

# ВІСНИК



ОДЕСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ

28

**ЗАСЛУЖЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ НАУКИ УССР  
КОСТИЮКОВ  
АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ  
(1909 -1976)**



**МЫ ВАС ПОМНИМ!**

Вглядитесь в это лицо, полное высокой интеллигентности и мужественной красоты. Это блестящий ученый и талантливый педагог, признанный организатор системы высшего морского образования страны и активный общественный деятель.

Саша Костюков родился 10.09.1909 г. в г. Севастополе в простой рабочей семье. Его отец плавал машинистом на черноморских судах, а с 1914 г. до самой смерти (1920 г.) служил смотрителем Большефонтанского маяка в г. Одессе. Мать умерла от «испанки», бушевавшей в Одессе в 1917 г. Нелегко складывались детские и юношеские годы Александра: пять лет он прожил в детском доме имени Коминтерна на 16 станции Большого Фонтана, затем поступил на рабфак Одесского Сельскохозяйственного Института. Стране нужны были квалифицированные морские специалисты и после трехлетней учебы на рабфаке Александр стал студентом кораблестроительного факультета Одесского Политехнического

Института, а с 1930 г. – студентом Одесского Института Инженеров Водного Транспорта (ОИИВТ). Вчерашний детдомовец накрепко вгрызлся в науку, жил на грошовую стипендию, после занятий работал грузчиком в одесском порту, окончив смену, вновь брался за книги, чертежи, расчеты. Студент Костюков окончил ОИИВТ блестяще и был приглашен на учебу в аспирантуру. Своим упорством, преданностью науке молодой ученый привлек внимание крупнейшего советского ученого-механика Г.Н. Сусллова, который официально заявил: "...могу признать его (А. Костюкова, ред.) деятельность в научном семинаре выдающейся". С 1932 г., еще будучи студентом, Александр Александрович руководил только что созданной уникальной лабораторией – опытовым бассейном (сейчас опытовый бассейн носит имя проф. А.А. Костюкова). Уделяя много внимания освоению новой для страны лабораторной техники, молодой ученый с головой ушел в науку, упорно овладевая сложнейшим разделом механики – гидромеханикой и аэродинамикой. Именно в этот период началось настоящее становление Александра Александровича как блестящего специалиста по применению эффективных математических методов для решения задач самого высокого уровня сложности, связанных с гидродинамикой судов и плавучих сооружений. Высокое признание не заставило себя ждать. В 1936 г. Александр Александрович успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование потока, вызванного гребным винтом». Работа имела большое прикладное значение и в то же время содержала важные элементы нового научного направления, которое характеризовалось высоким математическим уровнем решений сложнейших задач волнового сопротивления судна. Александр Александрович умело сочетает напряженную исследовательскую работу с активной педагогической деятельностью в качестве доцента кафедры теории корабля в институте.

Война... ОИИВТ эвакуирован в Среднюю Азию, Александр Александрович работает заведующим кафедрой теории корабля и деканом кораблестроительного факультета, в связи с дефицитом преподавательских кадров обеспечивает инженерную подготовку по нескольким учебным дисциплинам. С возвращением в Одессу институт был переименован в Одесский Институт Инженеров Морского Флота (ОИИМФ), А.А. Костюков работает заведующим учебной частью, а в период 1949-1954 гг. – заместителем директора вуза по учебной и научной работе. Он отдает всего себя восстановлению родного института и находит творческие силы для продолжения научной работы. Научная работа становится особенно эффективной, поскольку в это время в институте работает великолепный математический семинар под руководством крупнейшего математика современности Марка Григорьевича Крейна. Александр Александрович по праву считается одним из самых успешных участников этого семинара, а в 1954 году становится докторантом института механики АН СССР, где плодотворно трудится под руководством крупнейшего советского ученого академика А.И. Некрасова. Результат этой работы – блестящая защита

в 1957 г. Александром Александровичем докторской диссертации на тему «Теория и методы расчета волнообразования и волнового сопротивления судов», после которой в 1958 г. он получил ученое звание профессора.

В 1960 г. жизнь профессора А.А. Костюкова резко изменилась – 30 декабря 1959 г. он был назначен директором Одесского института инженеров морского флота и с 25 января 1960 г. вступил в эту должность. С приходом нового руководителя наступил период расцвета института. Будучи известным ученым, обладая незаурядным умом, умело соединяя в своем поведении высокие принципы интеллигентности и требовательности, Александр Александрович сумел создать в коллективе особую специфическую обстановку. В институте были собраны лучшие кадры преподавателей, работали выдающиеся ученые математики и механики – Марк Григорьевич Крейн, Борис Яковлевич Левин, Яков Львович Нудельман, термодинамики – Яков Захарович Казавчинский, судовых силовых установок – Соломон Давидович Левинсон и другие. Не слабее выглядел и «второй эшелон» – Виктор Иванович Небеснов, Владимир Иосифович Сухоцкий, Юрий Яковлевич Фомин, Левон Иванович Календарьян, Фуат Максумович Шихиев. В те годы педагогический состав ОИИМФа был самым сильным в Одессе, да и не только в ней. Под стать выдающимся педагогам был и студенческий коллектив. В то время среди студентов ОИИМФ считалось модным отлично учиться, активно заниматься спортом, интересоваться искусством. Наверное поэтому студенческие фестивали, регулярно проводимые в «водном», до сих пор остаются в памяти старых одесситов.

Именно в этот период окончательно сложилась и окрепла традиция искренней дружбы и братства «водников» всех факультетов и выпусков. Ректор уделял серьезное внимание развитию вуза, улучшению его технического оснащения. Был построен лабораторный корпус с научным «монстром» – большой аэродинамической трубой, начата подготовка к строительству высотного корпуса.

Большая учебно-организационная и общественная деятельность профессора А.А. Костюкова органично сочетались с результативной научной работой. В эти годы в специальных научных журналах высокого уровня были опубликованы десятки работ А.А. Костюкова по актуальным проблемам мореходных качеств судов, вышли четыре книги. Одна из них «Теория корабельных волн и волнового сопротивления», изданная в 1959 г. в Ленинграде издательством «Судостроение», является уникальным собранием эффективных решений сложнейших задач, связанных с изучением гидродинамики судна в сложных условиях плавания. Эта книга была немедленно переведена на английский и китайский языки, а ее автор удостоен престижной в кораблестроительном сообществе первой премии им. Акад. А.Н. Крылова. Основное содержание книги до сих пор вызывает искренний интерес специалистов.

В 1971 г. Александр Александрович оставил пост ректора ОИИМФа, сосредоточив свои силы на научно-педагогической деятельно-

сти. В 1972 г. он подготовил и издал интересную монографию «Взаимодействие тел, движущихся в жидкости», активно занимался совершенствованием учебной работы кафедры, возобновил работу городского научного семинара. Был по-прежнему активен и бодр, но тяжелая болезнь подкралась незаметно и после непродолжительной, но тяжелой болезни 29 апреля 1976 г. Александра Александровича Костюкова не стало. Ушел из жизни талантливый ученый, вдохновенный педагог, известный общественный деятель.

Родина высоко оценила его заслуги – Александр Александрович Костюков был награжден орденами Ленина и Трудового Красного Знамени, медалями, а также удостоен высокого звания Почетного работника науки и техники УССР.

Светлая память о великом ученом, вдохновенном педагоге-воспитателе, активном участнике создания светлого имиджа «Великого ВОДНОГО» докторе технических наук, профессоре Александре Александровиче КОСТЮКОВЕ навечно сохранится в сердцах благодарных потомков.

Редколлегия

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

---

*Изложены принципы проектирования и особенности баржебуксирных составов для работы из портов Волги на перевалочные комплексы в районе Керченского пролива. Дан пример реализации подходов, предлагаемых авторами при проектировании новой серии нефтеналивных барж пр. 004ROB05. Серия была построена на Волгоградском судостроительном заводе по проекту Морского Инженерного Бюро.*

*Викладено принципи проектування та особливості баржебуксирних складів для роботи з портів Волги на перевальні комплекси у районі Керченської протоки. Наведено приклад реалізації підходів, що запропоновано авторами під час проектування нової серії нафтоналивних барж пр.004ROB05. Серію було побудовано на Волгоградському суднобудівному заводі за проектом Морського Інженерного Бюро.*

*Design concepts and features of tug-barge trains for working from Volga ports towards transshipment complexes at Kerch Straits region are shown. An example of approaches suggested by authors is given for newly built series of oil barges of 004ROB05 prj. Series was built at the Volgograd Shipyard due to Marine Engineering Bureau design.*

**Ключевые слова:** проектирование, суда смешанного района плавания, главные размерения, путевые условия, Азовское море.

**Постановка проблемы.** Использование барж для перевозки грузов в прибрежных районах Черноморско-Азовского бассейна имеет длительную историю, так как переход на преимущественное применение самоходных грузовых судов произошел только к 60-м годам прошлого столетия, а до этого основную роль играл именно несамоходный флот [1].

В свою очередь отечественный речной транспорт практически полностью перешел к перевозкам грузов методом толкания с автосцепами типа О-200 и УДР-100 и их модификациями, к использованию толкаемых баржевых и секционных составов [2, 7].

