течение цикла работы крана (расчет) – точка 1*



*Рис. 5. Место установки розетки тензодатчиков на верхней полке стрелы в районе проушины крепления оттяжки (установка производилась изнутри) – точка 2*

$\sigma$ , МПа

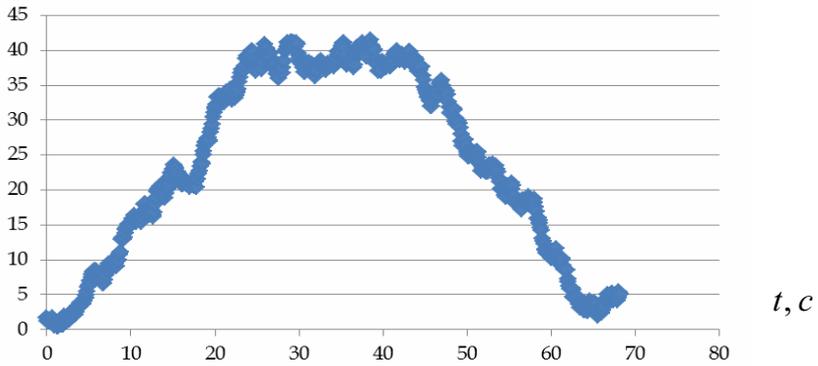


Рис. 6. Закон изменения эквивалентных напряжений по Мизесу в зависимости от времени в течение цикла работы крана (экспериментально) – точка 2

$\sigma$ , МПа

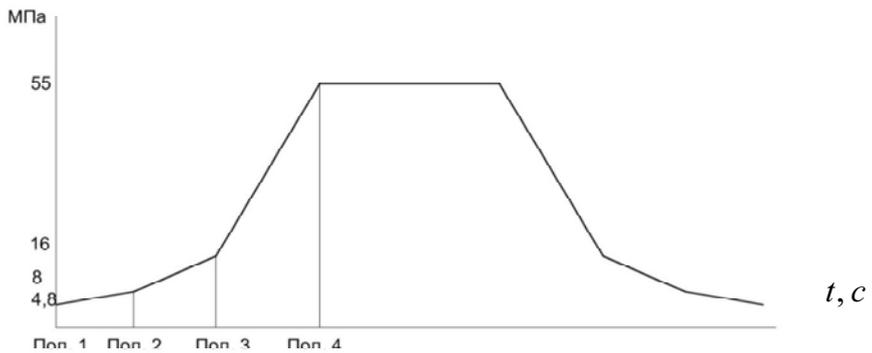


Рис. 7. Закон изменения эквивалентных напряжений по Мизесу в зависимости от времени в течение цикла работы крана (расчет) – точка 2

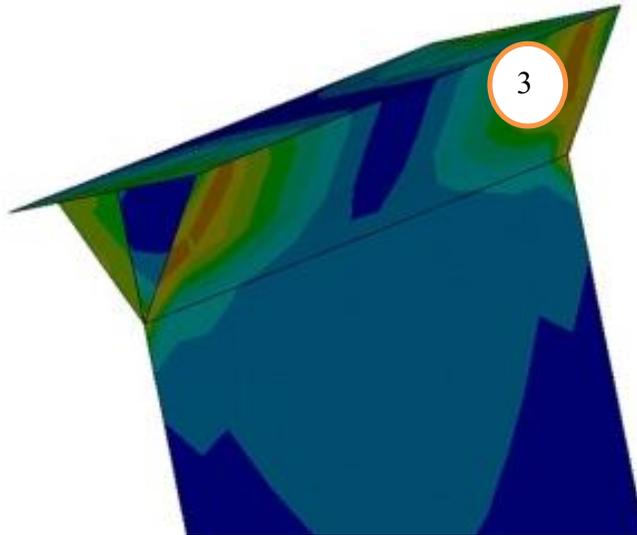


Рис. 8. Место установки розетки тензодатчиков на усилении левой стенки посередине между опорами консоли – точка 3

$\sigma$ , МПа

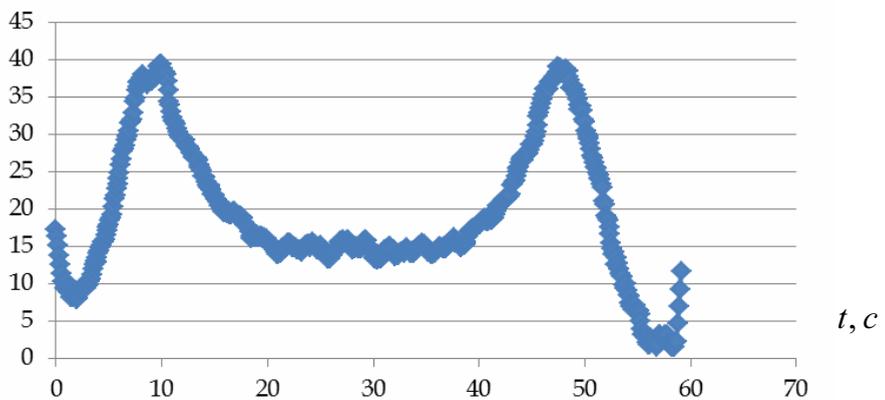


Рис. 9. Закон изменения эквивалентных напряжений по Мизесу в зависимости от времени в течение цикла работы крана (экспериментально) – точка 3

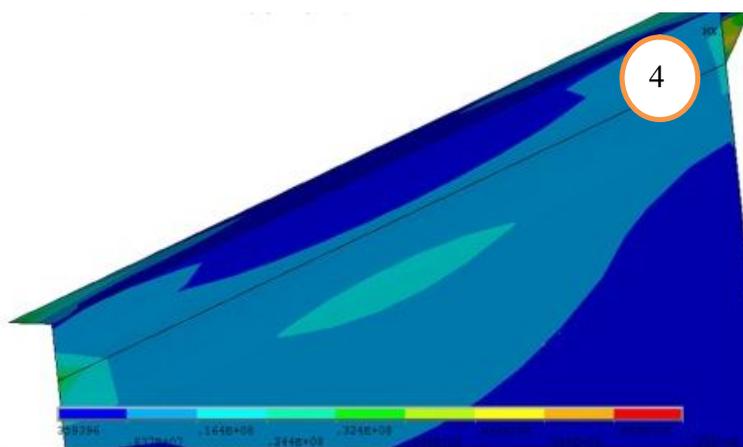


Рис. 10. Место установки розетки тензодатчиков на левой стенке стрелы – точка 4

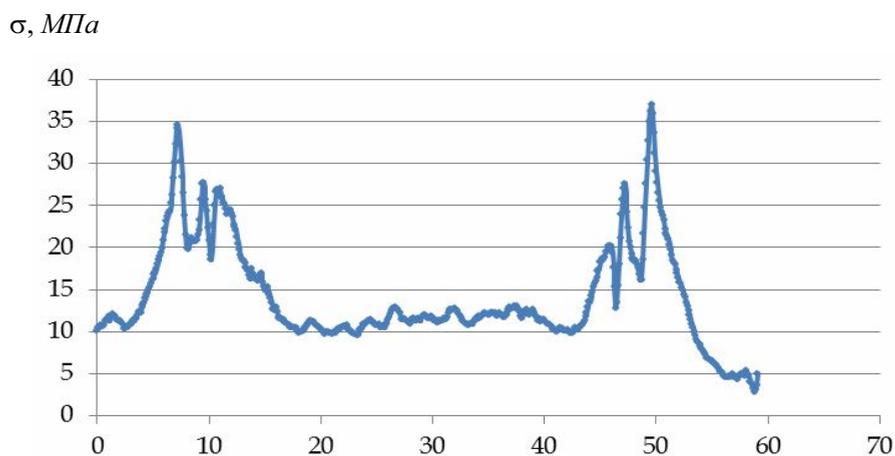
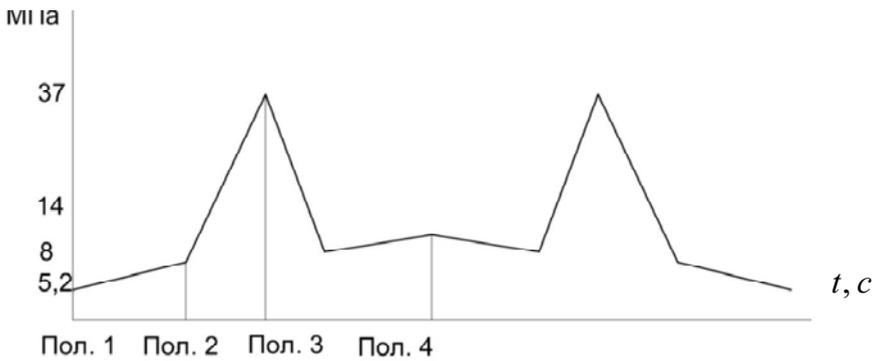


Рис. 11. Закон изменения эквивалентных напряжений по Мизесу в течение цикла работы крана (экспериментально) – точка 4

$\sigma$ , МПа



*Рис. 12. Закон изменения эквивалентных напряжений по Мизесу в зависимости от времени в течение цикла работы крана (расчет) – точка 4*

Как видим из результатов проведенного тензометрического эксперимента и сравнения с ним результатов аналитического расчета – расхождение значений эквивалентных напряжений не имеет больших значений.

Максимальное несоответствие значений механических напряжений по Мизесу составило 12,7 % в точке 2 (верхняя полка консоли в районе проушины шарнира соединения консоли и жесткой оттяжки).

Определим предел выносливости материала металлоконструкции консоли при  $N = 2 \cdot 10^6$  циклов.

Предел выносливости сварного узла определяется по формуле

$$\sigma_{-1} = k_t \cdot \sigma_{-1KB}, \quad (1)$$

где  $k_t$  – коэффициент влияния толщины основного элемента сварного узла;

$\sigma_{-1KB}$  – базовый предел выносливости.

Значение коэффициента влияния толщины определяется следующим образом:

$$k_t = \left( \frac{t_0}{t} \right)^{0,2}, \quad (2)$$

где  $t$  – толщина элемента, по которому происходит разрушение;

$t_0 = 20$  мм.

Для нахождения предела выносливости  $\sigma_{RK}$  на базе  $N = 2 \cdot 10^6$  циклов при некотором значении коэффициента асимметрии цикла  $R$ , следует найти предел выносливости при симметричном цикле, после чего вычислить требуемое значение по формуле

$$\sigma_{RK} = \frac{2\sigma_{-1K}}{1 - R + (1 + R)\psi_K}, \quad (3)$$

где  $\psi_K$  – коэффициент чувствительности узла к асимметрии цикла

$$\psi_K = 0,57 \frac{\sigma_{-1K}}{\sigma_B}. \quad (4)$$

Долговечность узла при коэффициенте асимметрии цикла нагружения  $R$  и произвольном уровне максимальных напряжений цикла, определяется по формуле

$$N = N_0 \left( \frac{\sigma_{RK}}{\sigma} \right)^{m_R}. \quad (5)$$

Результаты вычисления промежуточных значений для определения параметров кривой усталости материала металлоконструкции морской консоли причального перегружателя приведены в табл. 2.

Таблица 2

*Усталостные характеристики металлоконструкции*

Номер точки	Группа узла	Свойства материала 09Г2С	Коэф. асимметрии цикла	Коэф. влияния толщины	Коэф. чувствительности к R	$\sigma_{-1KB}$	$\sigma_{-1K}$	$\sigma_{RK}$	$m_R$
1	7	$\sigma_B = 440$ $\sigma_{02} = 305$ $\sigma_{-1} = 235$	0,109	1,1	0,061	43	47,3	98,7	5,1
2	7		0,087	1,1	0,061	43	47,3	96,6	5,0
3	7		0,05	1,148	0,064	43	49,4	97,1	5,0
4	4		0,141	1,1	0,107	75	82,5	168,2	7,9

Очевидно, что значения эквивалентных напряжений, возникающих в элементах металлоконструкции морской консоли причального перегружателя, не достигают значений предела выносливости, следовательно, металл не накапливает усталостные повреждения.

### **Выводы**

По результатам выполненных работ было установлено, что по параметру коэрцитивной силы металлоконструкция морской консоли причального перегружателя находится в режиме надежной эксплуатации с остаточным ресурсом 41 %, что говорит об относительно невысоком уровне накопленных усталостных повреждений. Однако усиления боковых стенок консоли, установленные в рамках реконструкции, также подверглись интенсивному накоплению усталостных повреждений, о чем свидетельствуют высокие значения коэрцитивной силы. Металл усилений находится в зоне режима контролируемой эксплуатации с ресурсом 32 %.

Учитывая столь малый срок службы усилений до перехода в режим контролируемой эксплуатации на обоих перегружателях – можно сделать предположение о неудачном конструктивном решении способа разгрузки боковых листов консолей.

На основании выполненных работ можно сделать вывод о следующем:

- металлоконструкции, проработавшие более 30 лет, вполне могут иметь еще достаточный ресурс для использования на перегрузочных работах, достаточно только оценить остаточный ресурс и убедиться в этом или обратном. При необходимости проведения модернизации механизмов с высокой вероятностью можно говорить о том, что машина успеет окупить вложенные деньги и будет приносить прибыль;

- при проведении работ, связанных с разгрузкой узлов и элементов металлоконструкций недостаточно руководствоваться «накопленным опытом», а необходимо проводить комплекс работ по определению последствий внесения изменений в металлоконструкцию и прогнозирования поведения последней;

- необходимо восстановить связь между наукой и производством, с одной стороны для оптимизации усилий портовиков по восстановлению работоспособности эксплуатируемой ими техники, с другой стороны для выявления реальных проблем производства и определения путей их решения.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Стариков М.А. Обоснование метода оценки остаточного ресурса металлических конструкций грузоподъемных машин: Дис. канд. техн. наук / М.А. Стариков. Одесск.нац.морск.ун-т. – Одесса, 2011. – 137 с.*
2. *МВ 0.00-7.01-05 Методичні вказівки з проведення магнітного контролю напружено-деформованого стану металоконструкцій підймальних споруд та визначення їх залишкового ресурсу. – К., 2005. – 77 с.*
3. *ГОСТ 25.101-83. Метод схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 21 с.*

*Стаття надійшла до редакції 01.02.2012*

**Рецензент** – кандидат технічних наук, доцент, зав. кафедри «Підйомно-транспортні машини та механізація перевантажувальних робіт» Одеського національного морського університету **О.О. Немчук**.

УДК62-192:519.248

Н.Ф. Зубко

**ОПТИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ НАГРУЖЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ  
НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ ИЗ ОДИНАКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Предложен метод расчёта оптимального уровня нагруженного резерва невосстанавливаемой системы состоящей из одинаковых элементов по критерию «Максимум прибыли по результатам обслуживания объектов». Объекты с большой эффективностью по результатам обслуживания – основные, остальные объекты – второстепенные. Элементы системы, занятые на второстепенных объектах, есть нагруженный резерв для обслуживания основного объекта.*

**Ключевые слова:** невосстанавливаемая система, одинаковые элементы, нагруженный резерв, расчёт оптимального уровня

*Запропоновано метод розрахунку оптимального рівня навантаженого резерву невідновлювальної системи, що складається з однакових елементів по критерію «Максимум прибутку за результатами обслуговування об'єктів». Об'єкти з великою ефективністю за результатами обслуговування – основні, інші об'єкти – другорядні. Елементи системи, зайняті на другорядних об'єктах, є навантажений резерв для обслуговування основного об'єкта.*

**Ключові слова:** невідновлювальна система, однакові елементи, навантажений резерв, розрахунок оптимального рівня

*Method of calculation by the criterion “Maximal profit by results of objects servicing” the optimal level of loaded reserve for unrecoverable system consisting of identical elements is proposed. Objects with bigger efficiency from servicing are regarded as main, other objects – secondary. Elements of the system used for servicing of secondary objects are loaded reserve for servicing of main objects.*

**Keywords:** unrecoverable system, identical elements, loaded reserve, calculation the optimal level

**Введение.** Резервирование как способ повышения надёжности технических систем при определённых условиях может существенно увеличить эффективность их функционирования. Многие технологические комплексы, предназначенные для одновременного обслуживания нескольких неравнозначных по экономическим результатам объектов, оснащены однотипным оборудованием, вступившим в стационарный период эксплуатации, имеющим практически одинаковые эксплуатационные характеристики, включая надёжность. Отказавшие машины, из числа за-

нятих обслуговуванням головного об'єкта, як правило, не вдається встановити за оставшуюся часть времени до завершения работ. Для их замены как резерв используются машины, занятые обслуговуванням менее значимых об'єктов. При указанных свойствах эти комплексы могут рассматриваться как системы из одинаковых невосстанавливаемых элементов с нагруженным резервом.

При ограниченном числе машин уровень резервирования, определяемый соотношением числа головных и второстепенных об'єктов, принимаемых на обслуговування при оперативном планировании удовлетворения поступающих заявок, в значительной мере определяет эффективность эксплуатации комплекса в целом. Следовательно, задача определения оптимального значения этого уровня имеет большое практическое значение.

В теории надёжности, в частности в книгах [1, 3, 4] и ряде других работ, предлагаются точные и приближённые методы расчёта показателей надёжности основных видов резервированных систем, в том числе и системы, рассматриваемой в этой статье. Однако практическое применение их, особенно при решении оптимизационных задач, связано или с большим объёмом вычислений или не обеспечивает требуемой точности получаемых результатов.

**Постановка задачи.** Целью исследования является разработка удобного для практического применения метода расчёта оптимального уровня нагруженного резервирования технической системы, составленной из одинаковых элементов.

Рассматривается система, состоящая из  $N=n+m$  рабочих элементов. Часть элементов  $n$  используется для технологического обслуговування основного об'єкта. Остальные  $m$  элементов обслуговувають второстепенные об'єкты и планируются в качестве нагруженного резерва для основного об'єкта. Технологическое обслуговування всех об'єктов осуществляется однотипными взаимозаменяемыми машинами. Предполагается, что производительности всех машин системы при обслуговуванні основного об'єкта одинаковы.

Примером такой системы может служить перегрузочный комплекс морского порта. Здесь основным об'єктом является судно, стоящее под грузовыми операциями. Менее значимые об'єкты – средства сухопутного транспорта и склады. Стоимость стояночного времени средств сухопутного транспорта существенно меньше, чем судна. При необходимости грузовые вагоны или автомобили можно оперативно переадресовать на другие участки комплекса. Складские сортировочные работы обычно допустимо смещать во времени.