Опыт США и некоторых других стран показал, что более эффективными являются составные суда – баржебуксирные составы [4, 6, 8], однако до сих пор отечественное судостроение не имеет в своем распоряжении сцепов, которые можно было эксплуатировать в море.

Поэтому сегодняшние каботажные перевозки в Черноморско-Азовском бассейне осуществляют, как правило, самоходные суда смешанного река-море плавания [3, 5], построенные в 60-80-е годы прошлого столетия. При этом на перевозках нефтеналивных грузов используются танкера, которые не удовлетворяют требованиям МК МАРПОЛ 73/78. Построить необходимое количество новых самоходных судов в рамках

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

---

разумной стоимости в короткое время не удастся, поэтому одним из ведущих перевозчиков нефтепродуктов на Юге России – группой компаний «Палмали» было принято решение о компромиссном пути пополнения флота.

Суть этой идеи – создание современных несамоходных нефтеналивных барж и их совместное использование с имеющимися буксирами-толкачами типа «ОТ-2000», дооборудованными для возможности буксировки нефтеналивных барж, перевозящих грузы с температурой вспышки ниже 60 °С. Целью настоящей статьи является обоснование главных характеристик и особенностей таких барж.

Заказчиком была поставлена задача перед проектантом в максимально сжатые сроки создать современное экологически безопасное двухкорпусное несамоходное судно для выполнения главной задачи – доставки мазута из Волгоградского НПЗ на танкер-накопитель в Керченском проливе. При этом судно могло быть применено для перевозки наливных грузов без ограничения по температуре вспышки, включая сырую нефть и нефтепродукты

Проект судна разрабатывался Морским Инженерным Бюро по заказу группы компаний «Палмали» с целью ускоренного пополнения танкерного флота компании.

Анализ путевых условий определил Кочетовский гидроузел Волго-Донского судоходного канала (ВДСК) в качестве главного фактора, ограничивающего главные размерения барже-буксирного состава.

Таким образом, главные размерения создаваемого судна определились из условия баржебуксирного состава «Волго-Дон макс» класса при прохождении Кочетовского шлюза с помощью буксира-толкача типа «ОТ-2000». Габаритная длина баржи определилась из габаритной длины состава (баржа+буксир-толкач). Для наилучшего использования габаритной длины баржи применен носовой транец.

Анализ прототипов показал, что основными недостатками существующих нефтеналивных барж, которые могут эксплуатироваться на смешанных река-море перевозках с проходом ВДСК является их недостаточная грузоподъемность из-за неверно выбранных главных размерений или слишком большая проектная осадка (см. табл. 1).

Анализ ветроволновых условий предполагаемого района эксплуатации позволил обосновать минимальный класс судна – либо М-ПР 2,5 Российского Речного Регистра (РРР), либо ШСП Российского морского Регистра судоходства (РС), что обеспечило минимизацию металлоемкости корпуса судна нового проекта и соответственно позволило увеличить грузоподъемность при сохранении габаритных размеров.

Бюро разработало концепцию судна, отвечающую современным требованиям экологической безопасности с максимально возможной грузоподъемностью для данных путевых условий и технологичностью формы и конструкции корпуса, сокращающей время постройки судна.

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

Основные особенности принятых решений:

- эксплуатация судна осуществляется без экипажа на борту;
- транспортировка выполняется методом толкания с использованием автоматического сцепного замка УДР-100 по внутренним водным путям в бассейнах с высотой волны не более 2.0 м и методом буксировки на тросе одиночного судна в морских ограниченных районах плавания ШСП (с высотой волны 3% обеспеченности 3,5 м).

Нефтеналивные баржи типа «Палойл» (см. общее расположение на рис. 1) построены на класс и эксплуатируются под надзором РС. Первые две баржи первоначально с целью получения наибольшей грузоподъемности были построены на класс PPP, но в дальнейшем по решению судовладельца с целью расширения возможностей по эксплуатации этих судов в Каспийском море были переведены в класс РС с соответствующим подкреплением корпуса и дооборудованием.

В настоящее время все суда серии имеют класс РС: К ★ ШСП нефтеналивное (ОПИ).

Таблица 1

*Сравнение характеристик нефтеналивной баржи типа «Палойл»  
и наиболее близких существующих нефтеналивных барж*

Характеристика	«Палойл» Пр. 004ROB05	Пр. 16802М АО КБ «Вымпел»	Пр. 2731.1 ОАО «Ин- женерный центр судос- строения»
Класс судна	К ★ ШСП нефтеналив- ное (ОПИ).	✳ М-СП (лед)	✳ М-СП3.5 (лед)
Длина наибольшая, м	93,35	85,5	90,9
Длина по КВЛ, м	92,58	83,0	90,1
Ширина габаритная, м	16,70	17,0	16,24
Ширина, м	16,50	16,5	16,0
Высота борта, м	5,00	3,3	4,00
Осадка по ЛГВЛ, м	3,60	2,62	3,81
Высота габаритная от ОП до верха несъемных частей, м	13,90	9,7	
Кубический модуль, <i>LBH</i>	7701	4655	5818
Валовая вместимость, ГТ	2075	2294	
Чистая вместимость, НТ	1163		
Количество грузовых танков	12	6	5
Количество отстойных танков	2	нет	нет
Вместимость грузовых танков (включая отстойные), м <sup>3</sup>	4620	3300	4659

**ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО  
СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА**

*Продолжение табл.1*

Характеристика	«Палойл» Пр. 004ROB05	Пр. 16802М АО КБ «Вымпел»	Пр. 2731.1 ОАО «Ин- женерный центр су- дострое- ния»
Вместимость отстойных танков, м <sup>3</sup>	154	-	-
Количество, производи- тельность грузовых насосов, м <sup>3</sup> /час	Погружные 2 x 300	нет	Погружные 3 x 150
Мощность вспомогательных ДГ, кВт	-	-	2x100, 1x30
Температура вспышки ниже 60 °С	да	да	нет
Наличие подогрева груза	да	нет	да
Экипаж/количество мест	нет	нет	2
Автономность, сут.	-	-	
Вес судна порожнем, т	850	751	862
В море при осадке по ЛГВЛ:			
Чистая грузоподъемность, т	4321	2385	4100
Спецификационная плотность груза, т/м <sup>3</sup>	0,935	0,723	0,880
Коэффициент использования водоизмещения по грузо- подъемности	0,836	0,759	0,826
В реке (осадка 3,60 м):			
Чистая грузоподъемность, т	4195	-	3720
Спецификационная плотность груза, т/м <sup>3</sup>	0,908		0,798
Коэффициент использования водоизмещения по грузо- подъемности	0,832		0,812
В реке (осадка 3,20 м):		осадка 2,95 м	
Чистая грузоподъемность, т	3593	2970	3170
Спецификационная плотность груза, т/м <sup>3</sup>	0,778	0,900	0,680
Коэффициент использования водоизмещения по грузо- подъемности	0,809	0,797	0,786

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

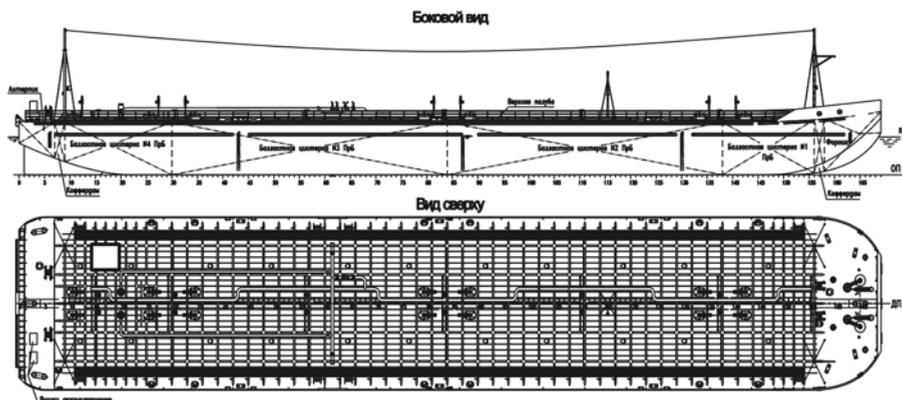


Рис. 1. Общее расположение барж проекта 004ROB05 типа «Палойл»

Район эксплуатации: внутренние водные бассейны Российской Федерации и морские районы в соответствии с классом судна.

Архитектурно-конструктивный тип: несамоходная, наливная баржа с 12 грузовыми танками, с двойным дном и двойными бортами, с избыточным надводным бортом. Высота борта баржи определена из условия получения полного использования вместимости (заполнение 98 %) при полном использовании грузоподъемности при перевозке мазута плотностью  $0,92 \text{ т/м}^3$ .

С целью улучшения мореходных качеств баржи носовая оконечность выполнена в виде килеватых саней (см. теоретический чертеж на рис. 2). В остальном обводы баржи упрощены. Для устойчивости на курсе при буксировке в кормовом подзоре установлены 2 скега.

Для удовлетворения требований экологической безопасности (ограничение длины грузовых танков) грузовое пространство разделено на 12 грузовых танков и 2 отстойных танка продольной переборкой в ДП и 8 поперечными водонепроницаемыми переборками. Грузовое пространство отделено от пиков коффердамами.

Грузовые и отстойные танки гладкостенные без набора (см. мидель-шпангоут на рис. 3). Набор главной палубы установлен снаружи, внутренних бортов – внутри двойных бортов.

Для приема балласта на судне предусматривается 8 балластных цистерн, расположенных в двойных бортах, носовой и кормовой коффердамы.

При длительных порожних переходах в условиях класса ШСП на барже принимается балласт в количестве 988 т (балластные танки № 1-4, носовой и кормовой коффердамы).

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

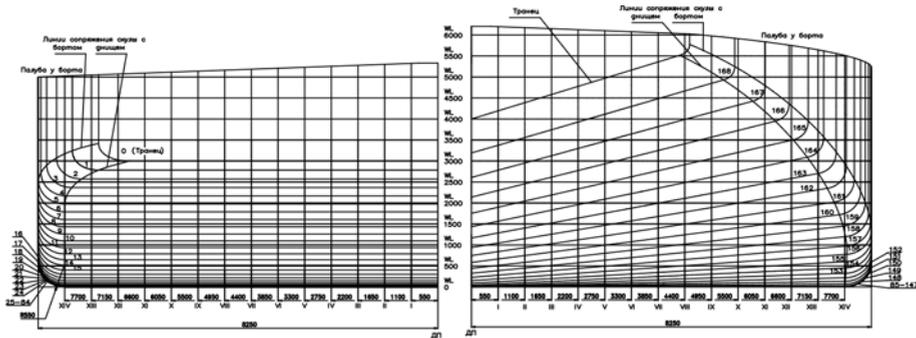


Рис. 2. Теоретический чертеж барж проекта 004ROB05 типа «Палойл»

В качестве основного материала корпуса использована обычная судостроительная сталь категории РСД.

Наружная обшивка толщиной 7 мм ( в носовой оконечности — 8 мм). Настил верхней палубы и ширстрек толщиной 8 мм, обшивка транцев толщиной 10 мм.

Корпус выполнен по продольной системе набора в средней части и по смешанной системе набора в оконечностях.

Поперечная шпация по всей длине судна — 550мм. Шпация поперечного рамного набора — 1650мм в средней части и 1100 мм в оконечностях.

Продольная шпация — 550мм.

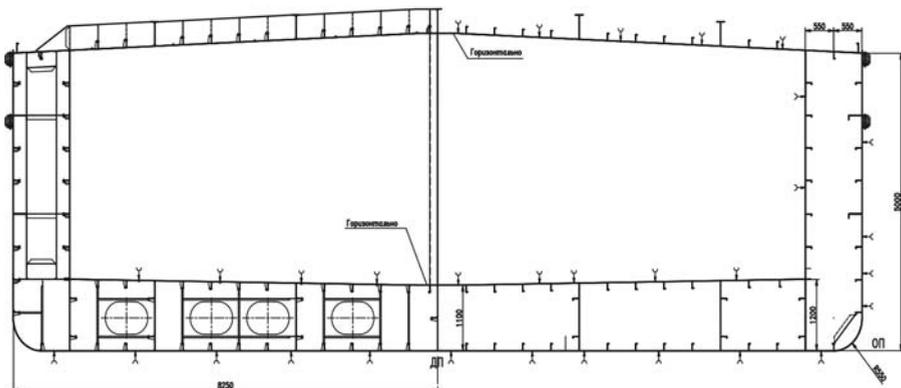


Рис. 3 Конструктивный мидель-шпангоут барж проекта 004ROB05 типа «Палойл»

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

Набор двойного дна состоит из продольных ребер жесткости, выполненных из полособульба № 12, флоров и днищевых стрингеров толщиной 7 мм с вырезами 825/550, подкрепленных ребрами жесткости – полособульб № 10. В форпике флоры таврового профиля со стенкой 8х400 и пояском 10х150, днищевые стрингеры таврового профиля со стенкой 7х400 и пояском 10х150. В ахтерпике флоры и днищевые стрингеры таврового профиля со стенкой 7х400 и пояском 10х150.

Набор верхней палубы состоит из продольных ребер жесткости, выполненных из полособульба № 12, пяти карлингсов сварного таврового профиля со стенкой 7х400 и пояском 10х150, установленных в ДП и по два по бортам, и рамных бимсов сварного таврового профиля со стенкой 7х400 и пояском 10х150.

Набор внутреннего и наружного борта состоит из рамных шпангоутов, выполненных гнутыми 7х260 мм с фланцем 70 мм и соединенных между собой распорками, выполненными из угольника 75х75х8 мм, продольных ребер жесткости в средней части и холостых шпангоутов в оконечностях, выполненных из полособульба № 12. По наружному борту установлены бортовые стрингеры (на высоте 2300 и 3950 мм от ОП) толщиной 7 мм и высотой стенки 260 мм с отогнутым фланцем 70 мм.

Продольная переборка в ДП гофрированная, толщиной 7 мм, с вертикальными гофрами, с высотой гофра – 150 мм.

Поперечные водонепроницаемые переборки в грузовой зоне гофрированные, толщиной 7 мм с вертикальными гофрами с высотой гофра 150 мм.

Плоские поперечные переборки установлены в коффердамах и пиках. Набор переборок состоит из ребер жесткости, выполненных из полособульба № 12, и рамных стоек и шельфов таврового профиля со стенкой 7х250 и пояском 10х150.

Для защиты от коррозии подводной части корпуса судна предусмотрена протекторная защита из алюминиевых протекторов.

Привальные брусья – деревянные размером 150х200 мм, установлены на уровне ВП и на уровне верхнего бортового стрингера.

Энергоснабжение баржи, включая пар для системы подогрева груза, обеспечивается буксиром-толкачем или с берега.

Судно снабжено двумя носовыми якорями типа Холла массой по 1250 кг каждый. Якоря убираются в клюзы.

Якорные цепи сварные с распорками, калибром 32 мм, 2 категории прочности, длиной 192,5 м каждая хранятся в цепных ящиках, обеспечивающих самоукладку цепей.

Крепление станových якорей по-походному осуществляется фрикционными винтовыми стопорами.

Предусмотрена дистанционная отдача правого якоря.

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

---

Для подъема и отдачи станových якорей на верхней палубе предусмотрены 2 электрических якорно-швартовых шпиля типа ЯШ5 с питанием от буксира-толкача.

В цепных ящиках установлены устройства для крепления и экстренной отдачи якорных цепей, приводы которых выведены на верхнюю палубу в районе шпилей.

Швартовное устройство снабжается четырьмя капроновыми канатами. Для хранения канатов на судне имеются 4 вьюшки, оборудованных тормозами.

Для швартовки предусмотрены 10 парных швартовых кнехтов диаметром 219 мм и используются якорно-швартовые шпили.

В кормовой оконечности на специальной наделке на корпусе установлены горизонтальные сцепные балки для автоматического сцепного замка УДР-100 буксира-толкача.

Для буксировки в морских районах предусмотрены парные буксирные кнехты диаметром 450 мм, установленные в носовой оконечности в ДП, в кормовой оконечности в ДП и по правому и левому бортам и 2 однотумбовых кнехта диаметром 450 мм, установленные в носовой оконечности по правому и левому бортам. Буксировка обеспечивается на полубрагах. Буксирный трос хранится на буксировщике.

На судне имеются носовая и кормовая п-образные мачты для несения сигнально-отличительных средств и молниеприемников.

Для безопасности временно находящегося на борту персонала судно снабжается спасательными кругами в количестве 4 шт., в том числе 1 – с самозажигающимся буйком и 1 – с плавучим линем.

Сходные люки в помещения форпика и ахтерпика оборудуются крышками стальными водогазонепроницаемыми, с ручками снаружи и внутри размером в свету 600х600 мм. Крышки сходных люков в грузовые и отстойные танки стальные водогазонепроницаемые размером в свету 640х1140 мм искробезопасного исполнения.

Горловины в балластные цистерны, сухие отсеки, коффердамы и цепные ящики размером в свету 400х600 мм.

Для доступа в грузовые танки, балластные цистерны, сухие отсеки и отстойный танк предусматриваются трапы стальные, вертикальные, двухпрутковые, шириной 400 мм (в коффердамы шириной 300 мм).

Открытая палуба защищена четырехрядным леерным ограждением с постоянными леерными стойками высотой 1100 мм. Леерное ограждения выполнено из сплошных профилей. В носовой оконечности установлен фальшборт толщиной 8 мм и высотой 1100 мм.

Судно оборудовано всеми необходимыми системами.

Осушение балластных отсеков производится стационарно установленными в балластных танках № 3ЛБ и 3ПРБ водоструйными эжекторами, осушение остальных отсеков – переносными эжекторами (цепных ящиков – переносным ручным насосом).

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

---

Подача забортной воды осуществляется пожарным насосом буксира-толкача через палубную магистраль с отрезками в балластные цистерны № 3ЛБ и 3ПрБ, остальные балластные цистерны заполняются водой через перепускные клинкетные задвижки, установленные на поперечных переборках.

На палубном трубопроводе установлены концевые клапаны для подключения переносных средств мойки танков, осушения отсеков и пожарных рукавов.

Грузовая система баржи рассчитана на одновременную перевозку 1 сорта груза и обеспечивает прием груза несудовыми средствами производительностью до 800 м<sup>3</sup>/ч через приемно-отливной трубопровод, манифольды ПрБ и ЛБ, расположенные в средней части судна.