Основные группы однотипного перегрузочного оборудования портовых комплексов – это универсальные порталные или пневмоколёсные краны, специализированные краны, колёсные погрузчики и средства внутрипортового транспорта.

Необходимость определения оптимального или, по крайней мере, экономически целесообразного уровня резервирования возникает в процессе планирования использования имеющегося парка машин на нескольких объектах с учётом возможности вывода части машин из эксплуатации для выполнения плановых ТО и ремонтов, передачи их в аренду и других обстоятельств. При этом заданы плановый объём работы на основном объекте  $Q$  (количество груза на судне, т), нормативное время её выполнения  $T_n$  (нормативное стояночное время судна под грузовыми операциями, ч) и технологическая производительность одной машины  $q$  (т/ч). Предполагается время замены любой отказавшей машины в процессе обслуживания основного объекта, любой из однотипных работоспособных машин занятых на менее значимом объекте достаточно малым относительно нормативного времени технологической обработки объекта. Машины нагруженного резерва могут отказывать раньше машин, занятых на основном объекте. Отказавшая машина после возможного её восстановления в систему не возвращается, то есть предполагается, что машины невосстанавливаемые.

**Результаты исследования.** Минимальное число машин, необходимое для выполнения планового объёма работ на основном объекте за нормативное время  $T_n$ , при условии их непрерывной работы равно

$$s = \frac{Q}{qT_n} . \quad (1)$$

Поскольку вероятность безотказной работы машин в течение заданной наработки,  $P_c \{ \xi_c \geq T_n \} < 1$ , то для увеличения вероятности реализации этого времени, если допускают параметры объекта и условия технологического процесса, при планировании работ принимают число основных машин  $n = s + 1$ . При этом расчётное календарное время технологической обработки объекта равно

$$T_p = \frac{Q}{(s + 1)q} . \quad (2)$$

Фактическое время безотказной работы системы (обработки объекта) может оказаться существенно меньшим или достаточно близким значению  $T_p$  в зависимости от надёжности машин и уровня резервирования, то есть может быть большим или меньшим нормативного времени  $T_n$ .

При указанных выше условиях рассматриваемая задача сводится к оптимизации функционирования невосстанавливаемой системы со скользящим нагруженным резервом, включающей  $n$  основных и  $m$  элементов нагруженного резерва. Функции распределения наработки элементов на отказ (функции ненадёжности)  $F_i(t)$  известны. Предполагаем, что все

элементы независимы один от другого в части надёжности и вероятность отказа двух и более элементов одновременно – бесконечно малая величина.

Исходя из необходимости выполнения планового задания за нормативное время, отказом резервированной системы является событие, когда в ней оказывается  $l < n$  работоспособных элементов, то есть отказ системы наступает после возникновения  $m+1$ -го отказа из общего числа элементов. Функция надёжности такой системы (вероятность безотказной работы системы в течение наработки  $t$ ) определяется суммой [1]

$$\bar{F}_{n,m}(t) = \sum_{k=n+m}^n \bar{F}_k(t) \quad , \quad (3)$$

где  $\bar{F}_k(t)$  – вероятность того, что в момент реализации наработки  $t$  в системе находятся ровно  $k$  работоспособных элементов.

При наличии штрафов и премий в зависимости от фактического времени реализации планового задания критерием оптимальности уровня резервирования системы является максимум прибыли полученной за период обработки основного объекта. Поскольку среднее время безотказной работы системы  $T_{n,m}(T_p)$  в течение календарного времени  $T_p$  определяются зависимостью

$$T_{n,m}(T_p) = \int_0^{T_p} \bar{F}_{n,m}(t) dt \quad , \quad (4)$$

то в общем случае этот критерий можно представить в следующей математической форме [2]

$$\begin{aligned} \max \Pi = & n(c_{\partial} - c_{\text{э}}) \int_0^{T_p} \bar{F}_{n,m}(t) dt + c_0 [T_n - \int_0^{T_p} \bar{F}_{n,m}(t) dt] - \\ & - m(c_{\partial p} - c_{\text{э}p}) \left\{ \int_0^{T_p} \bar{F}_{n,m}(t) dt - \int_0^{T_p} [\bar{F}_0(t)]^n dt \right\} . \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $c_{\partial}$  – доходная ставка за 1 машино-час работы одной машины на основном объекте;  $c_{\text{э}}$  – общие эксплуатационные затраты, отнесенные на 1 машино-час работы машины на основном объекте;  $c_{\partial} = c_n$ , если  $T_n > T_{n,m}(T_p)$ , и  $c_{\partial} = c_u$  в противном случае. При этом  $c_n$  – премия за 1 час сокращения времени реализации планового задания относительно нормативного значения и  $c_u$  – штраф за 1 ч превышения нормативного времени;  $c_{\partial p}$  – доход за 1 час работы машины в нагруженном резерве;  $c_{\text{э}p}$  – общие эксплуатационные затраты, отнесенные на 1 машино-час работы машины в нагруженном резерве.

Для принятого выше условия отказа последний интеграл в равенстве (5) отражает среднее время безотказной работы нерезервированной

системы, то есть разница интегралов в последнем сомножителе определяет время использования резервных машин на основном объекте.

Для решения задачи необходимо наличие в явной форме аналитической зависимости функции надёжности резервированной системы  $\bar{F}_{n,m}(t)$ . При технологическом ограничении на число рабочих элементов  $n$ , занятых на основном объекте, варьируемым параметром в процессе решения является число резервных элементов  $m$ .

Рассмотрим систему, в которой все машины одинаковы и независимы в части надёжности, то есть их функции ненадёжности  $F_i(t)$  и функции надёжности  $\bar{F}_i(t)$  одинаковы и, соответственно, равны  $F_0(t)$  и  $\bar{F}_0(t)$ . При указанных условиях функция надёжности резервированной системы в общем случае определяется формулой [1]

$$\bar{F}_{n,m}(t) = \sum_{k=0}^m \frac{(n+m)!}{k!(n+m-k)!} [F_0(t)]^k [\bar{F}_0(t)]^{(n+m-k)}. \quad (6)$$

По формуле (6) несложно вычислить  $\bar{F}_{n,m}(t)$ , если известны численные значения надёжности составляющих элементов  $\bar{F}_0(t)$ . Однако, зависимость  $\bar{F}_{n,m}(t)$  в общем виде через аналитическую форму функции надёжности составляющих её элементов и, следовательно, определение остальных характеристик надёжности системы связано с весьма громоздкими преобразованиями и вычислениями, а в ряде случаев это практически невозможно. Для упрощения этой задачи представим зависимость (6) в форме

$$\bar{F}_{n,m}(t) = \sum_{k=0}^m (-1)^k A_k [\bar{F}_0(t)]^{(n+k)}. \quad (7)$$

Коэффициенты  $A_k$  определяются из формулы (6) в результате подстановки  $F_0(t) = 1 - \bar{F}_0(t)$  и приведения подобных членов. Значения этих коэффициентов применительно к некоторым сочетаниям чисел резервных  $m$  и основных  $n$  элементов, характерным, например, для портовых перегрузочных комплексов, приведены в табл.1.

Для системы с одним резервным элементом ( $m=1$ ) формула (7) упрощается

$$\bar{F}_{n,1}(t) = (n+1)[\bar{F}_0(t)]^n - n[\bar{F}_0(t)]^{(n+1)}. \quad (8)$$

В качестве примера использования формулы (7) и табл.1 рассмотрим систему, состоящую из  $n=6$  машин, используемых на основном объекте, и  $m=4$  машины нагруженного резерва. Предположим, что все машины имеют распределение наработки на отказ по закону Вейбулла-Гнеденко

$$\bar{F}_0(t) = 1 - \exp(-\lambda^p t^p). \quad (9)$$

Этот закон – двухпараметрический, с параметрами  $\lambda$  и  $p$ . Меняя значения параметров, практически всегда можно получить зависимость  $F_0(t)$ , достаточно близкую статистической выборке наработки на отказ любой механической системы. Напомним, что при  $p = 1$ , закон распределения (9) превращается в закон экспоненциального распределения (внезапные отказы), а при  $p > 4$  становится достаточно близким к закону нормального распределения, что соответствует распределению наработки относительно постепенных отказов с многофакторным влиянием.

*Таблица 1*

*Значения коэффициентов  $A_k$  функции надёжности в формуле (5)*

m	n	A0	A1	A2	A3	A4
2	3	10	15	6	-	-
	4	15	24	10	-	-
	5	21	35	15	-	-
	6	28	48	21	-	-
3	4	35	84	70	20	-
	5	56	140	120	35	-
	6	84	216	189	56	-
4	6	210	720	945	560	126

Подставляя функцию надёжности одной машины  $\bar{F}_0(t) = e^{-\lambda^p t^p}$  и соответствующие коэффициенты табл.1 в формулу (7), находим вероятность безотказной работы резервированной системы

$$\begin{aligned} \bar{F}_{6,4}(t) = & e^{-6\lambda^p t^p} (210 - 720e^{-\lambda^p t^p} + \\ & + 945e^{-2\lambda^p t^p} - 560e^{-3\lambda^p t^p} + 126e^{-4\lambda^p t^p}) \end{aligned} \quad (10)$$

Полученная в явной форме зависимость  $\bar{F}_{6,4}(t)$  позволяет при известных значениях  $\lambda$  и  $p$  прогнозировать все основные показатели надёжности системы. В том числе среднюю наработку на отказ и её дисперсию, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы в течение наработки  $t$  и вероятность реализации дополнительной наработки  $x$  при условии, что к моменту  $t$  система сохранила работоспособность.

Значений этих показателей достаточно для решения большинства задач, связанных с эксплуатацией технических устройств.

В табл.2 приведены сравнительные показатели надёжности нерезервированной системы и резервированной системы с функцией надёжности (10) при параметрах распределения  $\lambda = 0,005$  и  $p = 2$ . Условные обозначения:  $T_0$ ,  $T_{6,0}$ ,  $T_{6,4}$  – соответственно, средние наработки на отказ одной машины, нерезервированной системы из  $n = 6$  машин и той же системы с  $m = 4$  машинами нагруженного резерва;  $\bar{F}_0(T_p)$ ,  $\bar{F}_{6,0}(T_p)$ ,  $\bar{F}_{6,4}(T_p)$  – вероятности безотказной работы за расчётное время  $T_p = 80$ ч, соответственно, одной машины, нерезервированной и резервированной системы. В таблице также указаны усреднённые наработки нерезервированной  $T_{6,0}(T_p)$  и резервированной  $T_{6,4}(T_p)$  системы за расчётное календарное время  $T_p$ , определяемые по формулам

$$T_{6,0}(T_p) = \int_0^{T_p} [\bar{F}_0(t)]^6 dt \quad \text{и} \quad T_{6,4}(T_p) = \int_0^{T_p} \bar{F}_{6,4}(t) dt \quad (11)$$

Таблица 2

*Сравнительные показатели надёжности  
нерезервированной и резервированной систем*

$T_0$	$T_{6,0}$	$T_{6,4}$	$\bar{F}_0(T_p)$	$\bar{F}_{6,0}(T_p)$	$\bar{F}_{6,4}(T_p)$	$T_{6,0}(T_p)$	$T_{6,4}(T_p)$
177	72	157	0,852	0,383	0,991	60,4	79,9

Как следует из результатов расчётов, приведенных в табл.2, основные показатели надёжности резервированной системы, в том числе вероятность реализации плановой наработки, достаточно высокие. Однако экономическая целесообразность принятого уровня резервирования системы может быть установлена только оценкой критерия оптимальности (5), последовательно увеличивая число резервных элементов  $m$  до достижения  $\max P$ .

Определение функции  $\bar{F}_{n,m}(t)$  усложняется с увеличением числа элементов в системе, а также при некоторых распределениях их наработки на отказ, отличных от закона Вейбулла-Гнеденко. Поэтому при необходимости для систем, требующих достаточно высокой вероятности реализации планового задания, можно использовать приближённую формулу критерия оптимальности.

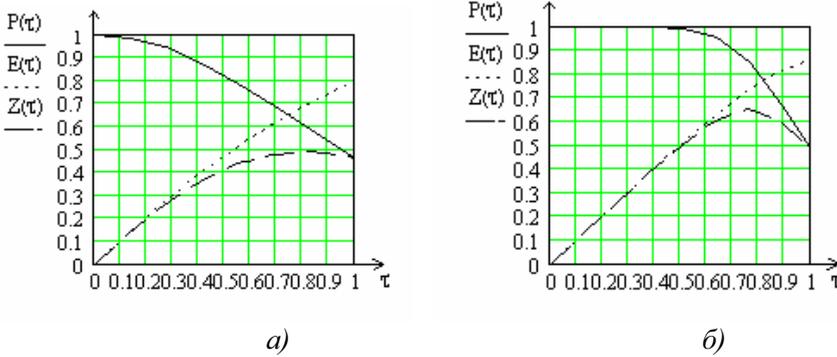


Рис. 1. Графики относительных зависимостей  $P(\tau)$ ,  $E(\tau)$  и  $Z(\tau)$  для системы, состоящей из  $n = 6$  основных элементов и  $m$  элементов нагруженного резерва:  
а)  $m = 0$  (нерезервированная система);  
б)  $m = 4$  (резервированная система)

На рис.1 показаны графики зависимости показателей надёжности нерезервированной ( $n = 6, m = 0$ ) и резервированной ( $n = 6, m = 4$ ) систем от относительной наработки  $\tau$ , приведенной к общей средней наботке соответствующей системы

$$\tau = \frac{t}{T_{n,m}} = t \int_0^{\tau} \overline{F}_{n,m}(\tau T_{n,m}) d\tau \quad (12)$$

Относительные значения приведенных на графиках рис.1 величин определены из соотношений

$$P_{n,m}(\tau) = \overline{F}_{n,m}(\tau T_{n,m}), \quad E_{n,m}(\tau) = \int_0^{\tau} \overline{F}_{n,m}(\tau T_{n,m}) d\tau, \quad (13)$$

$$Z_{n,m}(\tau) = \tau P_{n,m}(\tau). \quad (14)$$

Соотношение (14) получено в результате замены точной зависимости (4) приближённой формулой

$$T_{n,m}(T_p) = T_p \overline{F}_{n,m}(T_p). \quad (15)$$

Представленные на рис.1 зависимости (индексы в обозначениях относительных величин не показаны) соответствуют исходным данным, принятым для расчётов показателей надёжности систем, представленных в табл.2. Рассматриваемые системы существенно отличаются уровнем надёжности. В частности, вероятность выполнения планового задания

нерезервированной системой  $P_{60}(T_p = 80) = 0,38$  и резервированной  $P_{64}(T_p = 80) = 0,99$ . Однако, относительные кривые  $E(\tau)$  и  $Z(\tau)$  на участках наработки с требуемой вероятностью безотказной работы систем больше 0.85 практически совпадают, то есть совпадают результаты расчётов по точной и приближённой формулам (4), (15). Такое совпадение подтверждается многими другими расчётами. Это даёт основание для систем с требуемой вероятностью реализации планового задания  $P\{T_p \leq T_n\} \geq 0.85$ , что обычно и требуется в современных системах, применять более удобную в практических расчётах формулу критерия оптимизации с использованием зависимости (15)

$$\begin{aligned} \max \Pi = & n(c_\delta - c_\gamma)T_p \bar{F}_{n,m}(T_p) + c_0[T_n - T_p \bar{F}_{n,m}(T_p)] - \\ & - m(c_{\delta p} - c_{\gamma p})T_p \{\bar{F}_{n,m}(T_p) - [\bar{F}_0(T_p)]^n\}. \end{aligned} \quad (16)$$

Учитывая условие применения выражения критерия оптимальности в форме (14), задача решается поэтапно. Вначале по формуле (6) определяют минимальное число резервных элементов  $m$ , достаточное для обеспечения заданной вероятности реализации работы за нормативное время  $T_n$ . Далее, используя совместно формулы (6) и (14), находят оптимальное число резервных элементов  $m_{opt}$ .

### Выводы

1. Разработан метод расчёта оптимального уровня нагруженного резервирования систем составленных из элементов, имеющих одинаковые технологические характеристики и показатели надёжности.

2. Предложенный метод расчёта достаточно удобный для практического использования, в том числе в составе программы системы автоматизации управления соответствующими технологическими комплексами в части оперативного планирования их работы.

3. Полученные в процессе исследования математические зависимости для расчёта показателей надёжности могут использоваться при решении других задач, связанных с эксплуатацией систем рассматриваемого вида.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гнеденко Б.В., Беляєв Ю.К., Соловьев А.Д. *Математические методы в теории надежности*. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
2. Зубко Н.Ф. *Надёжность в задачах эксплуатации машин*. – Одесса: ТЕС, 2008. – 250 с.
3. Половко А.М., Гуров С.В. *Основы теории надёжности*. – СПб.: БХВ, 2006. – 702 с.
4. *Энциклопедия «Машиностроение». Т. IV-3. Надёжность машин / Под ред. В.В. Клюева*. – М.: Машиностроение, 2001. – 592 с.

*Стаття надійшла до редакції 20.03.2012*

**Рецензент** – доктор економічних наук, професор, зав. кафедри «Менеджмент і маркетинг» Одеського національного морського університету **М.Я. Постан.**

УДК 621.873.254

П.М. Стрельцов

ГАШЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА ПРИ ЕГО ПЕРЕМЕЩЕНИИ  
НА ПОДВЕСЕ ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ

*Предложены алгоритмы расчета параметров управления грузовой тележкой, обеспечивающего гашение колебаний груза при его переносе на подвесе переменной длины. Дана оценка эффективности возможной реализации подобных законов управления при помощи автоматических устройств.*

**Ключевые слова:** перегружатель, математическая модель, управление грузовой тележкой, гашение колебаний, подвес переменной длины.

*Запропоновано алгоритми розрахунку параметрів управління вантажним візком, що забезпечує гасіння коливань вантажу під час його переносу на підвісі змінної довжини. Надано оцінку ефективності можливої реалізації отриманих законів управління за допомогою автоматичних приладів.*

**Ключові слова:** перевантажувач, математична модель, управління вантажним візком, гасіння коливань, підвіс змінної довжини.

*The algorithms of calculation of the crane trolley control, which provides the damping of cargo sway during transportation on the rope with varying length, are proposed. Efficiency of possible realization of proposed controls is assessed.*

**Keywords:** unloader, mathematical simulation, control of cargo trolley, damping of sway, varying rope-length.

**Введение.** Современные крупные рейферные перегружатели, используемые при разгрузке судов с навалочными грузами, снабжаются системами автоматического управления, обеспечивающими перенос груза от судна к бункеру с одновременным гашением колебаний груза в конце пути. Подобные системы часто устанавливаются (по желанию покупателя) и на причальных контейнерных перегружателях. Как показано в работе [1], достаточно хорошо разработаны методы расчета управлений, позволяющих погасить колебания груза при его переносе на подвесе постоянной длины. Однако для сокращения длительности рабочего цикла горизонтальное перемещение груза стремятся как можно полнее сочетать с его подъемом или опусканием, что приводит к необходимости применять методы управления, соответствующие условиям совместной работы механизмов.

Один из таких методов рассмотрен в работе [2]. Предлагаемые в ней способы управления тележкой не предполагают полного использования возможностей машины.

В статьях [3] и [4] обсуждаются современные системы автоматизации, способные реализовать управления, обеспечивающие эффективное гашение колебаний груза при работе контейнерных и грейферных перегружателей.

**Постановка задачи.** Целью исследования является разработка способов расчета рациональных (близких к оптимальному и удобных для реализации) законов управления грузовой тележкой перегружателя при переносе ею груза на подвесе переменной длины. Основным методом исследования является математическое моделирование движения грузовой тележки, на основании которого может быть организован поиск требуемых законов управления.

**Результаты** исследования представлены ниже.

Характер вертикального перемещения груза определяется геометрическими параметрами цикла и свойствами привода. Устанавливаемые на перегружателях приводы позволяют плавное независимое от нагрузки регулирование скорости и ускорения механизмов. При этом закон изменения длины подвеса можно считать заданным, а в качестве параметра управления тележкой, осуществляющей горизонтальное перемещение, принимать ее ускорение.

Потребный для гашения колебаний груза закон движения тележки можно определить на основе математической модели системы тележка-груз.

В качестве математической модели используют уравнения движения этой системы. Ее расчетная схема представлена на рис. 1.

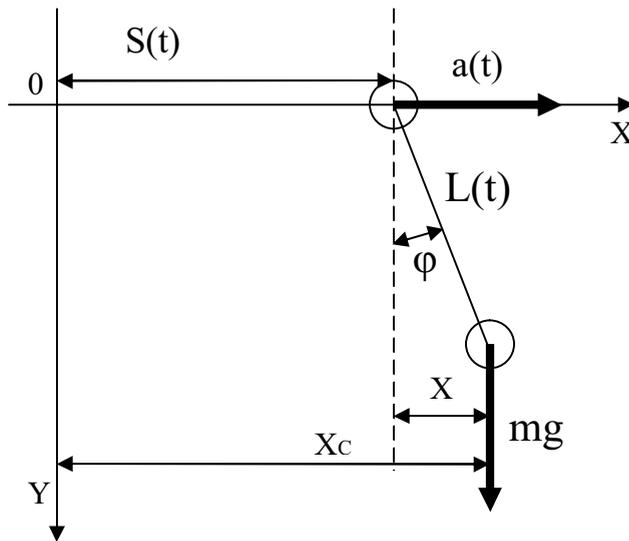


Рис. 1. Расчетная схема системы тележка-груз

В состав схемы входит точка подвеса, перемещающаяся горизонтально по некоторому закону  $s(t)$ , и соединенный с ней невесомой нерастяжимой нитью груз массой  $m$ . Нить является голономной нестационарной связью, ее длина задается в виде некоторой функции времени  $l(t)$ . Колебания груза происходят под воздействием стационарной потенциальной силы (силы тяжести). Система имеет одну степень свободы, которой соответствует обобщенная координата  $\varphi$  – угол отклонения грузового каната от вертикали.

Для вывода уравнения движения такой системы может быть использовано уравнение Лагранжа, имеющее вид

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = 0. \quad (1)$$

где  $L$  – функция Лагранжа, равная разности между кинетической  $T$  и потенциальной  $\Pi$  энергиями системы.

Горизонтальная  $X_c$  и вертикальная  $Y_c$  координаты груза определяются выражениями

$$\begin{aligned} X_c &= s(t) + l(t) \sin \varphi; \\ Y_c &= l(t) \cos \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения для горизонтальной и вертикальной скоростей груза имеют вид

$$\begin{aligned} X'_c &= s' + l' \sin \varphi + l \varphi' \cos \varphi; \\ Y'_c &= l' \cos \varphi - l \varphi' \sin \varphi. \end{aligned} \quad (3)$$

Потенциальная энергия равна

$$\Pi = -mgY_c = -mgl \cos \varphi \quad (4)$$

Для кинетической энергии, опуская несложные преобразования, получим

$$T = \frac{m}{2} (X_c'^2 + Y_c'^2) = \frac{m}{2} (s'^2 + l'^2 + l^2 \varphi'^2 + 2l' s' \sin \varphi + 2l s' \varphi' \cos \varphi). \quad (5)$$

Функция Лагранжа

$$L = T - \Pi = (s'^2 + l'^2 + l^2 \varphi'^2 + 2l' s' \sin \varphi + 2l s' \varphi' \cos \varphi) + mgl \cos \varphi. \quad (6)$$

Частная производная  $L$  по обобщенной скорости  $\dot{\varphi}$  имеет вид

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} = ml^2 \dot{\varphi} + mls' \cos \varphi. \quad (7)$$

Ее производная по времени

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} = 2mll' \dot{\varphi}' + ml^2 \ddot{\varphi}'' + ml' s' \cos \varphi + mls'' \cos \varphi - mls' \dot{\varphi}' \sin \varphi. \quad (8)$$

Производная функции Лагранжа по обобщенной координате  $\varphi$

$$\frac{\partial L}{\partial \varphi} = ml' s' \cos \varphi - mls' \dot{\varphi}' \sin \varphi - mgl \sin \varphi. \quad (9)$$

Подставляя найденные выражения в уравнение Лагранжа (1), после сокращения подобных получим

$$2mll' \dot{\varphi}' + ml^2 \ddot{\varphi}'' + mls'' \cos \varphi + mgl \sin \varphi = 0. \quad (10)$$

Откуда

$$\ddot{\varphi}'' = -\frac{s''}{l} \cos \varphi - \frac{g}{l} \sin \varphi - 2 \frac{l' \dot{\varphi}'}{l}. \quad (11)$$

В полученном уравнении, описывающем движение точки подвеса и груза, используется обобщенная координата  $\varphi$ . Однако часто при исследовании движения крановых установок в качестве обобщенной координаты удобнее использовать величину отклонения  $X$  груза от вертикали, проходящей через точку подвеса. Запишем уравнение Лагранжа, используя обобщенную координату  $X$ .

Координаты  $X$  и  $\varphi$  связаны выражением

$$\sin \varphi = \frac{X}{l}. \quad (12)$$

Продифференцировав его дважды по времени, получим

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}' \cos \varphi &= \frac{X'}{l} - \frac{Xl'}{l^2}; \\ \ddot{\varphi}'' \cos \varphi - \dot{\varphi}'^2 \sin \varphi &= \frac{X''}{l} - 2 \frac{X'l'}{l^2} - \frac{Xl''}{l^2} + 2 \frac{Xl'^2}{l^3}. \end{aligned} \quad (13)$$

Выразив, используя выведенные уравнения, производные  $\dot{\varphi}'$  и  $\ddot{\varphi}''$  через новую обобщенную координату  $X$  и ее производные и подставив эти выражения в (11), получим уравнение Лагранжа в виде

$$\begin{aligned} &\frac{X''}{l \cos \varphi} - 2 \frac{X'l'}{l^2 \cos \varphi} - \frac{Xl''}{l^2 \cos \varphi} + 2 \frac{Xl'^2}{l^3 \cos \varphi} + \\ &+ \frac{X^2 \sin \varphi}{l^2 \cos^2 \varphi} + \frac{X^2 l'^2 \sin \varphi}{l^4 \cos \varphi} - 2 \frac{XX'l' \sin \varphi}{l^3 \cos^3 \varphi} = \\ &= -\frac{s''}{l} \cos \varphi - \frac{g}{l} \sin \varphi - 2 \frac{X'l'}{l^2 \cos \varphi} + 2 \frac{Xl'^2}{l^3 \cos \varphi}. \end{aligned} \quad (14)$$

Опуская пренебрежимо малые слагаемые и учитывая, что вследствие малости колебаний можно полагать  $\cos \varphi = 1$ , после сокращения подобных получим

$$X'' = -s'' - \frac{g - l'' + \frac{X'^2}{l}}{l} X. \quad (15)$$

Таким образом, ускорение  $X''$  груза относительно точки подвеса определяется ускорением  $s''$  точки подвеса и абсолютным горизонтальным ускорением груза, вызванным горизонтальной составляющей усилия в канате. Это усилие, в свою очередь, зависит от веса груза, силы инерции, возникающей при изменении длины подвеса с ускорением  $l''$ , и центробежной силы, обусловленной ускорением  $\frac{X'^2}{l}$ .

Одной из главных задач системы автоматического управления крупным перегружателем является реализация таких законов управления  $s''(t)$ , при которых обеспечивается гашение раскачивания груза к моменту окончания разгона или торможения тележки. При переменной длине подвеса «традиционный» способ, предполагающий обеспечение равенства времени разгона периоду раскачивания, оказывается непригодным.

Для выполнения условий гашения колебаний, состоящих в том, что в момент окончания разгона отклонение  $X$  груза от вертикали и его скорость равны нулю, нужно менять определенным образом ускорение точки подвеса. Сравнительно просто организовать линейное изменение ускорения по закону

$$s''(t) = a + bt. \quad (16)$$

Для определения параметров  $a$  и  $b$ , обеспечивающих условия гашения, можно предложить следующий алгоритм:

- задаются произвольными значениями параметров  $a$  и  $b$  и при полученном законе  $s''(t)$  выполняют численное интегрирование уравнения (15) до момента, когда  $X$  станет равным нулю;

- если в этот момент скорость изменения отклонения отлична от нуля, изменяют на шаг значение  $b$  и снова выполняют интегрирование;

- указанный процесс повторяют до тех пор, пока при некотором  $b$  скорость будет равна нулю  $X' = 0$ ;

- если при этих значениях  $a$  и  $b$  скорость точки подвеса будет ниже заданной, увеличивают на шаг параметр  $a$  и выполняют описанный выше процесс;

- указанный итерационный процесс продолжают до тех пор, пока не будут найдены значения  $a$  и  $b$ , при которых в момент достижения точкой подвеса заданной скорости отклонение  $X$  и его скорость  $X'$  будут равны нулю.

На основе предложенного алгоритма составлена программа для численного расчета на ЭВМ параметров управления, приводящего к гашению раскачивания груза при его переносе на подвесе переменной длины.

В качестве примера успешной работы программы на рис. 2 представлены графики изменения параметров движения системы тележка-груз, составленные по результатам расчета управления тележкой для следующих условий:

- путь тележки – 24 м;
- предельные скорость и ускорение тележки, соответственно – 3 м/с. и  $1,2 \text{ м/с}^2$ ;
- длина подвеса сокращается от 18 до 9 м со скоростью 1 м/с, замедление в конце подъема –  $1 \text{ м/с}^2$ .

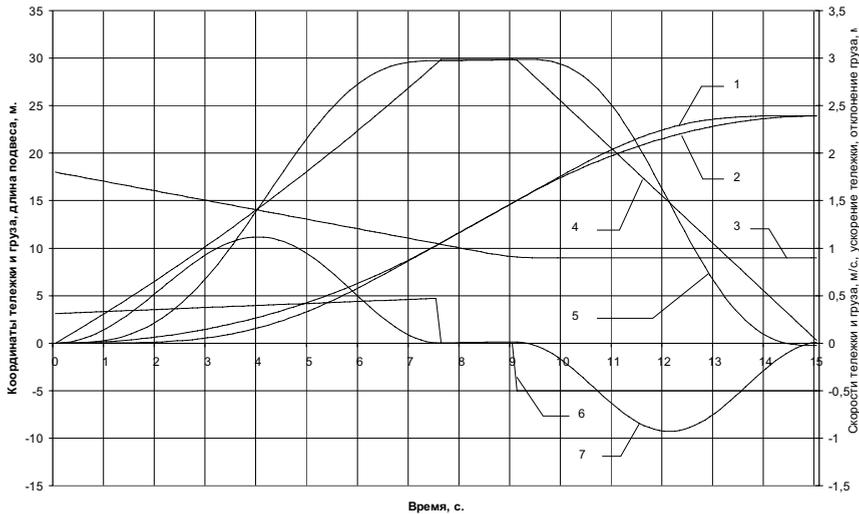


Рис. 2. Графики параметров движения системы тележка-груз при «традиционном» управлении

где 1 – путь груза; 2 – путь тележки; 3 – длина подвеса;  
4 – скорость тележки; 5 – скорость груза; 6 – ускорение тележки;  
7 – отклонение груза

В соответствии с расчетом ускорение тележки должно изменяться по закону

$$s'' = 0,312 + 0,021t.$$

Как видно из графиков, колебания груза при таком управлении к концу разгона будут погашены. Время разгона при этом составит 7,6 с. Гашение колебаний при торможении осуществляется традиционным способом, длительность торможения – 6 с. Общее время переноса груза равно 14,8 с.

Недостатком описанного метода гашения является затягивание переходных процессов из-за необходимости выполнять их с относительно низкими ускорениями. Так, используемое максимальное ускорение равно  $0,474 \text{ м/с}^2$  при допустимом  $1,2 \text{ м/с}^2$ . Такое недоиспользование возможностей машины приводит к заметному снижению ее производительности.

К достоинствам метода следует отнести сравнительную простоту реализации необходимого управления.

Еще одна возможность гашения колебаний на подвесе, длина которого изменяется заданным образом, заключается в том, что можно задать некоторый рациональный закон  $X = f(t)$  изменения отклонения груза, предусматривающий выполнение условий гашения колебаний. Подставив выражения для  $X(t)$  и его производных в (15), можно найти управление  $s''(t)$ , при котором обеспечивается заданный закон колебаний груза.

Так, если задаться  $X(t) = a(1 - \cos kt)$ , то из (15) для  $s''(t)$  получим

$$s''(t) = -X''(t) - \frac{g}{l(t)} X = -ak^2 \cos kt - a \frac{g}{l(t)} (1 - \cos kt) \quad (17)$$

При таком законе время разгона  $t_p$  равно периоду колебаний  $\tau = \frac{2\pi}{k}$ .

Т.е. время разгона велико, а используемое ускорение далеко от предельного, допускаемого установленным приводом. Управление можно значительно улучшить. Для этого нужно найти такие значения параметров  $a$  и  $k$ , при которых время разгона при соблюдении ограничения  $|s''| \leq s''_{\max}$  будет минимальным. Для определения таких параметров можно использовать следующий алгоритм:

- задаются произвольными значениями параметров  $a$  и  $k$  и при определяемом по формуле (17) законе  $s''(t)$  выполняют численное интегрирование уравнения (15) до момента  $t_p = \frac{2\pi}{k}$ ;

- если в этот момент скорость тележки  $s'$  будет меньше заданной, увеличивают на шаг значение  $a$  и снова выполняют интегрирование;

- указанный процесс повторяют до тех пор, пока скорость тележки не станет равной заданной;

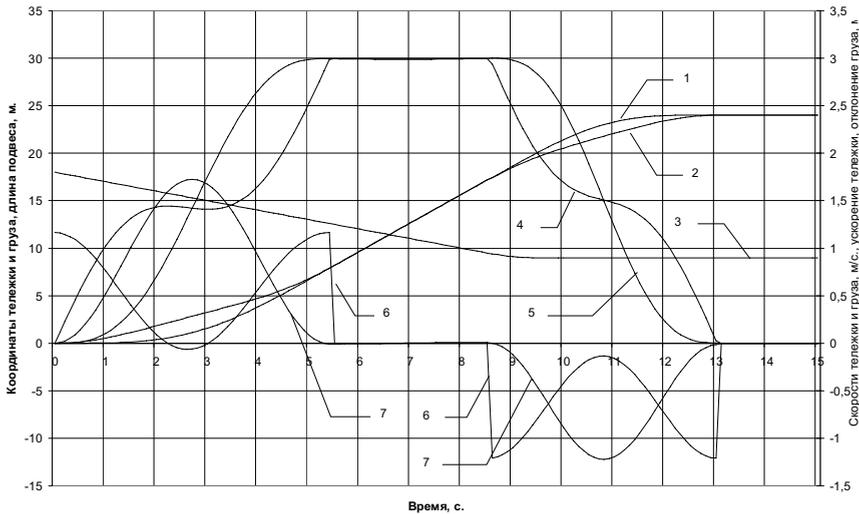
- если при найденном значении  $a$  максимальная величина ускорения  $s''(t)$  будет ниже допустимой, увеличивают на шаг значение  $k$  и повторяют весь описанный выше процесс;

- увеличение  $k$  продолжают до тех пор, пока не будут получены такие значения параметров  $a$  и  $k$ , при которых максимальное ускорение будет достигать предельной величины.

На основе рассмотренного алгоритма составлена программа для численного расчета на ЭВМ оптимальных параметров управления вида (17).

При помощи программы выполнен расчет оптимальных параметров управления тележкой для тех же геометрических условий, что и в предыдущем случае. Новые управления рассчитаны как для разгона тележки, который сочетается с подъемом груза, так и для ее торможения, выполняющегося при постоянной длине подвеса. По результатам расчета составлены графики изменения параметров движения системы тележка-груз, представленные на рис. 3.

Как видно из графиков, рассчитанное управление позволяет за счет максимального использования возможностей привода переместить тележку на заданное расстояние и погасить колебания груза, возникающие при переходных процессах, за существенно меньшее, чем в предыдущем случае, время.



*Рис. 3. Графики параметров движения системы тележка-груз при заданном законе колебаний груза  
где 1 – путь груза; 2 – путь тележки; 3 – длина подвеса;  
4 – скорость тележки; 5 – скорость груза; 6 – ускорение тележки;  
7 – отклонение груза*

### Выводы

1. Описанный численный метод позволяет рассчитывать управления грузовой тележкой, обеспечивающие эффективное гашение колебаний груза при его переносе на подвесе переменной длины.

2. Предложенные близкие к оптимальным по времени способы управления предусматривают наиболее полное использование технических возможностей перегружателя.