Для выгрузки груза система снабжена двумя погружными насосами типа SD150 фирмы Frank Mohn AS производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч каждый. Грузовые насосы имеют гидравлический привод. Первые две баржи подключались к системе гидравлики буксира-толкача, а, начиная с третьего судна, на борту имеется автономный энергомодуль в составе дизельного гидромотора взрывобезопасного исполнения, установленного в специальном контейнере на верхней палубе баржи в кормовой части с левого борта.

Грузовая система – смешанного типа.

Грузовые насосы забирают груз из кормовых танков № 6 правого борта и левого борта и по трубопроводам через манифольд выдают груз на берег.

Груз из танков № 1-№ 5 ЛБ и ПрБ перетекает через переборочные задвижки, установленные на всех смежных переборках танков, и поступает в танки № 6.

Грузовые танки № 6 левого и правого борта оборудованы колодцами для зачистки остатков груза.

Для обеспечения полного слива груза перепускные задвижки устанавливаются в выгороженные во втором дне колодцы.

Особое внимание проектантом было уделено мероприятиям по защите окружающей среды:

- грузовые танки баржи отделены от наружной обшивки двойным дном и двойными бортами;
- прием балласта предусмотрен только в изолированные балластные отсеки;
- для предотвращения аварийной утечки при разрыве грузового шланга предусмотрена аварийная остановка грузовых насосов;
- для предотвращения сброса за борт пролившихся нефтепродуктов под манифольдами установлены поддоны;
- для сбора нефти при разливах на верхней палубе предусмотрены специальные ограждения по периметру грузовой зоны и система шпига-

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

---

тов, позволяющая слить нефть в отстойный танк и таким образом предотвратить разлив нефти за борт;

- для предотвращения аварийного разлива груза при погрузке предусмотрена световая и звуковая сигнализация по верхнему и аварийному верхнему уровню.

Управление запорной арматурой, расположенной в танках, дистанционное, с помощью валиковых приводов, выведенных на верхнюю палубу.

Палубный манифольд приема-выдачи груза с каждого борта оборудован манометром для контроля за грузовыми операциями.

Пуск и остановка грузовых насосов предусматривается с местного поста на барже.

Все грузовые танки оборудованы закрытой системой замера уровня груза, в качестве которой используются переносные уровнемеры HERMetic UTI 2000. Герметичное соединение уровнемера с грузовым танком производится с помощью специальных затворов (клапанов), установленных на палубных приварышах.

В качестве резервного средства измерения предусмотрены замерные трубы с футштоками, изготовленные из искробезопасного материала.

Каждый грузовой танк оборудован индивидуальной газоотводной трубой с огнепреградителем, присоединенной к верхней части танка (комингсу сходного люка).

На газоотводных трубах грузовых танков установлены высокоскоростные дыхательные клапаны «давление-вакуум», которые поддерживают давление в танках не более 21 кПа и вакуум не более 7 кПа.

Дыхательные клапаны оборудованы устройствами принудительного открытия клапана давления и вакуумного клапана, что исключает создание повышенного давления в грузовом танке при погрузке и вакуума при выгрузке.

На каждой газоотводной трубе для контроля состояния газовой среды в грузовых танках (давление-вакуум) установлены:

- до огнепреградителя – мановакуумметр;
- после огнепреградителя – манометр.

Высота установки дыхательных клапанов на безопасном расстоянии 2,4 м, от верхней палубы.

Вентиляция в отсеках обеспечивается естественным воздухообменом через воздушные трубы ахтерпика, форпика, балластных цистерн и сухих междудонных отсеков. В необходимых случаях вентиляция перечисленных отсеков и грузовых танков после мойки производится переносным вентилятором взрывозащищенного исполнения с неэлектрическим (пневматическим, гидравлическим) приводом, одобренного РС типа, производительностью  $\geq 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напором  $\geq 1000 \text{ Па}$ , обеспечивающим соответствующую кратность воздухообмена в час:

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

---

Предусматривается мойка танков с помощью береговых средств (зачистных станций), с использованием переносных моечных машинок, устанавливаемых в танках через моечные горловины, имеющиеся на каждом танке. Для подачи моечной воды к машинкам используется арматура балластно-осушительного трубопровода. Зачистка промывочной воды осуществляется с помощью переносных средств зачистных станций, а также грузовыми насосами.

Возможно выполнение необходимых в процессе эксплуатации моечных работ с использованием средств и оборудования буксира-толкача и баржи.

Для этой цели судно имеет 2 отстойных танка, общей вместимостью 154 м<sup>3</sup>, для сбора загрязненных промывочных вод.

Предусмотрена также возможность мойки грузовых насосов после перевозки тяжелых сортов грузов путем продувки насоса сжатым воздухом или промывкой теплой водой, подаваемой с буксира или с берега. Грязная вода подается насосами в отстойный танк или на берег.

Снабжение системы паром производится от котлоагрегата буксира-толкача. Давление пара 0,6 МПа, требуемый расход 1,9 т/ч.

Все грузовые танки и отстойный танк оборудованы змеевиками подогрева, выполненными из стали.

Система подогрева груза предусмотрена для поддержания требуемой температуры груза при транспортировке и выгрузке. Система подогрева обеспечивает поддержание температуры перевозимого груза около +60°С.

При эксплуатации в летний период времени с высокой температурой окружающего воздуха (более 25 °С) с целью снижения испарений перевозимых нефтепродуктов и загрязнения окружающей среды предусмотрена система орошения грузовой палубы забортной водой. Для орошения в районе ДП проложена специальная магистраль с отростками, на которых установлены распылители воды, равномерно распыляющие забортную воду по поверхности грузовой палубы.

Подача забортной воды в систему производится от водопожарной системы буксира-толкача. Общий расход воды на орошение грузовой палубы составляет 50,4 м<sup>3</sup>/ч.

Для удаления воды с открытой палубы имеется система шпигатов, отвод воды от которых осуществляется по трубам за борт над ватерлинией.

Противопожарная защита судна осуществляется средствами буксира-толкача. Для этого буксир-толкач оборудован системой водотушения и системой пенотушения. Для подачи пены к очагу пожара буксир-толкач имеет лафетный ствол производительностью 20 м<sup>3</sup>/ч и длиной пенной струи 30 м. В качестве резервного средства подачи пены используются переносные пеногенераторы.

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

---

Для обеспечения работы двух стволов системы водотушения буксира-толкача и параллельной работы системы орошения грузовой палубы судна требуемая производительность пожарного насоса составляет  $80 \text{ м}^3/\text{ч}$  при напоре 0,6 МПа.

Буксиры-толкачи доукомплектованы соответствующим противопожарным снабжением.

Контроль состояния воздушной среды и измерение дозврывных и санитарных концентраций паров нефтепродуктов в балластных цистернах и сухих отсеках осуществляется переносными газоанализаторами.

Источником электроэнергии баржи при ее толкании в ходовом режиме является электростанция буксира-толкача с напряжением 380 В и 220 В. Потребители электроэнергии баржи получают питание через гибкие кабели, подключенные к силовым разъемам, расположенным на палубе баржи в корме.

Основным родом тока на судне принимается переменный ток частотой 50 Гц с изолированной трехпроводной сетью распределения. 380 В трехфазного тока для силовых потребителей.

Предусмотрено стационарное освещение в районе якорно-швартовых шпилей, в районе грузовых манифольд, грузовых насосов, станции гидропривода и у электрощитов в корме. Питание светильников осуществляется от судовой сети буксира толкача. Включение светильников осуществляется с буксира. Светильники во взрывоопасной зоне имеют вид взрывозащиты Еехd ПВ Т4. Для переносного освещения используются светильники головные аккумуляторные взрывобезопасного исполнения типа СГВ-2 номинальным напряжением 3,6 В.

Освещение открытой палубы грузовой зоны осуществляется прожекторами, установленными на буксире.

Для обеспечения плавания по реке в составе с толкачом на судне предусмотрена установка топового фонаря. Питание фонаря и навигационных прожекторов в носовой части баржи обеспечивается напряжением 220 В, 50 Гц от толкача.

Для плавания на буксире в морских условиях предусмотрен комплект фонарей в соответствии с требованиями МППСС. Питание этих фонарей предусматривается напряжением 24 В постоянного тока от аккумуляторных батарей в течение 48 часов. Батареи размещаются в аккумуляторном ящике в корме, вне взрывоопасной зоны. Зарядка аккумуляторных батарей осуществляется от зарядного выпрямительного агрегата установленного на барже. Включение и выключение фонарей производится автоматически в зависимости от освещенности окружающей среды.

Время работы от аккумуляторных батарей 48 часов выбрано из расчета буксировки баржи по морю до места выгрузки в течение одних суток (столько же на обратный путь) и времени стоянки. В расчете учтено только максимально возможное темное время суток около 16 часов.

## ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА

---

Для контроля действия кормового фонаря при эксплуатации баржи методом буксировки предусмотрена световая сигнализация в сторону буксира фонарем с узким сектором излучения. Фонарь зажигается автоматически в случае неисправности кормового фонаря.

Прокладка магистральных кабельных трасс, а также отдельных кабелей во взрывоопасных зонах производится в трубах.