3. Реализация подобных управлений современными средствами автоматики обеспечит работу перегружателей с близкой к максимальной производительностью

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuntze B. *Stand der Automation in der Hebe- und Fordertechnik* / B.Kuntze, W.Hupe, H.Strobel // *Hebezeuge und Formermittel*. – 1969. – № 9. – P. 76-89.
2. Verschoof J. *Cranes – Design, Practice and Maintenance (Chapter 6. Sway and swing; automation of the trolley travelling mechanism)*// *Professional Engineering Publishing*. – 2002.– P. 167-173.
3. Christerson M. *Meeting the demands of larger vessels with larger and faster cranes* // *Port Technology International*. – 2008. – Vol. 40. – P. 59-62.
4. Bao Qifan. *Research and development of automatic bulk cargo equipment in modern ports* // *Port Technology International*. – 2009. – Vol. 41. – P. 88-93.

Стаття надійшла до редакції 20.12.2011

**Рецензент** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Підйомно-транспортні машини та механізація перевантажувальних робіт» Одеського національного морського університету **М.Ф. Зубко**.

УДК 519.863

С.П. Онищенко, В.Ю. Смирковская

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
ВЕРТИКАЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ СТРУКТУР**

*Разработана экономико-математическая модель формирования оптимальной вертикально-интегрированной структуры для трех основных вариантов интеграции, учитывающая системные эффекты и затраты на организацию и функционирование данной структуры*

**Ключевые слова:** модель, производственно-распределительная структура, вертикальная интеграция, системный эффект

*Розроблено економіко-математичну модель формування оптимальної вертикально-інтегрованої структури для трьох основних варіантів інтеграції, що враховує системні витрати і ефекти.*

**Ключові слова:** модель, виробнично-розподільна структура, вертикальна інтеграція, системний ефект

**Summary:** *The model of optimization of vertically-integrated structure for three basic variants of integration, taking into account system effects and expenses on organization and functioning of this structure is proposed*

**Keywords:** *model, production and distribution system, vertical integration, a systemic effect*

**Введение.** Стратегическое управление – сфера, которой исследователи уже несколько десятилетий уделяют весьма значительное внимание [1, 5, 6, 8, 14, 22]. Одна из центральных задач стратегического управления – обоснование стратегии в соответствии с состоянием внутренней и внешней среды предприятия.

Следует отметить, что у современных авторов отсутствует единство в классификации стратегий, очевидно, в силу того, что генеральная линия поведения компании – стратегия – реализуется на различных уровнях (корпоративном, отдельного бизнеса, продукта), затрагивает разные по функциональному содержанию сферы деятельности предприятия (маркетинг, финансы, производство и т.д.) и формирует определенное отношение к конкурентам, потребителям, поставщикам, перспективам бизнеса и т.д. (то есть к элементам рыночной структуры или к рынку в целом).

Будем придерживаться мнения, высказанного в [23], согласно которому на корпоративном уровне реализуются стратегии диверсифицированного или интегрированного роста, остальные стратегии связаны с решениями по отдельному бизнесу (продукту) либо с функциональными областями предприятия.

В классическом понимании, стратегия интеграции реализуется в широком диапазоне: по вертикали – от усиления контроля за поставщиками и распределительной сетью до собственного владения этими бизнесами; по горизонтали – кооперация с конкурентами или приобретение их бизнеса [1, 6, 8, 16, 22, 23].

Для большинства вертикально интегрированных объединений характерна следующая цепочка: добыча сырья, переработка, упаковка, хранение, транспортировка, распределение. Горизонтальная интеграция происходит в случае, когда одна фирма берет под контроль или поглощает другую фирму той же отрасли производства [12].

Основные цели интеграции: повышение стоимости компании, увеличение рыночной доли, снижение издержек, повышение конкурентоспособности и получение дополнительных конкурентных преимуществ, повышение качества продукции (услуг).

По мнению большинства исследователей, в качестве критерия целесообразности интеграции выступает синергетический эффект [2, 3, 11, 13, 15, 18], который формально может выражаться в достижении одной (или одновременно нескольких) из указанных выше целей интеграции (увеличение рыночной доли, конкурентоспособности и др.) при использовании меньшего количества ресурсов, чем, если бы эта цель достигалась компаниями в одиночку.

Интеграция может реализовываться в различных организационных формах: ассоциациях, альянсах, концернах, конгломератах, холдингах, консорциумах, пулах и т.д. В [4] предложено все организационные формы интеграции классифицировать как «жесткие» и «мягкие». «Жесткие» формы предполагают потерю самостоятельности участников практически во всех аспектах деятельности, «мягкие» направлены на консолидацию конкурентных преимуществ участников без потери самостоятельности.

В центре внимания настоящего исследования – стратегия вертикальной интеграции, предполагающая объединение участников с использованием различных организационных форм.

**Анализ исследований и выделение нерешенной части проблемы.** Круг вопросов, связанных с обоснованием стратегии интеграции, может быть представлен в виде следующих блоков:

1. Стратегический анализ.
2. Формирование основных положений интеграции (разработка образа интегрированной структуры – идентификация звеньев, функций, условий взаимосвязей, стоимостей компании (в случае слияния или поглощения) и т.п.).
3. Отбор участников из множества возможных вариантов с учетом поставленных условий.

Каждому из указанных блоков соответствуют достаточное количество современных научных публикаций, но большая часть из них носит описательный характер, и лишь немногие исследователи предлагают

формализованный инструментарий для решения задач, возникающих в процессе разработки стратегии интеграции.

Так, на весьма высоком уровне исследованы организационные формы интеграции в работе Владимировой И.Г. [4]. Теоретические положения по оценке стоимостей компаний после объединения (в случае слияний и поглощений) представлены в работах Эванса Ф.Ч., Бишопы Д.М. [25], Рудык Н.Б., Семенкова Е.В. [20], Бандурина А.В. [2], Скопенко Н.С. [21], Игнатишина Ю.В. [10], Евдокимова Ф.И., Розумной Н.В. [9]. Отметим, что это направление является одним из самых проработанных, как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе.

Отдельные аспекты функционирования и развития интегрированных структур представлены в работах Голубева А.А. [5], Горбатова В.М. [7], Пилипенко А.А [18], Прутник Э.А. [19].

Вопрос, который практически не освещен в современной научной литературе, – оптимизация состава участников, условий их объединения и функционирования. В работах [24, 17] предлагался инструментарий для решения подобных задач – синтеза производственной структуры и оптимизации сетевого предприятия, но, следует отметить, что данные разработки не учитывают затраты и эффекты объединения. Поэтому, считаем актуальным дальнейшее исследование указанной проблемы, приняв за базу результаты, представленные в [17, 24].

**Цель статьи.** Исходя из вышесказанного, целью данной статьи является разработка экономико-математической модели, позволяющей оптимизировать состав участников для различных условий их объединения с учетом системных эффектов интеграции.

**Результаты.** Из множества возможных с точки зрения условий и организационных форм вариантов интеграции, мы выделили три, которые чаще всего используются в практике современного украинского бизнеса:

1) интеграция с целью совместного обслуживания или создания интеллектуального продукта при условии сохранения самостоятельности участников (альянс);

2) интеграция с целью совместного производства с учетом пространственного расположения участников при сохранении их самостоятельности (альянс, консорциум);

3) совместное производство в рамках единого предприятия с учетом транспортного фактора (концерн, холдинг).

Таким образом, в указанных ситуациях интегрированная структура производит конечный продукт, в первом случае – комплекс услуг или интеллектуальный продукт, в двух других – материальный продукт.

Итак, рассматривается технологический цикл, состоящий из  $J$  звеньев. Функции каждого звена могут реализовываться одним или несколькими предприятиями из множества претендентов  $\{U_j\}$ . Задача: сформировать из альтернативных вариантов тот набор участников, который бу-

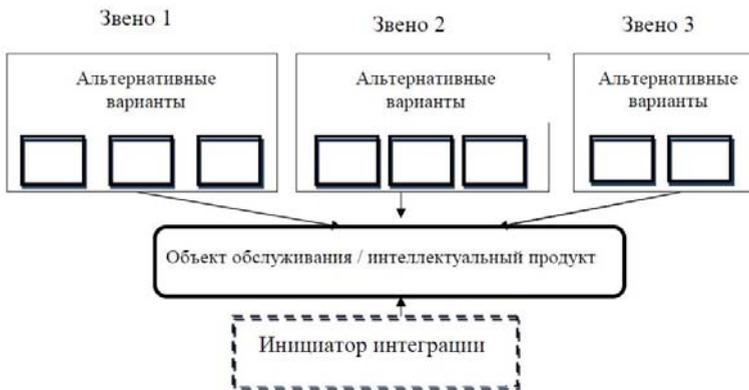
дет соответствовать поставленным производственным, коммерческим, экономическим и прочим требованиям.

*Интеграция с целью совместного обслуживания  
или создания интеллектуального продукта*

Итак, в первой ситуации создается «мягкая» форма интеграции - по сути, альянс – с целью совместного предоставления услуг или создания интеллектуального продукта. Например, на рынке морского транспортного сервиса такие объединения возникают в связи с оказанием комплекса услуг судовладельцам или грузовладельцам. Так, компания-экспедитор, подбирает партнеров для совместного обслуживания грузопотока, то есть оказания услуг по автоперевозке, таможенному оформлению, хранению грузов и т.д. Все участники сосредоточены в рамках определенной территории, поэтому основными критериями отбора являются стоимость, качество (потребительская ценность), надежность сервиса.

Интеллектуальный продукт (программное обеспечение, проектная документация и т.д.) создается вне зависимости от местоположения участников и интегрируется в единое целое, благодаря, например, CALS-технологиям. Критерии отбора участников те же, что и в первом случае.

Системный эффект в таких ситуациях проявляется в виде определенного уровня потребительской ценности услуг (интеллектуального продукта), который определяется указанными выше характеристиками. Таким образом, организатор обслуживания (создания интеллектуального продукта) формирует интегрированную структуру, в которой берет на себя функции координатора (рис.1).



*Рис. 1. Принципиальная схема ситуации отбора участников  
для совместного обслуживания*

Не ограничивая общности, дальнейшие рассуждения будем вести для объединения с целью оказания комплекса услуг. Итак, пусть интеграция осуществляется с целью предоставления услуг в объеме Q (единиц заявок, клиентов, товаров, грузовых партий и т.п.).

Введем обозначения:

$q_{ju}$  – параметр управления – загрузка (объем работы) предприятия  $U$  в  $j$ -м звене;

$c_{ju}(q_{ju}, K_{ju})$  – стоимость производства единицы продукции  $U$ -го предприятия в  $j$ -м звене качества (потребительской ценности)  $K_{ju}$ ;

$\mu_{ju}$  – мощность предприятия  $U$  в  $j$ -м звене (максимальное количество продукции, которое потенциально может быть произведено в единицу времени);

$\mu_j(Q)$  – загрузка звена  $j$ , исходя из объема работы для всей системы в целом;

$P_{ju}$  – вероятность сохранения работоспособности  $U$ -го предприятия в  $j$ -м звене (надежность предприятия);

Вспомогательный логический параметр

$$x_{ju} = \begin{cases} 1, & \text{если } q_{ju} \geq 0 - \text{выбор в } j\text{-ом звене } u\text{-го предприятия;} \\ 0 - & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Естественно, что отказ системы (сбои в работе) влекут денежные потери (например, штрафы). Пусть средние потери на единицу продукции составляют  $C^H$ , тогда потери всей системы в случае сбоев составят

$$R = C^H * Q * (1 - \prod_{j=1}^J \prod_{\substack{u \in U_j \\ x_{ju} \neq 0}} P_{ju} x_{ju}), \quad (1)$$

$(1 - \prod_{j=1}^J \prod_{\substack{u \in U_j \\ x_{ju} \neq 0}} P_{ju} x_{ju})$  – вероятность того, что хотя бы одно предприятие системы утратило работоспособность (следует из свойства суммы вероятностей совместных событий  $P(A+B+\dots+N) = 1 - P(\overline{A \cdot B \cdot \dots \cdot N})$ , сумма совместных событий означает, что происходит или одно, или два, или и т.д., или все события одновременно).

Стоимость комплекса услуг для единицы обслуживания составляет  $f(K, Q)$ , а для заданного объема  $Q$  динамика  $f(K)$  имеет вид, представленный на рис. 2, где  $K$  – интегрированный показатель качества (потребительской ценности) услуг, который может определяться как

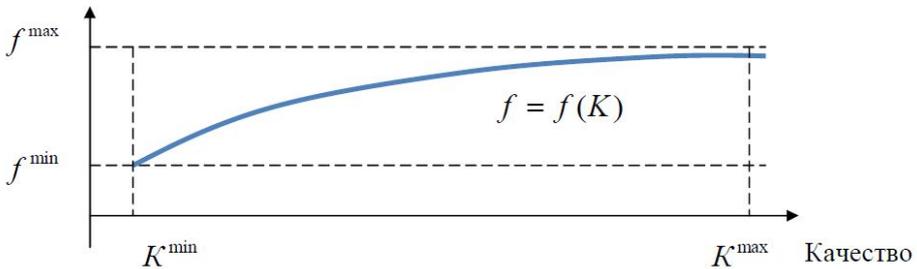
$$K = \sum_{j=1}^J \alpha_j K_j, \quad (2)$$

где  $\alpha_j$  – вес качества обслуживания каждого звена в интегрированной оценке. С учетом того, что в сформированной системе несколько предприятий могут выполнять функции звена с разным уровнем качества (в тех случаях, когда объем работы превышает мощности отдельных предприятий), то будем полагать, что уровень качества звена в целом будет определяться следующим образом:

$$K_j = \frac{1}{\mu_j(Q)} \sum_{\substack{u \in U_j \\ K_{ju} x_{ju} \neq 0}} q_{ju} \cdot K_{ju} \cdot x_{ju}, j = \overline{1, J}, \quad (3)$$

то есть

$$K = \sum_{j=1}^J \alpha_j \left( \frac{1}{\mu_j(Q)} \sum_{\substack{u \in U_j \\ K_{ju} x_{ju} \neq 0}} q_{ju} \cdot K_{ju} \cdot x_{ju} \right). \quad (4)$$



*Рис. 2. Принципиальная зависимость цены продукции от качества (потребительской ценности)*

Также следует отметить, что каждое предприятие-предприниматель может:

а) оказывать услуги только определенного качества (потребительской ценности);

б) обеспечивать различный уровень сервиса.

Поэтому, вообще говоря

$$K_{ju}^{\min} \leq K_{ju} \leq K_{ju}^{\max}, j = \overline{1, J}, u \in U_j \quad (5)$$

В этом случае  $K_{ju}$  является параметром управления.

Таким образом, доходы от предоставления услуг составляют  $f(K, Q) \cdot Q$ , а затраты –  $\sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} c_{ju}(q_{ju}, K_{ju}) \cdot q_{ju}$ .

Как правило, цель объединения – максимизация финансового результата участников, который зависит и от качества обслуживания, и от надежности всей системы

$$f(K, Q) \cdot Q - \sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} c_{ju}(q_{ju}, K_{ju}) \cdot q_{ju} - C^n \cdot Q \cdot \left(1 - \prod_{j=1}^J \prod_{\substack{u \in U_j \\ x_{ju} \neq 0}} p_{ju} \cdot x_{ju}\right) \rightarrow \max \quad (6)$$

Отметим, что выражение финансового результата (6) сформулировано с позиции инициатора объединения, то есть того, кто предлагает комплекс услуг потребителям и несет ответственность за качество и надежность обслуживания.

Достижение данной цели связано с соблюдением следующих ограничений:

- 1) по возможностям каждого предприятия

$$q_{ju} \leq \mu_{ju}, j = \overline{1, J}, u \in U_j ; \quad (7)$$

- 2) по загрузке звеньев

$$\sum_{u \in U_j} q_{ju} = \mu_j(Q), j = \overline{1, J} ; \quad (8)$$

- 3) по надежности всей системы (для заданного минимального уровня  $P^{\min}$ )

$$1 - \prod_{j=1}^J \prod_{\substack{u \in U_j \\ x_{ju} \neq 0}} p_{ju} \cdot x_{ju} \geq P^{\min} ; \quad (9)$$

- 5) по качеству для каждого звена и системы обслуживания в целом:

$$K^{\min} \leq \sum_{j=1}^J \alpha_j \left( \frac{1}{\mu_j(Q)} \sum_{\substack{u \in U_j \\ K_{ju} x_{ju} \neq 0}} q_{ju} \cdot K_{ju} \cdot x_{ju} \right) \leq K^{\max} ; \quad (10)$$

$$K_j^{\min} \leq \frac{1}{\mu_j(Q)} \sum_{\substack{u \in U_j \\ K_{ju} x_{ju} \neq 0}} q_{ju} \cdot K_{ju} \cdot x_{ju} \leq K_j^{\max}, j = \overline{1, J} ; \quad (11)$$

- 6) по объему услуг (количеству единиц обслуживания - заказов, заявок, клиентов и т.п.):

$$Q^{\min} \leq Q \leq Q^{\max} ; \quad (12)$$

- 7) по области значений переменных

$$q_{ju} \geq 0, j = \overline{1, J}, u \in U_j . \quad (13)$$

Модель (5)-(14) позволяет формировать состав участников объединения для осуществления совместного обслуживания с целью максимизации прибыли, с учетом качества услуг и возможных потерь, связанных с ненадежностью системы. Отметим, что уровень сервиса и объем услуг могут использоваться в качестве переменных (параметров управления), так и в качестве экзогенных параметров (в этом случае оптимизации подлежит только состав участников).

*Интеграция с целью совместного производства  
при сохранении самостоятельности участников  
с учетом их пространственного расположения*

В этой ситуации создается интегрированная структура, для которой важным является пространственное расположение участников (рис.3), поэтому целевая функция (6) модели (5)-(13) дополняется транспортными затратами

$$f(K, Q) \cdot Q - \sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} c_{ju}(q_{ju}, K_{ju}) \cdot q_{ju} - C^n \cdot Q \cdot \left(1 - \prod_{j=1}^J \prod_{\substack{u \in U_j \\ x_{uj} \neq 0}} p_{ju} \cdot x_{ju}\right) - \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{u \in U_j} \sum_{l \in U_{j+1}} c_{jul}^{mp}(y_{jul}) \cdot y_{jul} \rightarrow \max, \quad (14)$$

где  $y_{ul}^j$  – параметр управления, определяющий объемы перевозок между предприятиями  $u, l$  звеньев  $j, j+1, j = \overline{1, J-1}$ ;

$c_{jul}^{mp}(y_{jul})$  – усредненная величина транспортных затрат на единицу продукта между предприятиями соседних по технологической цепочке звеньев.

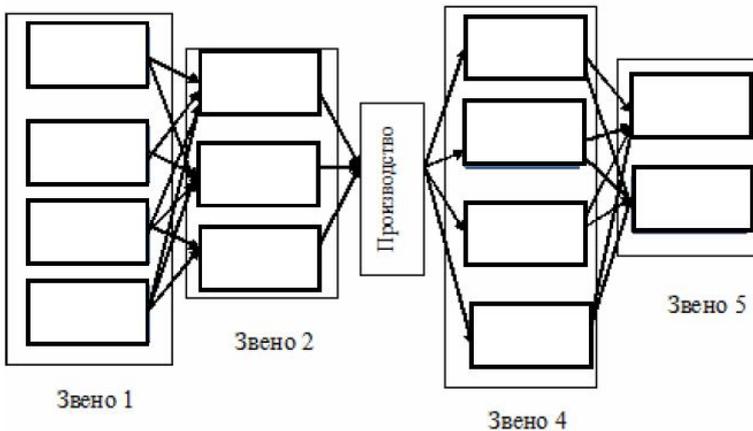


Рис. 3. Принципиальная схема ситуации отбора участников для интеграции с учетом их пространственного расположения

Также модель дополняется балансовыми ограничениями по ввозу-вывозу сырья (продукции) для каждого предприятия

$$v_j(q_{ju}) = \sum_{l \in U_{j+1}} y_{jul}, j = \overline{1, J-1}, u \in U_j \quad (15)$$

$$q_{j+1l} = \sum_{u \in U_j} y_{jul}, j = \overline{1, J-1}, l \in U_{j+1}, \quad (16)$$

где  $v_j(q_{ju})$ - функция, переводящая количество сырья в объем продукции звена (рис.4). Отметим, что после звена «производство» возможна доработка товара в виде, например, упаковки, формирования грузовых партий и т.п.;

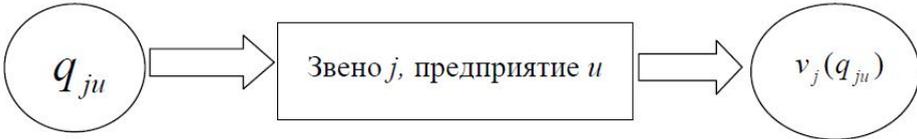


Рис.4. Схема перевода объема загрузки предприятия в объем продукции

Отметим, что модель (5), (7)-(16) не оптимизирует состав предприятий, осуществляющих транспортировку. По нашему мнению, эту проблему целесообразно решать в рамках самостоятельной задачи, учитывая определенные требования по качеству и мощности компаний-перевозчиков.

*Интеграция в единое предприятие с целью создания конечного продукта с учетом транспортного фактора*

В данной ситуации участники объединяются в единое предприятие, то есть создается «жесткая» форма интеграции (чаще всего – вертикальный концерн). Поэтому в целевой функции модели должны быть учтены расходы, связанные с вхождением и пребыванием участников в интегрированной структуре, и дополнительная прибыль, которая обуславливается возникающим эффектом синергизма (в большинстве случаев - под влиянием сокращения затрат).

Срок существования таких объединений – весьма значительный, более того, если интегрированная структура образуется путем поглощения компанией-инициатором остальных участников, то во многих случаях поглощенный бизнес требует значительных инвестиций, например, с целью обновления производственных фондов или увеличения производственных возможностей.

Поэтому, в отличие от предыдущих ситуаций, при оптимизации состава участников для данных условий необходимо учесть: а) размер

возможных инвестиций; б) эффективность инвестиций; в) синергизм; г) период существования интегрированной структуры.

Таким образом, целевая функция для рассматриваемой ситуации (17) – это суммарный поток денежных средств, который формируется за определенный промежуток времени, с учетом прибыли от реализации конечной продукции, расходов на объединение и необходимых инвестиций (рис. 5).

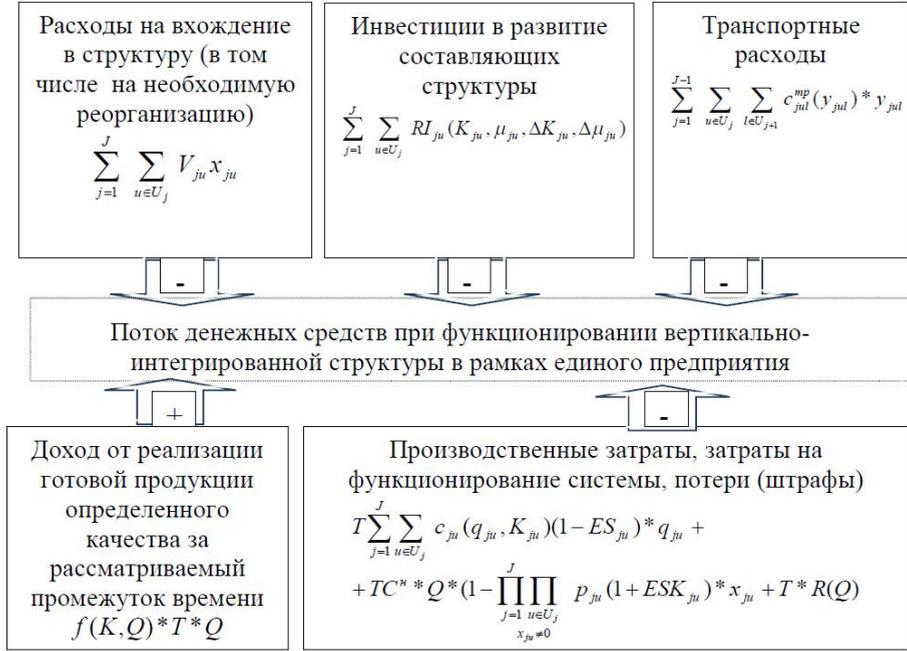


Рис.5. Структура потока денежных средств для варианта интеграции, предусматривающего потерю самостоятельности участников

$$\begin{aligned}
 & f(K, Q) * T * Q - \sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} RI_{ju}(K_{ju}, \mu_{ju}, \Delta K_{ju}, \Delta \mu_{ju}) - \\
 & - T \sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} c_{ju}(q_{ju}, K_{ju})(1 - ES_{ju}) * q_{ju} - \\
 & - TC^H * Q * (1 - \prod_{j=1}^J \prod_{u \in U_j} \prod_{x_{ju} \neq 0} p_{ju}(1 + ESK_{ju}) * x_{ju}) - \sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} V_{ju} x_{ju} - \\
 & - T \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{u \in U_j} \sum_{l \in U_{j+1}} c_{jul}^{mp}(y_{jul}) * y_{jul} - T * R(Q) \rightarrow \max,
 \end{aligned} \tag{17}$$

где  $T$  – предполагаемый срок существования структуры;

$ES_{ju}$  – коэффициент, определяющий долю сокращения расходов в процессе производства продукции  $u$ -го предприятия  $j$ -го звена за счет эффекта синергизма;

$ESK_{ju}$  – коэффициент, определяющий повышение надежности  $u$ -го предприятия в  $j$ -ом звене за счет интегрированного менеджмента. Область значений данных коэффициентов:

$$0 \leq ES_{ju} \leq 1, 0 \leq ESK_{ju} \leq 1, (1 + ESK_{ju})p_{ju} \leq 1, j = \overline{1, J}, u \in U_j; \quad (18)$$

$R(Q)$  – расходы, связанные с функционированием системы менеджмента, координирующей работу всех участников;

$V_{ju}$  – расходы, связанные с вхождением  $u$ -го предприятия  $j$ -го звена в интегрированную структуру;

$RI_{ju}(K_{ju}, \mu_{ju}, \Delta K_{ju}, \Delta \mu_{ju})$  – расходы инвестиционные, направленные: а) на улучшение качества (потребительской ценности)  $K_{ju}$  продукции  $u$ -го предприятия  $j$ -го звена на величину  $\Delta K_{ju}$ ; б) на увеличение мощности этого предприятия на величину  $\Delta \mu_{ju}$ .

К существующей системе ограничений (8)-(13),(15,16) следует добавить следующие:

- по мощности каждого предприятия с учетом возможности ее увеличения

$$q_{ju} \leq \mu_{ju} + \Delta \mu_{ju}, j = \overline{1, J}, u \in U_j; \quad (19)$$

- по возможностям увеличения качества (потребительской ценности):

$$\Delta K_{ju}^{\min} \leq \Delta K_{ju} \leq \Delta K_{ju}^{\max}, j = \overline{1, J}, u \in U_j; \quad (20)$$

- по финансовым возможностям инициатора объединения

$$\sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} (RI_{ju}(K_{ju}, \mu_{ju}, \Delta K_{ju}, \Delta \mu_{ju}) + V_{ju} \cdot x_{ju}) \leq S; \quad (21)$$

- по рентабельности инвестиций, направленных на формирование интегрированной структуры

$$(f(K, Q) \cdot Q \cdot T - R^{\text{экспл}} - R^{\text{инв}}) / R^{\text{инв}} \geq E, \quad (22)$$

где  $E$  – допустимый уровень рентабельности;  $R^{\text{инв}}$  – инвестиционные расходы;  $R^{\text{экспл}}$  – расходы, связанные с функционированием системы

$$R^{\text{инв}} = \sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} RI_{ju}(K_{ju}, \mu_{ju}, \Delta K_{ju}, \Delta \mu_{ju}) + \sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} V_{ju} \cdot x_{ju};$$

$$\begin{aligned}
 R^{експл} = & T \sum_{j=1}^J \sum_{u \in U_j} c_{ju}(q_{ju}, K_{ju})(1 - ES_{ju}) \cdot q_{ju} + \\
 & + TC^H \cdot Q \cdot (1 - \prod_{j=1}^J \prod_{u \in U_j} p_{ju}(1 + ESK_{ju}) \cdot x_{ju}) + \\
 & + T \sum_{j=1}^{J-1} \sum_{u \in U_j} \sum_{l \in U_{j+1}} c_{jul}^{mp}(y_{jul}) \cdot y_{jul} + T \cdot R(Q);
 \end{aligned}$$

- по области значения переменных

$$\Delta\mu_{ju} \geq 0, j = \overline{1, J}, u \in U_j \quad (23)$$

Таким образом, экономико-математическая модель (8-13), (17-23) формирует оптимальную вертикально-интегрированную («жесткую») производственную структуру с учетом расходов на ее создание и функционирование, а также системных эффектов, проявляющихся в повышении надежности, присутствии синергизма и достижении определенного уровня качества (потребительской ценности) конечной продукции (рис.6).

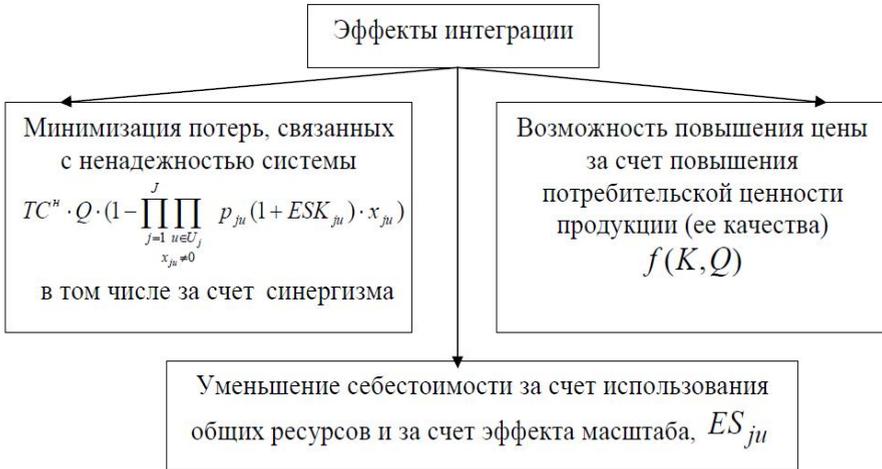


Рис. 6. Эффекты интеграции, учтенные при моделировании

Отметим, что модель не предусматривает оценку стоимости компании после интеграции. Считаем, что эта процедура должна проводиться на базе разработанных с помощью данной оптимизационной модели рекомендаций по составу объединения. Если оценка стоимости компании не устраивает инициаторов интеграции, то следует либо дополнить модель стоимостными ограничениями, либо использовать стоимостной «фильтр» на этапе формирования множества альтернативных участников по каждому звену.

**Выводы.** В статье предложена экономико-математическая модель, оптимизирующая состав участников для трех типичных ситуаций, связанных с подготовкой решений по интеграции. В отличие от существующих подходов к синтезу производственных структур, в данном исследовании учтены общесистемные затраты и эффекты, пространственное расположение и функциональное предназначение участников, что наиболее полно отражает условия и результаты интеграции.

Отметим, что предложенные выше модели ориентированы на агрегированную информацию и дают укрупненную оценку интегрированной структуре, что соответствует цели их использования для подготовки предварительных решений по интеграции.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ансофф И. Стратегическое управление / И. Ансофф; сокр.пер. с англ. – М.: Экономика, 1989. – 520 с.
2. Бандурин А.В. Деятельность корпораций / А.В. Бандурин. – М.: БУКВИЦА, 1999. – 600 с.
3. Винслав Ю. Становление отечественного корпоративного управления: теория, практика, подходы и решения ключевых проблем / Ю.Винслав // Российский экономический журнал. – 2001. – № 2. – М., 2001. – С.15-28.
4. Владимирова И.Г. Организационные формы интеграции компаний // Менеджмент в России и за рубежом. – 1999. – № 6. – С.9-21.
5. Голубев А.А. Организация и стратегическое планирование деятельности корпорации / А.А. Голубев. – СПб.: Нестор, 2001. – 137 с.
6. Гольдштейн Г.Я. Стратегический менеджмент. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.
7. Горбатов В.М. Конкурентоспособность и циклы развития интегрированных структур бизнеса / В.М. Горбатов. – Х.: ИНЖЕК, 2006. – 592 с.
8. Дойль П. Менеджмент: стратегия и тактика. – СПб.: Питер, 1999.
9. Евдокімова Ф.І., Розумна Н.В. Економічні проблеми інтеграції підприємств: функціональний підхід // Научные труды ДонНТУ. Серия: экономическая. – 2006. – Вып.20. – С.45-51.
10. Игнатишин Ю.В. Слияния и поглощения: стратегия, тактика, финансы. – СПб.: Питер, 2005. – 208 с.
11. Кемпбелл Э., Саммерс К. Стратегический синергизм. – СПб.: Питер, 2003. – 416 с.

12. Козырев В.К., Шутенко Т.Н. Понятие интеграции в теории транспортных систем // *Вісник ОНМУ*, 2010. – № 29. – С.63-70.
13. Ляшенко В.І. Синергетичний ефект маркетингової стратегії диверсифікації в умовах сезонного характеру виробництва / Ляшенко В.І., Ляшенко С.В. // *Економіка промисловості*, 2008. – № 2. – С.24-28.
14. Минцберг Г., Куин Дж., Гошал С. *Стратегический процесс.* – СПб.: *Пример*, 2001.
15. Онищенко С.П. О целесообразности проекта интеграции компаний / С.П.Онищенко // *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць ОНМУ.* – 2002.- Вип.3. – С. 113-120.
16. Онищенко С.П. Интеграция компаний: сущность, основные формы и средства реализации // *Развиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць ОДМУ.* – 2001. – Вип. 11. – С. 139-151.
17. Онищенко С.П. Моделирование оптимальной структуры сетевого предприятия / С.П.Онищенко, В.Ю. Смирковская // *Развиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць ОНМУ.* – 2003. – Вип. 17. – 174-182.
18. Пилипенко А.А. Стратегічна інтеграція підприємств: механізм управління та моделювання розвитку / А.А.Пилипенко. – Харків: ВД «Інжсек», 2007. – 380 с.
19. Прутник Э.А. Межотраслевые хозяйственные объединения – стратегия диверсификации развития углеобогачительных предприятий / Э.А.Прутник. – Донецк: Юго-Восток, 2004. – 455 с.
20. Рудык Н.Б., Семенова Е.В. Рынок корпоративного контроля: слияния, жесткие поглощения и выкупы с долговым финансированием. – М.: *Финансы и статистика*, 2000. – 456 с.
21. Скопенко Н.С. Теоретичне обґрунтування інтеграції суб'єктів господарювання // *Теоретичні та прикладні питання економіки.* – 2011. – Вип. 26. – С.187-195.
22. Томпсон А.А. *Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа* / А.А.Томпсон, А.Дж. Стрикленд. – М.: *Вильямс*, 2008. – 928 с.
23. Чернов С.С., Хвостенко П.В. Классификация стратегий организации: от теории к практике // *Российский экономический журнал* // <http://www.e-rej.ru>.

24. *Шутенко Т.Н. Оптимизация структуры и функционирования логистической системы доставки нефти и нефтепродуктов // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць. – Вип. 4. – Одеса: ОНМУ, 2002. – С. 250-258.*
25. *Эванс Ф.Ч., Бишоп Д.М. Оценка компаний при слияниях и поглощениях: Создание стоимости в частных компаниях / Пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2004. – 332 с.*

*Стаття надійшла до редакції 19.03.2012*

**Рецензент** – доктор економічних наук, професор, зав. кафедрой «Системний аналіз і логістика Одеського національного морського університету **І.О. Лапкіна**

УДК 621.431.74

Н.В. Романенко, А.В. Шахов

УПРАВЛЕНИЕ ЦЕННОСТЬЮ ПРОЕКТОВ  
ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА  
В ОБЛАСТИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

*Предложена методика определения ценности проекта для всех заинтересованных сторон на основе аппроксимации функции зависимости спроса от цены товара полиномом третьей степени.*

**Ключевые слова:** *ценность проекта, полезность, спрос, заинтересованные стороны проекта.*

*Запропоновано методику визначення цінності проекту для всіх зацікавлених сторін на основі апроксимації функції залежності попиту від ціни товару поліномом третього ступеню.*

**Ключові слова:** *цінність проекту, корисність, попит, зацікавлені сторони проекту.*

*The method of definition of value of the project for all stockholders on the basis of approximation of function of dependence of demand from the price is offered by a polynom of the third degree.*

**Keywords:** *value of the project, utility, demand, stockholders.*

**Постановка проблемы в общем виде.** Сложившаяся в отечественном здравоохранении ситуация давно никого не устраивает. Население, как потребитель медицинских услуг, ждет качественного и в то же время доступного обслуживания. Медицинский персонал заинтересован в предоставлении качественных услуг, однако, при адекватной мотивации их труда, находящейся в зависимости от объема и качества предоставленных услуг. Хотя объем бюджетного финансирования здравоохранения растет из года в год, средств не хватает ни на достойную зарплату медицинских работников, ни на лечение больных, ни на их питание.