Специальное антистатическое заземление электропроводных элементов систем и отдельных устройств не требуется, т.к. они конструктивно соединены сваркой и фланцевыми соединениями, обеспечивающими надежный электрический контакт.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о том, что главные характеристики баржебуксирного состава «Волго-Дон макс» класса определяются путевыми условиями Кочетовского шлюза ВДСК: габаритная длина 140 м, габаритная ширина 16,8 м, осадка в пределах 3,60-4,60 м и ветроволновыми условиями Азовского моря (допускаемая высота волны 3 % обеспеченности 2,5-3,5 м).

Постройка серии нефтеналивных барж типа «Палойл» позволила в кратчайшие сроки выровнять дефицит танкерного тоннажа на смешанных река-море перевозках нефтепродуктов с портов на Волге до Керченского пролива.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Б.В. *Морские и рейдовые баржи*. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 296 с.
2. Ваганов Г.И. *Эксплуатация секционных составов*. – М.: Транспорт, 1974. – 192 с.
3. Егоров Г.В. *Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска*. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
4. Егоров Г.В. *Речной и прибрежный транспорт США. Техника и инфраструктура // Судостроение и судоремонт*. – 2007. – № 5 (26). – С. 22 - 27.
5. Егоров Г.В. Исупов Ю.И., Калугин Я.В. *Исследование основных элементов нефтеналивных судов ограниченных районов плавания // Материалы междунар. НТК “Безопасность мореплавания и ее обеспечение при проектировании и постройке судов (БМС - 2007)”*. – Николаев: НУК, 2007. – С. 46-49.
6. Мытник Н.А. *Современное состояние и перспективы развития морских составных судов // Судостроение*. – 2009. – № 3. – С. 11-16.

**ОСОБЕННОСТИ НЕФТЕНАЛИВНОГО БАРЖЕБУКСИРНОГО  
СОСТАВА «ВОЛГО-ДОН МАКС» КЛАССА**

---

---

7. *Поспелов В.И., Плаценкова В.А. Транспортные несамоходные суда. Устройство и техническая эксплуатация. – М.: Транспорт, 1987. – 192 с.*
8. *Ростовцев Д.М., Семенов Ю.Н. Составные суда – перспективное направление развития грузового флота// Судостроение. – 1978. – № 9. – С. 3-8.*

Надійшла 10.04.09

## ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

---

*Рассмотрена физическая картина и условия появления дрейфа судна на якоре при воздействии шквалистого ветра и волнения. Показано, при каком фазовом соотношении воздействий шквала и волнения возникает рывок цепи, приводящий к страгиванию и проползанию якоря.*

*Розглянуто фізичну картину та умови появи дрейфу судна під дією шквалистого вітру та хвилювання. Показано, при якому фазовому відношенні дій шквалу та хвилювання з'являється ривок ланцюга, що приводить до зрушення та проповзання якоря.*

*The physical picture and conditions of emerging ship's drift at the anchorage is considered with the influence of squally wind and roughness. It is displayed at what phase correlation of squall and roughness influences the jerking of anchorage chain emerges, that causes crack starting and anchor creeping.*

**Ключевые слова:** дрейф, якорь, ветер, волнение, начало, условия.

Одним из основных условий безопасности якорной стоянки судна является устойчивость его позиционирования на выбранном месте при воздействии гидрометеорологических факторов: ветра, волнения, течения. Это условие обеспечивается надежностью якорных систем.

После первых по времени результатов расчетов якорных систем, полученных академиком А.Н. Крыловым, значительный вклад в разработку статических расчетов якорных систем плавучих объектов внесли Александров М.Н., Бугаенко Б.А., Горбунов Д.И., Полунин А.М., Давыдов И.Н., Заритовский Н.Г. и др.

Общая проблема многопланового повышения надежности якорного устройства в целом, в том числе на основе вероятностного подхода, обстоятельно исследована в многочисленных работах Александрова М.Н., Жукова Ю.Д., в монографии Кульмача П.П. В зарубежных публикациях за редким исключением рассмотрены методы статических расчетов якорных систем, их обзор приведен в работах Берто Г.О.

Обзорный анализ отечественных и зарубежных публикаций показывает, что динамика поведения судна на якоре в проблеме безопасности якорной стоянки изучена недостаточно.

В 80-х годах появились немногочисленные работы по динамике судна на якоре. Приближенную теорию якорной стоянки в условиях волнения, течения и шквалистого ветра предложил Дыхта Л.М. Исследованию вероятностных характеристик процессов движения судна и якорного каната посвящена работа Некрасова В.А. Кинематику судна на якоре исследовали Кузнецов А.И., Чумак А.Е., Циммерман Г.Г.

## ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

---

В предлагаемой работе на основе результатов известных частных решений [1, 2, 3] рассмотрена физическая картина и условия появления дрейфа судна на якоре при воздействии шквалистого ветра и волнения.

Известно, что судно на якоре при внешних воздействиях совершает сложное перемещение в форме рыскания и дрейфа, было установлено, что в числе составляющих процесса такого движения всегда присутствует явление автоколебаний. В результате изменяется позиция судна на якорной стоянке.

Практически дрейф судна начинается в те моменты, когда возникает неравенство

$$R > T,$$

где  $R$  – динамически изменяющаяся горизонтальная проекция натяжения якорной цепи, зависящая от равнодействующей всех внешних воздействий на корпус судна;

$T$  – изменяющаяся в пределах от  $T_{я}$  до  $1,2 T_{я}$  держащая сила системы «якорь- цепь»;

$T_{я}$  – держащая сила якоря.

Основная сложность задачи состоит в определении левой части неравенства, конкретнее – условий появления максимального натяжения якорной цепи  $R$ .

В известных методиках расчетов усилий в якорных системах решение задачи состоит из двух этапов.

На первом этапе исследуется квазистационарное состояние якорной системы под действием постоянных по величине скоростей течения и ветра.

Цель этого этапа – получение набора квазистатических характеристик якорной системы: зависимостей горизонтального натяжения от смещения плавучего объекта (судна), необходимых для решения задачи второго этапа.

Второй этап заключается в аналитическом расчете максимального смещающего усилия от воздействия волнения заданной бальности, а также от шквального ветра.

В общем случае рассматривается стоянка судна на одном якоре при воздействии на него течения, ветра и волнения.

Судно, стоящее на якоре, представляет собой динамическую систему под воздействием возмущающей силы  $P$  и восстанавливающей силы, которой является горизонтальная составляющая натяжения якорной цепи  $T$ .

Если не учитывать явление автоколебаний, то обе силы действуют в продольной плоскости судна, почти совпадающей по направлению с плоскостью провисания якорной цепи. Колебательное движение судна относительно этой плоскости при таком допущении не рассматривается, однако сама плоскость вследствие автоколебаний периодически поворачивается относительно полюса – точки (пятна) отрыва цепи от грунта.

## ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

Реакция судна на различные составляющие внешнего воздействия имеет свою специфику и требует рассмотрения каждой из них в отдельности.

При действии на судно ветра или течения и ветра, совпадающих по направлению, судно располагается практически в плоскости натяжения якорной цепи, совершая (без учета автоколебаний) только продольные колебательные движения.

В первом приближении действие ветра на судно можно представить постоянной внешней силой  $P_{cp}$ . Порывистость ветра в данном случае можно учитывать введением величины эффективной скорости ветра.

В реальных условиях изменение аэродинамической силы с учетом порывистости ветра представляет собой колебательный процесс с вполне определенными параметрами. Анализ записей ветра показывает, что в интервалах времени определенной длительности изменение скорости ветра можно аппроксимировать гармоническим законом, следовательно аэродинамическая сила с некоторыми допущениями может быть представлена в виде

$$P = P_{cp} + \Delta P \sin pt, \quad (1)$$

где  $P_{cp}$  – аэродинамическая сила, соответствующая средней скорости ветра  $W$ ;

$\Delta P$  – приращение аэродинамической силы, соответствующее приращению скорости ветра в порыве  $\Delta W$ ;

$p$  – циклическая частота, равная  $\frac{2\pi}{T_e}$ ;

$T_e$  – период ветрового порыва.

Схема стоянки судна на якоре в условиях ветра показана на рис.1.

Судно находится в положении, смещенном вправо относительно статического равновесия (точка 0)  $x$ , и движется в сторону возрастания  $x$ .

В точке  $A$  судно изначально находится под действием некоторой силы (ветер, течение)  $P_0$ , величина смещения из точки  $A$  в точку 0 под действием силы ветра  $P_{cp}$  обозначена  $x_{p_{cp}}$ .