Здравоохранение Украины продолжает финансироваться по остаточному принципу, а функционировать по затратному, поскольку структура его (количество больниц и врачей) на сегодняшний день остается избыточной. Медленно развиваются и слабо используются низкозатратные формы оказания первичной медицинской помощи, дневные стационары и стационары на дому. Не получила развития практика семейных врачей.

Анализируя статистические данные можно утверждать, что в последние десятилетия в нашей стране сложился своеобразный кризис здравоохранения, который проявлялся особенно остро по четырем направлениям: кризис здоровья, кризис финансирования, кризис материально-технической базы, кризис кадров.

Недостаток средств государственных и муниципальных бюджетов, увеличивающиеся социальные обязательства органов власти перед населением, серьезные проблемы несоответствия технологического уровня развития современным потребностям общества обуславливают необходимость привлечения частных источников финансирования для обеспечения воспроизводственных процессов.

Одним из путей решения этих проблем, согласно мирового опыта, является разработка и использование правительствами в своей деятельности особой институциональной системы по привлечению частного сектора к строительству и эксплуатации объектов, которая на Западе получила название Public-Private Partnership (PPP) или Государственно-частное партнерство (ГЧП) [1].

*Целью настоящей статьи является разработка теоретических основ оценки эффективности проектов государственно-частного партнерства в области здравоохранения.*

**Анализ последних исследований и публикаций.** В наиболее общей постановке государственно-частное партнерство можно определить как юридически закреплённую на определенный срок, предполагающую совместное финансирование и разделение рисков форму взаимодействия между государством и частным сектором в отношении объектов и соответствующих услуг, исполняемых и оказываемых государственными и муниципальными органами, учреждениями и предприятиями.

Государственно-частное партнерство позволяет государству:

- при сохранении лечебного учреждения в государственной собственности передавать его во владение и пользование частному сектору на возвратной основе;
- переложить функции строительства, эксплуатации, содержания объектов на частный сектор;
- обеспечивать реальное партнерское взаимодействие государства и частного сектора на приоритетных направлениях реформирования здравоохранения;
- повышать бюджетную эффективность за счет, во-первых, сокращения государственного финансирования на строительство и эксплуатацию объектов, а во-вторых, увеличения налогооблагаемой базы.

Заинтересованность бизнеса в участии в проектах ГЧП заключается в:

- частная компания получает в долговременное владение и пользование государственные активы, ей не принадлежащие на праве собственности (часто – на льготных условиях);
- вкладывая инвестиции в объекты государственной и муниципальной собственности, предприниматель имеет достаточные гарантии прибыльности, поскольку государство как его партнер несет определенные риски по обеспечению минимального уровня рентабельности;
- пользуясь государственными гарантиями и обладая хозяйственной свободой, частная компания может за счет повышения производи-

тельности труда, нововведений увеличивать общую прибыльность бизнеса во время срока действия контракта с государством без изъятия сверхприбыли в бюджет.

Экономический эффект для общества состоит в том, что:

- происходит более быстрое развитие социально значимой отрасли, обеспечивается ее техническое и технологическое перевооружение;
- повышается качество товаров и услуг, благодаря росту стандартов качества, предусматриваемого государством в контрактах с частными компаниями – операторами, улучшению контроля и усилению ответственности в рамках контракта.

С целью создания правовых условий реформирования экономики, Верховной Радой Украины в 2010 году принят Закон «О государственно-частном партнерстве» [2], Кабинетом Министров и другими органами разработан ряд подзаконных актов [3], стимулирующих внедрение форм и методов ГЧП. Однако увидеть позитивные результаты такой деятельности на практике пока не удастся, поскольку, на наш взгляд, отсутствуют научно обоснованные методологические принципы решения подобных задач.

Анализ передового мирового опыта организации системы здравоохранения доказал целесообразность использования проектного подхода. Методология управления проектами позволяет наиболее эффективно решить задачу достижения поставленной цели в условиях ограниченности временных, финансовых, материальных, человеческих и др. видов ресурсов. Основным критерием эффективности проекта в последнее время большинством отечественных и зарубежных ученых принято считать его ценность.

Категория «ценность» в последние годы все чаще используется специалистами в области проектного менеджмента. Анализ многих научных исследований, посвященных данной теме показывает, что несмотря на популярность терминов «ценность» и «управление ценностью» в среде специалистов пока отсутствует единый подход к дефиниции данной категории и методов ее определения.

В работе [4] С.Д. Бушуев определяет ценность как выгоду, получаемая от реализации проекта всеми заинтересованными сторонами. Автор предлагает рассматривать ценность проекта как комплексный показатель, состоящий из ценности продукта и ценности организации, реализующей проект. В соответствии с мнением проф. В.А. Рач [5], который вводит понятие «гармонизированная ценность», гармонизацию ценности необходимо рассматривать в двух аспектах: гармонизацию со стратегическими целями организации, реализующий данный проект и гармонизацию ценностей всеми заинтересованными сторонами проекта. Следует отметить, что именно второй аспект является для медицинских проектов наиболее важным, и в то же время сложным как в оценке, так и в практической реализации.

В соответствии со стандартом Министерства финансов Украины [3] ценность проекта определяется выгодой, которую он представляет продукту при выполнении требований, содержащихся в миссии проекта. Существуют два условия, гарантирующих создание ценности проекта. Первое – практическая способность организации выполнить проект в соответствии с планом; второе – определение способа гармонизировать ценность проекта для всех заинтересованных сторон через свойства продукта проекта. Первое условие можно считать необходимым, тогда как второе – достаточным условием создания ценности проекта.

Планирование ценности проекта производится на основании сопоставления прибыли от проекта с плановыми затратами. Типовыми методами и индикаторами, используемыми для оценки ценности, являются:

- CBA – анализ выгод и затрат;
- CF – денежный поток;
- NPV – чистая текущая ценность;
- IRR – внутренняя норма доходности.

Ценность проекта может рассматриваться также с позиций общественного и частных секторов. С позиции общественного сектора, ценность проекта включает реализацию социальных льгот, общественной безопасности, упорядочения территории, социальной привлекательности, охраны окружающей среды и т.д. С точки зрения частного сектора, ценность проекта выражается в корпоративных выгодах: прибыльность, рентабельность, инновационность, стабильность развития организации.

Слово «ценность» было хорошо известно уже древним грекам. Тем не менее, только к началу XX века философами, социологами, политологами и экономистами было создано учение о ценностях. Существуют разные определения понятия «ценности», но суть их одна: ценностью определяется предмет некоторого интереса, желания, стремления и т.п., или, короче говоря, объект значимый для человека или группы людей.

Известный американский философ А. Ребер термин «ценность» раскрывает в трех значениях [6].

В первом – как качество или свойство предмета, которое делает его полезным. Он обращает внимание на прагматичный аспект в ее определении – ценность предмета определяется его ролью в социальном взаимодействии, а сам предмет не имеет никакой ценности.

Второе характеризует ценность как абстрактный и общий принцип, относительно моделей поведения в рамках определенной культуры или общества, члены которого считают его очень значимым. Это социальные ценности. Они формируют главные принципы, вокруг которых могут интегрироваться индивидуальные и социальные цели. Классические примеры – свобода, справедливость, здравоохранение, образование и т.п.

Третье определение ценности относится к сфере экономики. Ценность – чистая стоимость предмета, которая определяется тем, что за него можно получить в обмен на другие товары или обыкновенные деньги.

**Изложение основного материала.** Особенности проектов в области здравоохранения определяются большим количеством заинтересованных сторон, которых можно условно разделить на производителей, потребителей медицинских услуг и органы государственного и общественного контроля. К производителям относятся фирмы-производители специализированного оборудования, фармацевтические компании и т.д. Кроме того, в эту группу участников проекта входят медицинские учреждения (больницы, поликлинические отделения, санатории, аптеки, практикующие специалисты). К потребителям услуг здравоохранения относятся пациенты и спонсоры. В качестве третьей заинтересованной стороны могут выступать органы государственной власти и местного самоуправления, работодатели, страховые кассы, фонды.

Очевидно, что у такого количества заинтересованных сторон и цели не совпадают. Так, для производителей на первом месте стоят экономические показатели, а для потребителей – показатели качества. При этом оценка качества медицинской услуги с позиций разных потребителей будет значительно отличаться.

В работе [7] предложен полезностно-целевой подход определения ценности проекта в области здравоохранения. Основной составляющей ценностью медицинского проекта следует считать полезность его продукта. В качестве количественной оценки привлекательности потребительских товаров принимается некоторая функция  $u = u(x_1, x_2, \dots, x_n)$  для  $n$  товаров, которая получила в экономической теории название функции полезности.

Функция полезности может быть представлена различными математическими выражениями, например, совпадать с ценой набора потребительской корзины

$$u(x_1, x_2, \dots, x_n) = p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n.$$

В работе [8] представлены результаты исследований кривой зависимости спроса от цены продукта. Оказалось, что при увеличении цены на графике функции спроса  $P = f(V)$  появляется точка перегиба и изменяется тенденция, связывающая объем спроса и цену (участок кривой АВ на рис. 1). После точки перегиба В все большее число потребителей отказываются от покупки товара. Такое изменение поведения дает право утверждать, что точка перегиба кривой спроса В определяет ценностные ориентиры большего числа потребителей. Исследование такой модели дает возможность учитывать полученные результаты в ценовых решениях, а затем – в решении задач определения ценности проектов.

Если функцию спроса представить в виде полинома третьей степени

$$P = a + bV + cV^2 + kV^3,$$

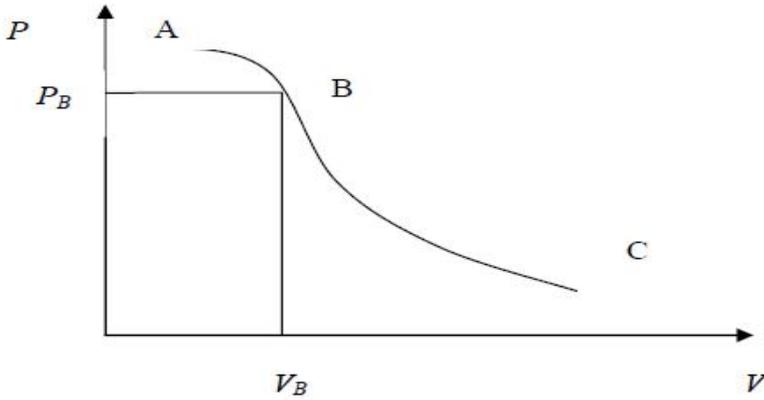


Рис. 1. Кривая спроса и точка перегиба, определяющая ценность продукта проекта

то точка перегиба может быть определена с помощью второй производной приведенной функции

$$\frac{d^2 p}{dV^2} = P'' = 2 \cdot c + 6kV = 0;$$

$$V_B = -\frac{c}{(3 \cdot k)};$$

$$P_B = a + b \cdot V_B + c \cdot V_B^2 + k \cdot V_B^3$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $k$  – постоянные, которые можно определить эмпирическим путем.

Для определения ценности проекта по внедрению в деятельность медицинского холдинга «Инто-Сана» нового магнитно-резонансного томографа, нами был выполнен социологический опрос, в котором анкетированным предлагалось указать цену, которую пациенты считают оправданной для выполнения исследования. Из 2000 пациентов холдинга «Инто-Сана» 263 человека не смогли ответить на поставленный вопрос, что свидетельствует об их незаинтересованности в проведении данного исследования. Результаты опроса остальных пациентов сведены в таблицу.

Обработка результатов эксперимента позволяют получить уравнение спроса и исследовать его, в том числе получить точку перегиба, которая существенно изменяет характер кривой:

– уравнение спроса (регрессии)

$$P = -3600 + 1130 \cdot (V/10) - 105 \cdot (V/10)^2 + 3,7 \cdot (V/10)^3;$$

– точка перегиба  $P = 228$  человек, при цене 89,6 грн.

Таблиця

*Результаты социологического опроса*

Наименование показателя	Диапазон цены исследования, грн.									
	менее 80	81-85	86-90	91-95	96-100	101-105	106-110	111-115	116-120	более 120
Количество людей	246	240	230	219	203	179	148	114	74	12
Доля от общего числа опрошенных	0,123	0,120	0,115	0,110	0,101	0,090	0,074	0,055	0,037	0,006

При этом, для людей, готовых заплатить за исследование большую сумму, нежели 89,6 грн., данный проект будет иметь положительную ценность. Для остальных пациентов ценность проекта отрицательна, а для незаинтересованной группы (те, кто не смогли ответить на поставленный в анкете вопрос), ценность проекта равна нулю.

Таким образом, ценность проекта с позиции потребителей составит

$$C_{потр} = 12 \cdot 32,5 + 74 \cdot 27,5 + 114 \cdot 22,5 + 148 \cdot 17,5 + 179 \cdot 12,5 + 203 \cdot 7,5 + 219 \cdot 2,5 - 230 \cdot 2,5 - 240 \cdot 7,5 - 246 \cdot 12,5 = 6437,5 \text{ грн.}$$

Если примем, что себестоимость проведения исследования составляет для лечебного учреждения 75 грн., то ценность проекта с позиции производителя составит

$$C_{пр} = 246 \cdot 5 + 240 \cdot 10 + 230 \cdot 15 = 7080 \text{ грн.}$$

Ценность проекта с позиции государства  $C_t$  может быть определена как алгебраическая сумма налогов, взимаемых с лечебного учреждения, сокращения выплат по временной нетрудоспособности в связи с сокращением продолжительности лечения и пр.

**Выводы.** Как известно, вероятность успешной реализации проекта значительно возрастает в том случае, если значение его ценности близки для всех заинтересованных сторон. Следовательно, предлагаемая методика может быть использована для решения задачи оптимизации цены продукта проекта. Другими словами, оптимальной можно считать такую цену товара (услуги), при которой выполняется равенство ценности с позиции всех заинтересованных сторон: производителя, потребителя и государства.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кеслер А.Я. *Экономические основы государственно-частного партнерства* // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук по специальности 08.00.01 – Экономическая теория. – М.: МГУ, 2007. – 24 с.
2. Закон Украины № 2404–УІ. «О государственно-частном партнерстве» // [www.rada.gov.ua](http://www.rada.gov.ua).
3. Стандарт Міністерства фінансів України «Управління інформаційними проектами і програмами. Методологія». МФУ 75.1 – 00013480 – 29.12:2010. – К., 2010. – 63 с.
4. Бушуев С.Д., Бушуева Н.С. *Механизмы формирования ценности в деятельности проектно-управляемых организаций* // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – № 1/2 (43). – Харьков, 2010. – С. 4-9.
5. Рач В.А. *Методи оцінки альтернативних проектів стратегій регіонального розвитку* // Матеріали конференції «Управління проектами: стан та перспективи». – Миколаїв, 2009. – С. 4-6.
6. Вальтух К.К. *Теория стоимости: статистическая верификация, информационное обобщение, актуальные выводы* // Вестник РАН. – 2005. – Т. 75. – № 9. – С. 793-803.
7. Романенко Н.В., Руденко С.В., Шахов А.В. *Определение ценности проектов в здравоохранении* // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – № 31. – 2010. – С. 67-77.
8. Сербиновский Б.Ю., Рудик Е.В. *Мониторинг производительности труда*. – Новочеркасск: Лик, 2010. – 260 с.

*Стаття надійшла до редакції 20.01.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету  
**В.Д. Євдокимов.**

УДК 005.7: 005.8

А.В. Шахов, В.И. Чимшир

## ПРОЕКТЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ СОЦИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Определен перечень проектов составляющих жизненный цикл социотехнических систем. Рассмотрены отличительные признаки каждого из выделенных проектов. Предложено разделение социотехнических систем с точки зрения проектного управления на монопроектные и многопроектные.*

**Ключевые слова:** проект, жизненный цикл, социотехническая система.

*Визначено перелік проектів, які складають життєвий цикл соціотехнічних систем. Розглянуто характерні ознаки кожного з виділених проектів. Запропоновано поділ соціотехнічних систем з точки зору проектного управління на монопроектні і багатопроєктні.*

**Ключові слова:** проект, життєвий цикл, соціотехнічна система.

*The list of projects make up the life cycle of sociotechnical systems. We consider the distinctive features of each of the selected projects. Proposed division of sociotechnical systems in terms of project management, as monoproject and manyproject.*

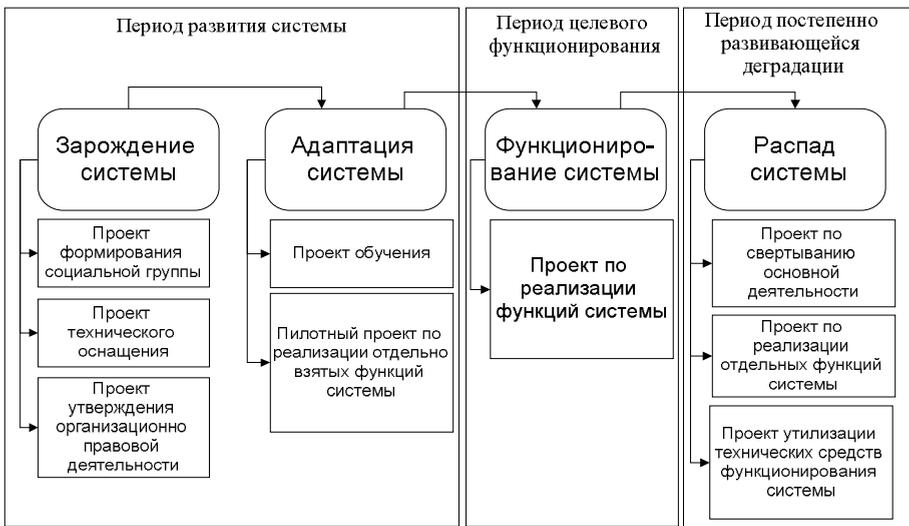
**Keywords:** project, life cycle, sociotechnical system.

**Постановка проблемы в общем виде.** Жизненный цикл описывает состояние системы в различные периоды времени, начиная от появления необходимости в данной системе и заканчивая моментом ее распада. Он, как правило, определяется значительным количеством внешних факторов, часть из которых носит детерминированный, а часть – стохастический характер. К этим факторам относятся различные условия внешней среды, эксплуатационная нагрузка, сменность работы, подготовленность обслуживающего персонала, общая культура производства и т.п.[2].

Актуальным вопросом, большинства исследований последнего времени [3-6], является рассмотрение жизненного цикла сложных систем с позиции проектного менеджмента. Как правило, такие исследования сопровождаются представлением жизненного цикла систем в структурированном виде (в виде иерархически декомпозированного на составные части объекта) и является одним из необходимых условий для эффективного осуществления процесса ее управления в интересах различных участников. Продолжая исследование [1] и опираясь на предложенное разбиение периодов жизненного цикла социотехнической системы (период развития системы; период целевого функционирования; период постепенно развивающейся деградации), обозначим **цель данной статьи**,

которая заключается в определении перечня проектов, составляющих жизненный цикл социотехнических систем.

**Изложение основного материала.** Рассматривая жизненный цикл социотехнической системы с позиции проектной методологии, можно отметить, что он представляется последовательностью фаз, название и количество которых определяются потребностями в управлении и контроле системы, вовлеченных в процессы самой системы и ее окружением. Каждая фаза в свою очередь может быть представлена в виде отдельного проекта. Таким образом, жизненный цикл системы представлен в виде совокупности проектов (рис.1), реализация которых в конечном итоге определяют *качество жизненного цикла системы*.



*Рис. 1. Совокупность проектов определяющих жизненный цикл социотехнической системы*

Поскольку каждый проект, реализованный в системе, имеет определенное начало и конец, конкретные результаты и действия, имеющие место в этом промежутке, возникает важный вопрос, связанный с межпроектным взаимодействием его ролью и результатами.

Противоречия между потребностями отдельных проектов могут вызвать дисбаланс в работе системы. Как правило, подобное возникает, если в системе слабо структурирован управляющий орган.

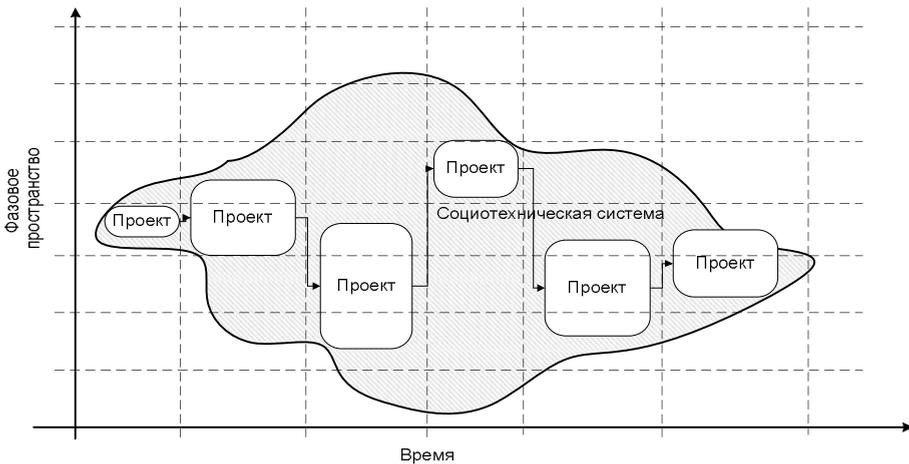
Анализируя специфику проектного управления социотехническими системами и возможности использования в таком управлении известных механизмов, дают основание сделать вывод, что первоочередными задачами являются:

- оценка проектов и хода их реализации с точки зрения достижения основных целей системы;

- формирование эффективной стратегии управления проектами, связанных с системой;
- планирование и реализация таких проектов;
- распределение ресурсов системы между проектами;
- оперативное управление проектами с учетом развития системы.

Как показывает исследование существующих достижений, прикладное решение этих задач лежит в плоскости разработки отдельной методологии проектного управления социотехническими системами, и только в некоторых случаях адаптации существующих механизмов к озвученной проблематике.

Продолжая проводить классификационное разделение, необходимо отметить, что с позиции проектного управления социотехнические системы можно разделить на две категории: монопроектные и многопроектные. К монопроектным отнесем системы, которые одновременно могут участвовать в выполнении не более одного проекта (рис.2).



*Рис.2. Монопроектные социотехнические системы  
(последовательная организация проектов)*

Соответственно к многопроектным отнесем системы с помощью которых одновременно реализуются два и более проектов (рис.3).

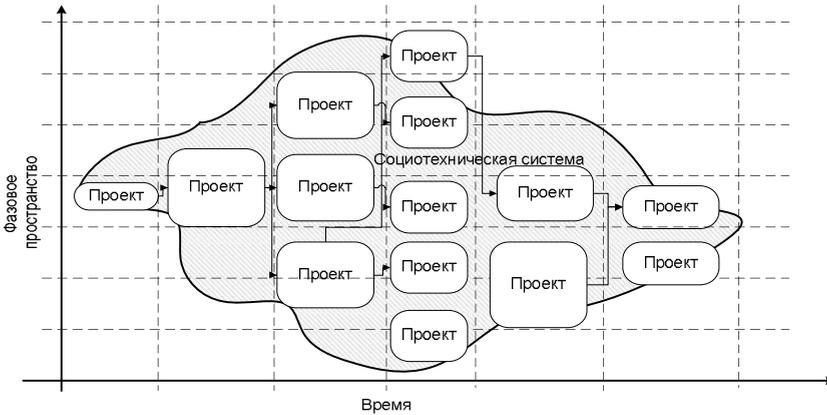
Для описания многопроектных систем прибегнем к подобию классификации описанной в [5], где осуществлена попытка классификации с учетом целей, ресурсов, технологий деятельности и механизмов управления проектно-управляемой системы. Другими словами разобьем многопроектные социотехнические системы на следующие классы:

- мультипроектные (существенным является наличие технологических и ресурсных ограничений накладываемых на взаимосвязь входящих в него работ и подпроектов);

– программные (существенным является достижение цели при существующих ресурсных ограничениях);

– портфельные (существенным является использование единых механизмов управления, позволяющих наиболее эффективно достигать стратегических целей системы с учетом ресурсных ограничений).

На следующем этапе, произведем разделение проектов, по отношению к системе, на внутренние и внешние. Как правило, внутренние (восстанавливающие) проекты направлены на процессы связанные с сохранением и восстановлением функций системы (с сохранением или расширением фазового пространства системы), примерами могут служить проекты ремонта, модернизации, реновации и т.п., а внешние (доходные) на получение дохода от функционирования (проекты услуг и продуктов).



*Рис.3. Многопроектные социотехнические системы  
(последовательно-параллельная организация проектов)*

Рассмотрим отличительные признаки каждого из выделенных проектов, реализуемых на протяжении жизненного цикла социотехнической системы (рис. 1).

В период зарождения социотехнической системы создается организационная структура, возглавляемая руководством системы. На данном этапе формируется команда, члены которой будут участвовать в большинстве будущих проектов (рис. 4).

По форме команда формирует организационную структуру управления системой, в которой осуществляется разделение функций, обязанностей и ответственности за принимаемые решения направленные на планирование параметров процессов функционирования системы.

Правильно организованная структура управления является залогом высокой эффективности функционирования системы. При организации команды социотехнической системы предлагается использовать методологию формирования команды проекта достаточно детально описанную в [7]. Верхнем уровне структуры находится менеджер проекта, а на

нижних – исполнители, отделы и специалисты, отвечающие за отдельные функциональные сферы.

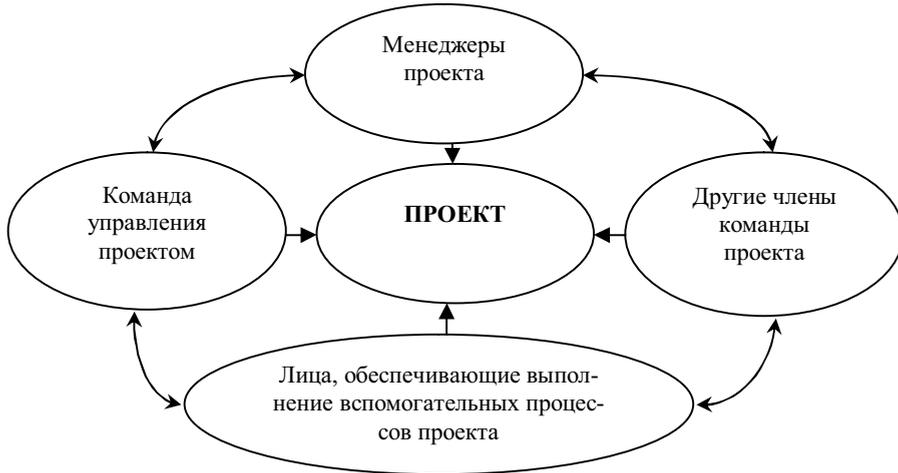


Рис. 4. Внутренний круг лиц, работающих над проектом

По содержанию команда социотехнической системы представляет собой группу специалистов высокой квалификации, обладающих знаниями и навыками, необходимыми для эффективного достижения целей каждого проекта организованного с помощью системы.

Основной стратегический фактор создания и деятельности команды социотехнической системы является реализация проектов, каждый из которых является длительным предприятием, обладающим повышенной долей риска и подвержен постоянным изменениям. Поэтому особой характеристикой такой команды является предпринимательский характер ее деятельности, направленный на решение слабоструктурированных задач и быстрое реагирование на требования внешней среды и меняющиеся условия реализации каждого из проектов.

Команда социотехнической системы, также как и сама система, имеет свой жизненный цикл, в котором можно выделить пять основных периодов:

- формирование;
- срабатываемость;
- функционирование;
- реорганизация;
- расформирование.

При формировании команды, на этапе зарождения системы, привлеченные специалисты подчас незнакомы друг с другом. Для их эффективной совместной деятельности необходим определенный период, когда между ними определяются отношения, каждый из них адаптируются к ус-

ловиям работы в команде, осознают себя единым целым. На стадии формирования происходит знакомство членов команды друг с другом и с системой в целом, формируются общие цели и ценности.

Период срабатываемости – это период начала совместной работы, в основном связан с периодом адаптации системы, реализацией пилотных проектов, развитием позитивных отношений внутри группы решающей коллективную задачу. Обычно он характеризуется повышенным уровнем конфликтности, вызванным различием в характерах специалистов, подходах, стилях и методах решения проблем. На этом этапе внутри команды идет процесс выделения лидеров, определяются роли работников и их место в команде.

Наиболее продолжительным периодом, для работы команды, считается период функционирования, для системы он определен как период целевого функционирования. В этот период на основе сформированного командного чувства идет нормальный продуктивный процесс работы. Этот период характеризуется максимальным раскрытием индивидуальных творческих способностей, члены команды учатся понимать и учитывать интересы друг друга.

При завершении ряда проектов, изменении структуры управления системы, завершении отдельных стадий проекта, замене работников в связи с профессиональным несоответствием, приглашением временных специалистов и экспертов и в других случаях наступает этап реорганизации. Задача высшего менеджмента на этом этапе заключается в организации адаптации новых членов команды к стилю и методам взаимоотношений в команде, в становлении их профессиональной роли, определении обязанностей.

В период постепенно развивающейся деградации системы происходит постепенное расформирование отдельных подразделений до полного расформирования всей команды. Данный процесс ложится в основу зарождения новой системы, ее команды или поддержания существующих систем отдаляющих свое неизбежное разрушение на определенный период времени.

**Выводы.** Разработка и внедрение механизмов управления на основе такого представления о жизненном цикле социотехнической системы – это решение задач, возникающих при формировании принципов, правил и методов управления проектами, а также подготовка рекомендаций по реализации этих проектов на практике.

Из всей совокупности поставленных задач выделяется основное направление исследований связанное с определением свойств заданного механизма функционирования, с построением механизмов управления организационными системами, обеспечивающих требуемую эффективность функционирования социотехнических систем.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чимшир В.И. Структурная декомпозиция сложных социотехнических систем в период их целевого функционирования [Текст] // *Управління розвитком складних систем: Зб. наук. праць.* – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 6. – С.95-98.
2. Шахов А.В. Проектирование жизненного цикла ремонтпригодных технических систем [Монография]. – Одесса: Феникс, 2005. – 164 с.
3. Смирнова Г.Н., Тельнов Ю.Ф. Проектирование экономических информационных систем [Учебник: часть 1]. – М.: МЭСИ, 2004.
4. Новиков Д.А. Управление проектами: организационные механизмы. – М.: ПМСОФТ, 2007. – 140 с.
5. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. – М.: ПМСОФТ, 2005. – 206 с.
6. Бурков В.Н. Модели и методы мультипроектного управления [Препринт]/ В.Н. Бурков, О.Ф. Квон, Л.А. Цитович. – М.: Институт проблем управления, 1997. – 62 с.
7. Руководство к своду знаний по управлению проектами: Руководство РМВОК®. – 4-е изд. – Project Management Institute, Inc. – 2008. – 463 с.

Стаття надійшла до редакції 24.02.2012

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету  
**В.Д. Євдокимов.**

УДК 658.012.32 Марина Николаевна – аспірант Київського національного університету будівництва та архітектури

М.Н. Куценко

**СОЗДАНИЕ ЦЕННОСТИ АКЦИОНЕРОВ  
НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ЗНАНИЙ – КАК СИСТЕМА ЗНАНИЙ ФОРМИРУЕТ  
УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ КОМПАНИИ В РАМКАХ ЦЕННОСТНОГО ПОДХОДА**

*В статье исследуется взаимосвязь системы знаний и стратегии развития компании, рассматривается методика выбора стратегии ценности. Изучается, как система знаний организации может формировать условия для создания и поддержки ценности акционеров, собственников, высшего руководства компании. Разработана модель ценностного анализа возможных стратегий развития компании.*

**Ключевые слова:** *ценность, система управления знаниями, стратегия развития, стратегия ценности, управление знаниями*

*У статті досліджується взаємозв'язок системи знань і стратегії розвитку компанії, розглядається методика вибору стратегії цінності. Вивчається як система знань організації може формувати умови для створення і підтримки цінності акціонерів, власників, вищого керівництва компанії. Розроблена модель ціннісного аналізу можливих стратегій розвитку компанії.*

**Ключові слова:** *цінність, система управління знаннями, стратегія розвитку, стратегія цінності, управління знаннями.*

*The collaboration between knowledge management system and development strategy is investigated, the technique of value strategy decision is researched in the paper. Analyzing how knowledge management system can form the conditions for shareholders value creation and retaining. Created the model of company's potential strategies analyze, based on value.*

**Keywords:** *value, knowledge management system, development strategy, value strategy, knowledge management.*

**Вступление.** В условиях инновационной экономики современные подходы к ведению бизнеса и видение дальнейшего развития сдвигаются в сторону ценностного подхода. Стабильный рост и укрепление конкурентных позиций компаний в значительной степени зависят от объединения стратегии по созданию ценности и системы знаний в организации. Знания превратились в основной источник конкурентных преимуществ для любой компании. Поэтому процессы управления знаниями, с помощью которых компании стремятся работать со знаниями и создавать на их основе новые ценности, приобретают большое значение в исследованиях.

Рассматривая ценность со стороны акционеров, выделяют три основные стратегии развития – ориентация на продукт, ориентация на стоимость и ориентация на клиента. Разные научные исследования показывают, что одна компания, в сравнении с конкурентами, может иметь успех в одной области. Для стратегической согласованности важно определить собственные силы и использовать их для конкурентного развития выбранного направления.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Теория фирмы на основе знаний рассматривает знания в качестве основного ресурса фирмы [1], который может быть источником устойчивых конкурентных преимуществ в глобальной, стремительно развивающейся бизнес-среде. Управление знаниями, как в академическом сообществе, так и в практике управления передовых компаний – одно из наиболее популярных направлений последних двадцати лет. В 1991 году профессор Нонака презентовал теперь уже классическую статью «Компания, создающая ценность» [2], которая стала основой для дальнейших исследований. Управление инновациями и исследованиями в этой области начало привязываться к управлению знаниями и организационному изучению, где научные исследования и инновационные действия уже рассматриваются как комплексные процессы нахождения, изучения и решения проблемы. Такие процессы настолько основаны на существующих знаниях, насколько они создают новые знания, формируют ценности.

**Целью статьи** является исследование влияния системы знаний организации на выбор стратегии ее дальнейшего развития в рамках ценностного подхода. Ставится задача разработать модель анализа возможных стратегий и выбора наиболее эффективной стратегии работы, позволяющей создавать и поддерживать ценности акционеров, собственников, высшего руководства компании.

**Материалы и результаты исследований.** Основываясь на концепции создания ценности акционеров, способность компании создавать долгосрочную финансовую выгоду (таким образом, создавая ценность для собственников) рассматривается как предусловие для успеха любой предпринимательской деятельности. Достижение уровня создания ценности, который может быть сравним с конкурентами, зависит от финансового применения имеющихся материальных активов, то есть средств для производства постоянных и оборотных активов, которые могут быть оценены в денежном виде. Тем не менее, только логическое, целевое и инновационное применение нематериального актива «знание» может позволить компании опережать своих конкурентов, а путем постоянного роста капитализации на фондовом рынке – и таким образом роста рыночной ценности – создавать ценность акционеров и поддерживать ее длительный период. С этой точки зрения предлагается следующее определение:

*Знание – это основа, которая необходима компании, чтобы устанавливать специфические способности, которые позволят ей успешно конкурировать длительный период и таким образом создавать, поддерживать и гарантировать ценность для собственников.*

Компании, которые решительно ориентированы на создание ценности, должны включить в постоянные расходы необходимость определять потребность персонала в знаниях. Очень важно проделать это при первой возможности, чтобы позволить компании развивать и создавать ключевые компетенции, которые необходимы для успешной работы, и, следовательно, активного создания производственной ценности.