Результаты выполненных исследований показывают, что в некотором диапазоне малых значений силы  $P$  и вызванных ею малых смещений  $x$  противостоящая ей восстанавливающая сила реакции цепи  $F$  возрастает по нелинейному закону. Начиная с некоторого значения  $F_0$ , соответствующего некоторой аэродинамической силе, в частности силе  $P_0$ , при дальнейшем росте силы  $P$ , вызванных ею смещений  $x$  и равной ей противостоящей силы  $F$  дальнейшая зависимость  $F = f(x)$  может быть аппроксимирована линейной функцией

$$F = cx. \quad (2)$$

**ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ  
И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ**

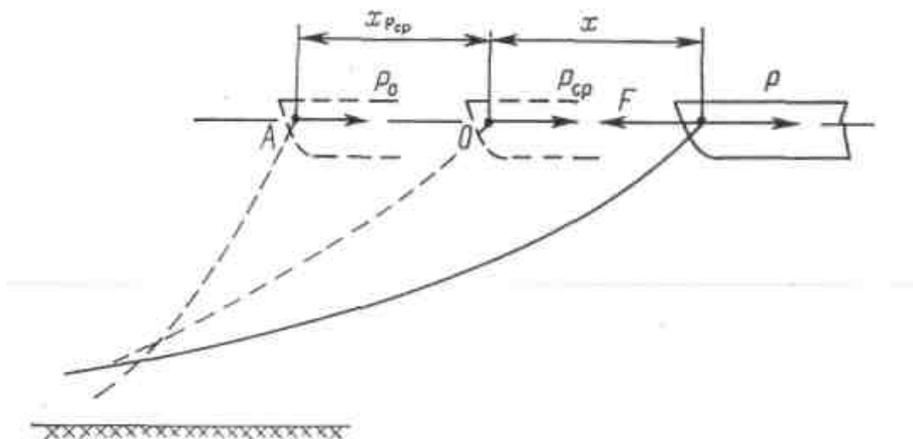


Рис.1. Схема действующих сил и перемещений судна при ветре

Коэффициент пропорциональности определяется по формуле

$$c = \frac{P_{я} - P_0}{x_{P_{я}} - x_{P_0}}, \quad (3)$$

где  $P_{я}$  – держащая сила якорного устройства;

$x_{P_{я}}$ ,  $x_{P_0}$  – смещения, определяемые по формуле

$$x_F = H \left( 1 - \sqrt{\frac{2F}{qH}} + 1 + \sqrt{\frac{2F}{qH}} \right), \quad (4)$$

где  $H$  – глубина места якорной стоянки;

$q$  – погонная масса якорной цепи.

Дифференциальное уравнение движения судна под действием ветра и реакции якорной цепи приведено в работе [3] к форме линейного неоднородного дифференциального уравнения колебательного процесса, в его решении свободные колебания быстро затухают, а процесс вынужденных колебаний выражается формулой

$$x = \frac{h}{\sqrt{(k^2 - p^2) + 4n^2 p^2}} \sin(pt - \varepsilon). \quad (5)$$

Амплитуда вынужденных колебаний  $A$  определяется выражением

$$A = \frac{\Delta P}{m \sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4n^2 p^2}}. \quad (6)$$

## ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

Как видно из выражения (6),  $A$  определяется соотношением коэффициентов  $k$ ,  $n$ ,  $p$  и приращением аэродинамической силы порывистого ветра  $\Delta P$ .

При условии  $k = p$  амплитуда достигает максимальных величин

$$A_{\max} = \frac{\Delta P}{2mnp} . \quad (7)$$

Значение периода порывов ветра  $T_{рез}$ , соответствующего резонансной амплитуде, определяется формулой

$$T_{рез} = \frac{2\pi}{k} . \quad (8)$$

В условиях волнения судно на якоре испытывает качку, т. е. точка закрепления якорного каната в клюзе участвует вместе с судном в орбитальном движении частиц воды, вследствие чего натяжение якорного каната периодически изменяется.

Академик Крылов А.Н. впервые поставил задачу и предложил метод ее решения, состоящий в том, чтобы по перемещениям судна определить силы, вызывающие эти перемещения.

В основу метода были положены следующие гипотезы:

- работа якорного каната в условиях волнения аналогична работе стального буксирного троса на волнении;
- вертикальное перемещение судна и якорного клюза на волнении несущественно влияет на усилия в якорном канате;
- максимальные вертикальное и горизонтальное перемещения центра тяжести судна на волнении *не превышает* половины высоты волны  $h$ .

Безусловно, последняя гипотеза может быть принята только при решении задачи в первом приближении. Тем не менее известны результаты модельных экспериментов, при которых нерегулярная волна с амплитудой 3 %-й обеспеченности 9,25 м вызывала статическое горизонтальное смещение заякоренной модели под действием постоянной составляющей силы волнового дрейфа, равное 5,5 м [2].

Для обеспечения надежной стоянки судна на якоре при одновременном воздействии на него силы  $W$  и при максимальном горизонтальном перемещении точки  $B$  (якорного клюза) под действием волнения на величину  $h/2$  необходимо выполнение двух основных условий:

- длина и вес якорного каната должны быть такими, чтобы усилие, приложенное к веретену якоря, было горизонтальным;
- нормируемый запас прочности якорного каната должен быть достаточным.

## ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

При совместном действии ветра и волнения модель расчетной ситуации состоит в том, что в начальном положении судно находится в равновесии под воздействием постоянного ветра (15-18 м/с) или течения, а затем на него начинает действовать шквал и волнение. Принято рассматривать наиболее неблагоприятный случай, при котором время действия шквала больше времени достижения судном максимального смещения на волнении, т. е. полупериода продольных колебаний.

Перемещения судна, стоящего на якоре в сложных условиях, показаны на рис. 2.

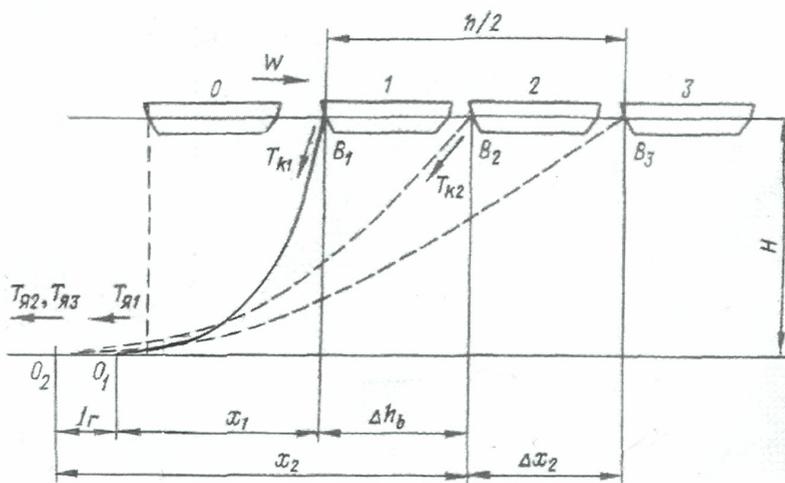


Рис. 2. Стоянка на якоре в условиях ветра и волнения

Положение  $O$  соответствует полному отсутствию внешних воздействий на судно, цепь вертикальна и, следовательно, нет горизонтальной составляющей натяжения в цепи.

Положение 1 судна соответствует условию равновесия якорной системы под воздействием силы ветра  $W$  при отсутствии волнения ( $B_1$  – положение якорного клюза и  $O_1$  – точка касания якорным канатом грунта).

Положение 2 соответствует перемещению судна под действием волнения вследствие изменения параметров якорного каната, рассматриваемого как нерастяжимая гибкая нить ( $B_2$  – положение якорного клюза и  $O_2$  – точка касания якорным канатом грунта).

Положение 3 соответствует полному перемещению судна на величину  $x_2 + \Delta x_2$  с учетом упругого удлинения якорного каната  $\Delta x_2$  ( $B_3$  – положение якорного клюза,  $O_2$  – точка касания якорным канатом грунта).

## ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

Таким образом полное перемещение судна ( $h/2$ ), как показано на рис.2, состоит из двух независимых частей:

- перемещения  $\Delta h_b$  вследствие изменения параметров цепной линии как нерастяжимой гибкой нити (положение 2 на рис. 2);
- перемещения  $\Delta x_2$  вследствие упругого удлинения якорного каната.

Висящий участок якорной цепи, связывающей судно с якорем, имеет форму цепной линии. Линия действия горизонтальной составляющей силы натяжения считается лежащей в плоскости провисания цепи.

Натяжение цепи определяется ее весом, который зависит от и длины цепной линии и веса погонного метра цепи в воде.

Горизонтальная составляющая силы натяжения зависит от величины проекции цепной линии на плоскость грунта. При расположении якорного клюза или над точкой отрыва цепи от грунта или над скобой якоря (панер) эта проекция, а значит и горизонтальная составляющая силы натяжения цепи равны нулю.

Суммарное горизонтальное усилие в якорной системе определится из выражения

$$T_{\text{сум}} = T + T_{\text{дин}}, \quad (9)$$

где  $T_{\text{дин}}$  – усилие от периодического изменения провисающего участка цепи от действия качки на волнении,

Требуется установить зависимость натяжения  $T$  от величины  $\Delta x$ , характеризующей проекцию перемещения клюза  $C$  на плоскость провисания цепи. На рис. 3 схематично изображены положения якорной цепи в текущий ( $A_1K_1$ ) и в начальный ( $A_0K_0$ ) моменты времени. Здесь  $x$  – горизонтальное расстояние между исходным положением клюза  $K_0$  и точкой отрыва якорной цепи от грунта  $A$ . Строго говоря, расстояние  $x$  будет переменным.

Расчеты показывают, что переменность расстояния  $x$  не оказывает заметного влияния на рыскание судна, и величина  $x$  принимается постоянной и равной горизонтальной проекции висящего участка якорной цепи  $A_0K_0$  (рис.3) в исходном положении судна  $x = b_0$ .

При перемещении клюза натяжение цепи будет изменяться. Горизонтальная составляющая этого натяжения может быть представлена суммой

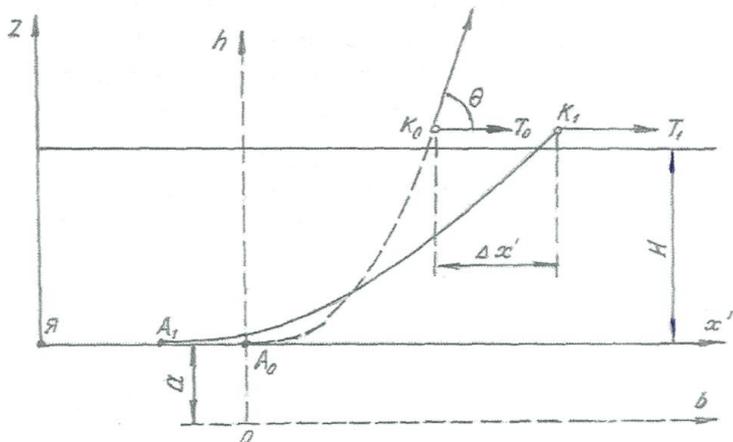
$$T = T_0 + \Delta T. \quad (10)$$

Очевидно, при этом изменятся также и геометрические элементы цепной линии, показанные на рис.3, в частности:

ее длина

$$s = A_1K_1 = A_0K_0 + \Delta s = s_0 + \Delta s, \quad (11)$$

**ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ  
И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ**



*Рис.3. Система координат положения якорной цепи  
в плоскости провисания*

горизонтальная проекция

$$b = A'_0 K_0 + \Delta b = b_0 + \Delta b . \quad (12)$$

Приращения  $\Delta b$ ,  $\Delta s$  и  $\Delta x$  связаны очевидным соотношением

$$\Delta x' = \Delta b - \Delta s . \quad (13)$$

Для рассмотренного случая перемещения судна под действием ветра и волнения с учетом упругого растяжения цепи (рис.2)

$$\Delta x = \Delta h_b + \Delta x_2 . \quad (14)$$

Так как величины  $b$  и  $s$  непосредственно связаны с натяжением цепи  $T$ , соотношение (13) позволяет установить зависимость натяжения  $T$  от перемещения клюза  $\Delta x$ .

Из уравнения цепной линии следует

$$a + H_1 = ach \frac{b}{a} . \quad (15)$$

Перейдя к безразмерным величинам,

$$\bar{b} = \frac{b}{H_1}, \quad k = \frac{a}{H_1} = \frac{T}{wH_1} \quad (16)$$

получим,

$$1 + \frac{1}{k} = ch \frac{\bar{b}}{k} . \quad (17)$$

### ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

Академик Крылов А.Н. показал, что форма тяжелой цепной линии может служить «динамометром самой себя», а угол наклона ее верхнего конца к горизонту  $\theta$  – показателем количественного соотношения действующих в ней сил.

Из теории цепной линии следуют соотношения

$$s = atg\theta, \quad \cos\theta = \frac{a}{H_1 + a}, \quad (18)$$

где  $\theta$  – угол между касательной к цепной линии в точке, совпадающей с клюзом и плоскостью горизонта (рис. 3).

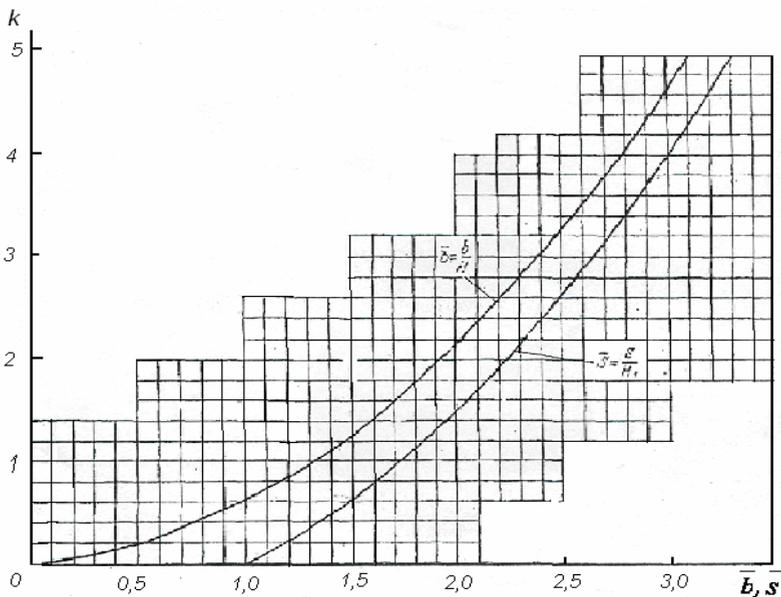


Рис.4. Зависимость безразмерного натяжения в якорной цепи от ее безразмерных длины и горизонтальной проекции

Используя равенства (16), (17) и выражая  $tg\theta$  через  $\cos\theta$ , в работе [1] было установлено безразмерное соотношение между длиной висящего участка якорной цепи  $\bar{S}$  и безразмерным натяжением  $k$

$$\bar{s} = \sqrt{1 + 2k} = \frac{s}{H_1}. \quad (19)$$

Построенные на рис.4 безразмерные графики  $k(\bar{b})$  и  $k(\bar{s})$  оказываются удобными для установления связи между  $\Delta b$ ,  $\Delta s$  и  $\Delta k$ , где

$$\Delta k = \frac{\Delta T}{wH_1}. \quad (20)$$

## ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

При начальных значениях  $k_0$  и  $T_0$  имеют вид

$$k_0 = \frac{T_0}{wH_1}, \quad T_0 = C \frac{\rho_0 Q}{2} v^2. \quad (21)$$

Располагая зависимостями

$$\overline{\Delta b} = f_1(k_0, \Delta k), \quad \overline{\Delta s} = f_2(k_0, \Delta k)$$

нетрудно построить на основании выражения (13) окончательный график, характеризующий важную зависимость горизонтальной проекции натяжения  $\Delta k$  якорной цепи от величины перемещения клюза  $\Delta x$  при дрейфе и рыскании судна. График такой зависимости для случая, когда  $k_0 = 0$  приведен на рис. 5.

Для других значений  $k_0$  график функции  $\Delta k = f(\Delta x)$  получается путем перемещения начала координат по кривой в точку ее пересечения с горизонталью  $k = k_0$ .

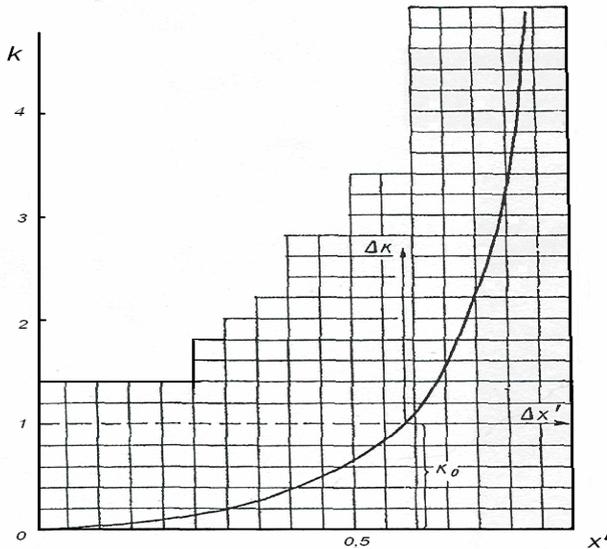


Рис.5. Зависимость безразмерного натяжения якорной цепи от величины перемещения якорного клюза

Вышеизложенное позволяет более четко представить условия возникновения и процесс дрейфования судна на якорной стоянке под воздействием ветра и волнения.

Известно, что дрейф стоящего на якоре судна начинается рывками в моменты крайних амплитудных отклонений при рыскании и образуется в результате последовательного ряда смещений судна по генеральному направлению, определяемому равнодействующей всех внешних сил.

Явление дрейфа будет более значительным с увеличением размахов рыскания, вызванных колебаниями внешних воздействий, а также

## ОБ УСЛОВИЯХ ПОЯВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДРЕЙФА СУДНА НА ЯКОРЕ ПРИ ВЕТРЕ И ВОЛНЕНИИ

---

явлением автоколебаний, возникающих под действием постоянной составляющей скорости встречного ветра.

При этом якорный клюз будет находиться в постоянном движении и длина висящего участка якорной цепи, связывающей судно с якорем, а значит ее горизонтальная проекция и, как следствие этого, горизонтальная составляющая натяжения цепи будут непрерывно изменяться, воздействуя по закону обратной упругой связи на корпус судна.

При совместном действии на судно ветра и волнения (рассматривая лишь линейную часть уравнения движения) моделью наихудшей ситуации окажется такая, когда вследствие продольных горизонтальных колебаний смещение судна навстречу шквалу будет максимальным.

В тот момент, когда суммарная величина работ сил шквала и волнения уравниваются с работой силы натяжения цепи, смещение судна от исходного равновесного положения может достичь удвоенной амплитуды продольной качки.

При таком смещении натяжение цепи также достигает максимума.

Именно в этот момент может возникнуть рывок цепи, вызывающий страгивание и проползание якоря. Периодическая последовательная повторяемость такого явления во времени образует и представляет собой процесс дрейфования судна.