Вдобавок, для любой программы по управлению знаниями очень важно создать условия для формирования такой культуры компании, в которой бы знаниями обменивались, они распространялись и обнародовались. Это могут быть символические действия, как например периодические награждения «Премия за обмен знаниями», или прямое включение в систему материальной мотивации. Основной целью есть создание такой рабочей атмосферы, в которой изоляционизм и накопление индивидуальных знаний не создают мощный источник влияния и необходимости в специфических индивидах или группах внутри компании. Противоположно этому необходимо поставить цель достичь такой ситуации, в которой поощряется обмен полезными знаниями, и персонал может выделять себя, производя знания, компетентность и опыт, которые широкодоступны к использованию, и объединены с процессами создания производственной ценности. В этом контексте выделение того факта, что «знания это единственный актив компании, который не истощается с использованием, но фактически увеличивается – и качественно, и количественно», обеспечит аргументы в поддержку доступности, обмена и распространения знаний.

Учреждение инициатив по управлению знаниями, которые конкретно применяются в определенной компании как инструмент создания и поддержки ценности акционеров, требует вовлечения всех руководящих органов (правление, высшее руководство, главы департаментов и др.), которые ответственны за стратегическую ориентацию компании, и осуществления последовательной управленческой поддержки [3]. Эти действия должны определить основную стратегию по созданию ценности для их компании – делая акцент на продукте, клиенте или стоимости – и однозначно увязать ее в рамках всей организации.

В практике управления ценностью, как правило, рассматривают следующие три функции: выявить ценность, скопировать носитель ценности и навязать ценность. Ценность – субъективное понятие. Для того чтобы понять ценность результата проекта, заинтересованные стороны должны быть подготовлены и осведомлены. Ожидание ценности выгодно закладывать в стратегии развития.



*Рис. Определяющие факторы и процессы возникновения стратегии управления знаниями*

Ниже представлены три общие стратегии по созданию ценности, одну из которых компания может выбрать для дальнейшей работы и развития:

- ориентация на продукт – постоянное развитие инновационных продуктов и сервисов, способных удовлетворить самые последние требования рынка и клиентов;
- ориентация на стоимость – логичная рационализация и финансовая оптимизация существующих процессов производства и хранения, чтобы обеспечить лидерство по стоимости;
- ориентация на клиента – создание длительных и интенсивных взаимоотношений с клиентами, чтобы обеспечивать и выстраивать существующий потенциал для прибыли (то есть, добавочный бизнес, более близкие деловые отношения, получение прибыли от продаж сопутствующих товаров и товаров более дорогого ряда).

Японская методология знаний Р2М [4] предлагает нам три модели проекта, «модель схемы», «модель системы» и «модель услуги» и требует «концепции ценности», «реализации ценности» и «использования ценности» по отношению к соответствующей модели. Когда проект классифицирован с точки зрения вышеуказанного, опознавание ценности становится возможным.

Рассмотрим пример выбора компанией стратегического направления (см. табл.). Для начала определяются специфические области знаний компании, которые существенны для установления и выполнения ключевых компетенций, соответствующих каждому из стратегических направлений, и таким образом требующие интенсивного управления. Далее описываются основные способности к выполнению работ, необходимых для создания ценности в определенной стратегической области. На конечном этапе, путем метода экспертных оценок, описываются выгоды, которые компания может получить и ценности, которые достичь по каждому из направлений и выбирается стратегия дальнейшего развития.

*Таблиця*

Стратегии развития	Установление и поддержка сфер знаний	Важные ключевые компетенции	Потенциал для создания ценности акционеров/измеримых переменных
Ориентация на продукт	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Фундаментальные и имеющие отношение к ним исследования</li> <li>• Разработка и развитие</li> <li>• Работы по проекту и управление проектами</li> <li>• Полученные уроки</li> <li>• Тенденции рынка и требования клиентов</li> <li>• Информация о патентах</li> <li>• Проекты развития конкурентов и их результаты</li> </ul> <p style="text-align: right;">Информация об исследованиях рынка</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Быстрое развитие и коммерческое использование новых продуктов и поколений продуктов</li> <li>• Ранняя идентификация новых территорий для применения существующих технологий, перспективного технологического развития и тенденций рынка</li> <li>• Использование знаний из разных дисциплин для работы и решения проблем</li> <li>• Креативность</li> <li>• Концептуальное мышление</li> <li>• Передача знаний между подразделениями</li> <li>• Передача знаний в рамках и между командами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Качество отбора и приоритеты для исследовательских проектов (+)</li> <li>• Время вывода нового изделия на рынок (-)</li> <li>• Жизненный цикл собственных продуктов компании (+)</li> <li>• Количество патентов и авторских прав компании (+)</li> <li>• Повторное использование результатов развития (+)</li> <li>• Прибыль/новое развитие (+)</li> <li>• Получение новых клиентов/соотношение возврата от новых клиентов (+)</li> </ul>

*Продолжение табл.*

Ориентация на клиента	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Привычки, потребности и предпочтения клиента</li> <li>• Данные о клиентах (исторические данные и персональные детали)</li> <li>• Поставщики – конкуренты, знания и опыт работы на рынке</li> <li>• Хорошее знание собственных продуктов и услуг</li> <li>• Процедуры тендера</li> <li>• Наилучшие практики консультаций и поддерживающих встреч с клиентами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Управление взаимоотношениями</li> <li>• Создание справок и рекомендаций</li> <li>• Определение и создание возможностей для осуществления кросс-продаж</li> <li>• Создание барьеров для обмена</li> <li>• Основанный на базах данных и системах маркетинг</li> <li>• Удерживающий маркетинг</li> <li>• Установление и поддержка позитивного имиджа бренда</li> <li>• Надежность продуктов и сервисов</li> <li>• Передача опыта</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Преданность клиентов (+)</li> <li>• Продолжительность взаимоотношений с клиентами (+)</li> <li>• Текучесть клиентов (-)</li> <li>• Оборот и доход от клиентов (+)</li> <li>• Доля покупательской способности (+)</li> <li>• Количество клиентов/ сотрудников (+)</li> <li>• Бизнес для новых клиентов/ общий бизнес (+)</li> <li>• Имидж (+)</li> </ul>
Ориентация на стоимость	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Расписания производства</li> <li>• Процессы производства, порядок обработки</li> <li>• Закупки/ процессы и каналы продаж</li> <li>• Управление материалами и логистика</li> <li>• Лучшие практики для процесса производства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эффективный выход товаров/ сервисов и порядок обработки</li> <li>• Компетентность в процедурах и методах</li> <li>• Анализ и решение проблем</li> <li>• Определение и поддержка стандартных процессов</li> <li>• Внутренний и внешний бенчмаркинг</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возврат акционерного капитала (+)</li> <li>• Использование ресурсов производства на полную мощность (+)</li> <li>• Продуктивность движущих сил производства (+)</li> <li>• Брак, уровень дефектов (-)</li> <li>• Задержки в поставках (-)</li> <li>• Замораживание акционерного капитала (-)</li> </ul>
	<b>Знания</b>	<b>Способность</b>	<b>Ценности/выгоды</b>

\* (+) – наличие потенциала достижения ценности;

(-) – выходы, имеющие низкий потенциал достижения ценности или препятствующие этому

В контексте этого примера случай, когда компания выбирает для дальнейшего развития стратегию ориентации на продукт. Исходя из проведенного анализа, по данной стратегии она получит значительное количество выгод.

Специфическими компетенциями стратегии ориентации на продукт являются:

- использование для решения проблем методов и практик из разных дисциплин;
- продвижение креативных стилей работы и концептуального мышления;
- быстрое развитие и коммерческое использование новых продуктов, и создание продуктов в скорой последовательности;
- развитие решений, которые базируются на передаче знаний между разными функциональными зонами и подразделениями;
- распространение и использование технических знаний, функционального человеческого знаний и опыта внутри и извне индивидуальной группы;
- определение новых зон применения существующих технологий и решений;
- ранее распознавание успешного технологического развития и тенденций рынка.

Выполнение этих компетенций требует поддержки со стороны системы управления знаниями. Управление знаниями на базе IT-технологий обеспечивает механизмами инфраструктуры, в форме выполняемых функций или отдельных инструментов, которые поддерживают выбранные компетенции с точки зрения процессов взаимодействия внутри или между группами и командами людей. К этому особенно применимо: электронная почта, групповое программное обеспечение, потоки работ, системы конференций и принятия решений, инструменты дистанционного обучения и форумы для обсуждений.

В случае ориентации на продукт выделяются следующие области знаний, которые специфичны для компании или конкретной ситуации, и которые существенны для установления и выполнения ключевых компетенций, и таким образом требующие интенсивного управления (то есть получение/сбор, хранение, поддержка, распространение/обеспечение). Они подпадают под следующие разделы:

- Фундаментальные и имеющие отношение к ним исследования;
- Проектирование, развитие и сооружение;
- Управление проектами;
- Осведомленность о требованиях заказчиков;
- Информация о патентах;
- Проекты развития у конкурентов и их результаты;
- Информация о рынке.

Определенно, что управление этими разделами знаний обусловлено доступом к информации из внутренних и внешних источников. Доступ к внешним источникам может включать использование поисковых инструментов, которые базируются на Интернет-технологии и механизмах обращения. Базы данных, хранилища данных и порталы внутренней сети будут использоваться, чтобы создавать внутреннюю информацию и запасы знаний – «хранилища содержимого». В то же время инструменты для обеспечения прав доступа, документы, управление содержанием и добыча данных, так же как и аналитические инструменты, должны быть доступны для поиска в дополнение Интернет-технологии.

Эта комбинация инструментов и функциональных средств поддерживает процессы с помощью сложных механизмов хранения и доступа к информации, и дает возможность создать «эффект рычагов», позволяющий сотрудникам переориентироваться и изменить свое поведение в управлении и работе с точки зрения фокусирования на создании ценности.

**Выводы.** Применяя представленную выше методику определения более выгодной стратегии развития, компании могут на основе систем управления знаниями формировать сильную конкурентоспособность, создавать и поддерживать ценности акционеров, собственников, высшего руководства.

Общая цель разработки и создания решений по управлению знаниями состоит в обеспечении пользователей информацией, которая им необходима для успешного выполнения своих задач, и которая подходит по контексту этим задачам – в нужное время, в нужном месте и в правильном формате. Касательно процессов взаимодействия, участвующих в выполнении задач и решении проблем, они должны содержать механизмы инфраструктуры, которые могли бы поддерживать совместные рабочие структуры и процедуры.

В такой комбинации решения по управлению знаниями будут способны значительно улучшить компетенции, которые необходимы ориентированной на продукт компании, чтобы последовательно акцентировать свое внимание на создании ценности, и обеспечивать создание ценностей и их сохранение на долгий период.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Козут Б., Зандер У. Знания фирмы, комбинационные способности и репликация технологии // *Российский журнал менеджмента*. – 2004. – Т. 2. – № 1. – С. 121-140.
2. Икуиро Нонака, Хиротака Такеши. *Компания, создающая знания: Как японские компании создают продвижение и развитие инноваций*. – Издательство Оксфордского университета, 1995. – 304 с.

3. *Мариничева М.К. Управление знаниями на 100 %: Путеводитель для практиков. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2009. – 230 с.*
4. *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.*

*Стаття надійшла до редакції 19.03.2012*

**Рецензент** – доктор технічних наук, професор кафедри «Управління проектами» Київського національного університету будівництва та архітектури **Н.С. Бушуєва**.

## АВТОРИ ЗБІРНИКА

**Анісімов Костянтин Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Енергетичне та водогосподарче будівництво» Одеської державної академії будівництва та архітектури

**Антонов Борис Іванович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Теоретична і прикладна механіка» Одеського національного морського університету

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

**Бойко Іван Миколайович** – магістр, конструктор 3 категорії Морського інженерного бюро, м. Одеса

**Бондаренко Олексій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Залізобетонні та кам'яні конструкції» Одеської державної академії будівництва та архітектури

**Валько Надія Григорівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

**Вичужанін Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, доцент, зав. кафедрой «Інформаційні технології» Одеського національного морського університету

**Гончарук Олександр Сергійович** – капітан далекого плавання, здобувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

**Гришин Володимир Олександрович** – доктор технічних наук, професор, зав. кафедрой «Теоретична і прикладна механіка» Одеського національного морського університету

**Гришин Андрій Володимирович** – доктор технічних наук, професор, зав. кафедрой «Опір матеріалів», проректор з наукової роботи Одеської державної академії будівництва та архітектури

**Губанов Віктор Петрович** – старший викладач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету

**Демідюк Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

**Дмитрієв Андрій Анатолійович** – ст. викладач кафедри «Підйомно-транспортні машини та механізація перевантажувальних робіт» 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

**Зубко Микола Федорович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Підйомно-транспортні машини та механізація перевантажувальних робіт» Одеського національного морського університету

**Кузьмін Костянтин Олександрович** – магістр, майстер Одеського припортового заводу, здобувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету

**Куценко Марина Миколаївна** – аспірант кафедри «Управління проектами» Київського національного університету будівництва та архітектури

**Мельников Павло Вікторович** – асистент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету

**Мошнянський Анатолій Федорович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Технічна кібернетика» Одеського національного морського університету

**Нільва Володимир Олександрович** – магістр, мол. наук. співпрацівник Морського інженерного бюро, м. Одеса, здобувач кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

**Онщенко Світлана Петрівна** – доктор економічних наук, доцент кафедри «Системний аналіз та логістика» Одеського національного морського університету

**Потравко Олексій Володимирович** – аспірант кафедри «Теорія та проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського університету

**Романенко Микола Володимирович** – аспірант кафедри «Системний аналіз та логістика» Одеського національного морського університету, директор медичинського холдингу «Інто-Сана»

**Сіверін Володимир Геннадійович** – аспірант кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету

**Слободянюк Володимир Прокоф'євич** – кандидат технічних наук, директор ООО «Проектінжинірінг»

**Смрковська Вікторія Юрївна** – кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри «Системний аналіз та логістика» Одеського національного морського університету

**Снісаренко Володимир Іванович** – доктор технічних наук, професор, директор НДІ «Підземних споруд», м. Київ

**Соломатін Сергій Якович** – кандидат технічних наук, професор кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету

**Стариков Максим Андрійович** – ст. викладач кафедри «Підйомно-транспортні машини та механізація перевантажувальних робіт» Одеського національного морського університету

**Стрельцов Павло Маркович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Підйомно-транспортні машини та механізація перевантажувальних робіт» Одеського національного морського університету

**Удолатій Вікторія Борисівна** – асистент кафедри АУіВТ Одеської національної морської академії

**Устінов Павло Андрійович** – асистент кафедри «Енергетичне та водогосподарче будівництво» Одеської державної академії будівництва та архітектури

**Черемісін Володимир Ілліч** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету

**Чимшир Валентин Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, зав. кафедрою морських перевезень Ізмайльського філіалу Одеської національної юридичної академії

**Шахов Анатолій Валентинович** – доктор технічних наук, професор кафедри «Судноремонт» Одеського національного морського університету

## 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 однаковим 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 Суг, 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 графи. 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 однарусній 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 кристаллах: 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.

ЗМІСТ

**ВИДАТНІ ВЧЕНІ  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

<b>Гришин В.А., Снисаренко В.И.</b> Педагог и ученый Владимир Александрович Чебыкин .....	3
<b>Мошнянский А.Ф.</b> Александр Анатольевич Вассерман – 55 лет работы в ОИИМФ-ОНМУ .....	7

**ТЕОРІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОРАБЛЯ**

<b>Егоров Г.В., Баскаков С.Н., Егоров А.Г., Бойко И.Н., Нильва В.А.</b> Предпосылки создания и концепты нового поколения сухогрузных судов смешанного река-море плавания для Украины .....	12
<b>Егоров Г.В.</b> Отечественное речное судостроение: состояние и перспективы для смежных отраслей промышленности .....	45
<b>Баскаков С.Н., Гончарук А.С., Демидюк А.В.</b> Экспериментальное исследование влияния дифферента на ходовые характеристики судна с большой полнотой обводов .....	61
<b>Валько Н.Г., Потравко О.С.</b> Использование критериев оптимизации при проектировании наливных судов .....	70

**БУДІВЕЛЬНА МЕХАНІКА,  
МІЦНІСТЬ СУДЕН ТА СПОРУД**

<b>Антонов Б.И., Удолатий В.Б.</b> Исследование напряженно-деформированного состояния неоднородной прямоугольной пластины методом конечных элементов .....	85
<b>Гришин В.А., Гришин А.В.</b> Море и береговые склоны .....	95
<b>Анисимов К.И., Устинов П.А., Слободянюк В.П., Бондаренко А.В.</b> Об эффективности противооползневых сооружений глубокого заложения .....	106

**ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ**

<b>Вычужанин В.В.</b> Информационное обеспечение мониторинга и диагностирования технического состояния судовых энергоустановок .....	111
<b>Черемисин В.И., Мельников П.В.</b> Метод расчета протечек топлива через прецизионную пару распылителя дизельной форсунки .....	125
<b>Сиверин В.Г.</b> Экспериментальная проверка метода расчета процесса впрыскивания топливной системой с различным расположением нагнетательного клапана и результаты теоретического исследования .....	134
<b>Соломатин С.Я., Губанов В.П., Кузьмин К.А.</b> Диагностика подшипников паровой турбины .....	147
<b>Стариков М.А., Дмитриев А.А.</b> К вопросу определения остаточного ресурса металлоконструкций грузоподъемных машин .....	155
<b>Зубко Н.Ф.</b> Оптимизация уровня нагруженного резервирования невосстанавливаемых систем из одинаковых элементов .....	169
<b>Стрельцов П.М.</b> Гашение колебаний груза при его перемешивании на подвесе переменной длины .....	179

**УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ**

<b>Онищенко С.П., Смирковская В.Ю.</b> Моделирование производственно-распределительных вертикально-интегрированных структур .....	188
<b>Романенко Н.В., Шахов А.В.</b> Управление ценностью проектов государственно-частного партнерства в области здравоохранения .....	203
<b>Шахов А.В., Чимшир В.И.</b> Проекты, определяющие жизненный цикл социотехнической системы .....	211
<b>Куценко М.Н.</b> Создание ценности акционеров на основе системы знаний – как система знаний формирует условия развития компании в рамках ценностного подхода .....	218
<b>АВТОРИ ЗБІРНИКА</b> .....	227
<b>ВИМОГИ ДО АВТОРСЬКИХ ТЕКСТОВИХ ОРИГІНАЛІВ</b>	230



*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 22.05.12.  
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 14,4.  
Замовлення № 212

Надруковано у Видавництві ОНМУ  
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.  
Тел. 728 31 14