Формально аналогичная модель наихудшей ситуации при бортовой качке судна на волнении и воздействии шквального ветра использована в расчете критерия погоды при нормировании остойчивости судов по Правилам морского Регистра судоходства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рахманин Н.Н. Рыскание и дрейф на якоре при действии ветра и течения. Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. Вып.239. – М.: Судостроение, 1967. № 2. – С.82-94.
2. Урусов Ш.А. Способ определения основных параметров цепной линии при стоянке судна на одном якоре в условиях волнения / Научн.техн. сборник Регистра СССР. – 1983. – № 13. – С. 57-68.
3. Кубачев Н.А. Страшко А.И. Динамические нагрузки на якорное устройство с учетом порывистости ветра. – Л.: Судостроение, 1985. – № 12. – С. 9-10.

Надійшла 15.06.09

## ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ

*Изложен алгоритм практического расчета обобщенной присоединенной массы шпангоутного контура при бесконечной частоте вертикальных (поперечно-горизонтальных) колебаний на мелководье с помощью метода граничных интегральных уравнений. Приведена функция Грина соответствующей краевой задачи.*

*Наведено метод розрахунку приєднаної маси шпангоутів при безкінечній та нульовій частотах вертикальних та горизонтальних коливань шпангоутного контуру на мілководді за допомогою метода граничних інтегральних рівнянь. Надано функції Гріна відповідних крайових задач.*

*The method of practical calculation of added mass for a frame contour oscillating vertically or horizontally in shallow water domain. The boundary integral equation method is used. The Green function for both boundary value problems are given.*

*Ключевые слова: присоединенная масса контура, метод граничных интегральных уравнений, функция Грина краевой задачи.*

Инерционные гидродинамические силы, действующие на судно при качке, вызываются перераспределением во времени суммарной энергии между судном и окружающей его жидкостью. Эти силы представляются в виде произведения обобщенной присоединенной массы  $\lambda_{pj}$  на соответствующее ускорение. В отличие от возмущающих сил и коэффициентов демпфирования, обобщенные присоединенные массы нельзя связывать с асимптотическими значениями потенциала скоростей  $\Phi_j$ , возмущенных колебаниями судна на тихой воде. Для прямого определения  $\lambda_{pj}$  необходимо знать поле возмущенных скоростей жидкости вблизи судна и преодолеть трудности интегрирования гидродинамических давлений по смоченной поверхности корпуса. Можно использовать обходной путь, основываясь на следующих соображениях. В [1] и [2] разными путями показано, что обобщенные присоединенные массы  $\lambda_{pj}$  и коэффициенты демпфирования  $\mu_{pj}$  пропорциональны синус и косинус-преобразованиям Фурье одной и той же функции. Этого достаточно [3], чтобы получить формулы типа формул обращения, которые связывают  $\lambda_{pj}$  и  $\mu_{pj}$ .

$$\lambda_{pj}(\sigma) = \lambda_{pj}(\infty) + \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\mu_{pj}(x) - \mu_{pj}(\infty)}{x^2 - \sigma^2} dx, \quad (1)$$

### ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ

$$\mu_{pj}(\sigma) = -\frac{2\sigma}{\pi} \int_0^{\infty} [\lambda_{pj}(x) - \lambda_{pj}(\infty)] \frac{x dx}{x^2 - \sigma^2}, \quad p, j = 1, 2, \dots, 6. \quad (2)$$

Здесь интегралы понимаются в смысле главного значения по Коши, а  $\lambda_{pj}$  и  $\mu_{pj}$  - обобщенная присоединенная масса и коэффициент демпфирования при бесконечной частоте колебаний. Следует учитывать, что при качке судна без хода  $\mu_{pj}(\infty) = 0$  для всех  $p$  и  $j$ . Если же судно совершает продольную качку на ходу, то  $\mu_{pp}(\infty) = \mu_{pj}^0(\infty) \equiv 0$ ,  $p = 1, 2, \dots, 6$ ;  $j = 1, 2, \dots, 6$ , в то время, как  $\mu_{35}(\infty), \mu_{53}(\infty), \mu_{26}(\infty), \mu_{62}(\infty)$  отличны от нуля, причем

$$\begin{aligned} \mu_{pj} &= \mu_{pj}^0 - v\lambda_{pp}, \quad (p = 2, j = 6), (p = 3, j = 5); \\ \mu_{jp} &= \mu_{jp}^0 - v\lambda_{pp}, \quad (p = 6, j = 2), (p = 3, j = 3). \end{aligned} \quad (3)$$

Величины  $\mu_{jp}^0 = \mu_{pj}^0$  инвариантны относительно следования индексов и определяются по формулам, найденным из анализа волновой энергии, уносимой от судна при качке. Соотношения (1), (2) в статистической механике названы соотношениями Крамерса-Кронига. Соотношения этого типа получены также М. Бешо из анализа интегрального уравнения для функции Н.Е. Кочина краевой задачи о колебаниях тела на свободной поверхности идеальной тяжелой жидкости. В [3] показано, что формулы типа (1) и (2) следуют из линейности рассматриваемой динамической системы и принципа «причинности», согласно которому силы, действующие в линейной системе, зависят от движения судна только в данный и предшествующие моменты времени. Поскольку динамическая система «качающееся судно – взволнованная жидкость» принята линейной для всех видов качки судна на ходу и на стоянке, при бесконечной и ограниченной глубинах фарватера, формулы (1) и (2) являются универсальными.

В формулах (1) и (2) фигурирует  $\lambda_{pj}(\infty) =$  обобщенная присоединенная масса при бесконечной частоте колебаний. Детальное исследование метода плоских сечений, применяемого для решения широкого круга задач гидродинамической теории качки, показало, что этот метод тем точнее отвечает физической картине обтекания тела при колебаниях в жидкости, чем выше частота колебаний. Это позволяет с полным основанием считать, что обтекание судна при бесконечной частоте колебаний в жидкости происходит в плоскостях шпангоутов, а взаимным влиянием течения на разных шпангоутах можно пренебречь. Поэтому для определения обобщенных присоединенных масс судна при бесконечной частоте колебаний можно рассмотреть плоскую гидродинамическую задачу о высокочастотных колебаниях шпангоутного контура, плавающего на свободной поверхности жидкости. При вертикальных колебаниях эллиптического контура на глубокой воде эта задача легко решается, и присоеди-

## ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ

ненная масса такого контура для бесконечной частоты колебаний определяется весьма просто. Если контур отличен от эллиптического, соответствующая расчетная формула легко корректируется.

В то же время методы определения присоединенной массы при высокочастотных вертикальных колебаниях на мелководье практически не разработаны. Единственное полное решение задачи получено с помощью метода Блоха-Гиневского в [4], где определены значения присоединенной массы для эллиптического цилиндра, совершающего вертикальные колебания между двумя стенками. В [5] сформулировано интегральное уравнение задачи, решение которого получено только для двух контуров простейшей формы. В [6, 7, 8] приведены некоторые аналитические исследования этой задачи и частные результаты. Однако достаточно общий метод определения присоединенной массы при бесконечной частоте колебаний еще не разработан.

Заметим, что результаты исследования высокочастотных колебаний тел, плавающих на свободной поверхности идеальной тяжелой жидкости, необходимы не только для использования в расчетах обобщенных присоединенных масс по формуле Крамерса-Кронига. Они имеют самостоятельное значение для решения многих практических задач вибрации судов.

Получим решение задачи об определении присоединенной массы при высокочастотных вертикальных колебаниях шпангоута на мелководье.

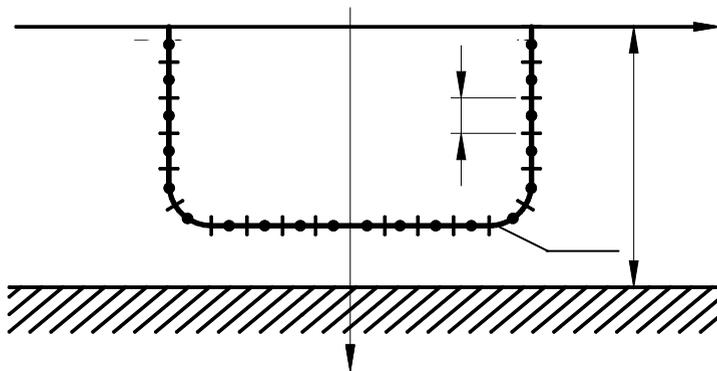


Рис. 1. Разделение контура шпангоута на элементы

Пусть шпангоутный контур  $L$  (рис.1), плавающий на мелководье глубиной  $H$ , совершает малые вертикальные колебания по гармоническому закону с единичной амплитудой скорости, а частота колебаний стремится

**ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ  
ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ**

к бесконечности. Для потенциала  $\tilde{\varphi}(y, z)$  возмущенных скоростей жидкости получается такая краевая задача:

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \tilde{\varphi}(y, z) &= 0; \quad (y, z \in E), \\ \tilde{\varphi}(y, 0) &= 0; \quad |y| > \frac{B}{2}, \\ \frac{\partial}{\partial N} \tilde{\varphi}(y, z) &= \cos \left( N, \hat{z} \right); \quad (y, z) \in L, \\ \frac{\partial}{\partial z} \tilde{\varphi}(y, H) &= 0; \quad (-\infty < y < \infty). \end{aligned} \tag{4}$$

Здесь  $E$  – полоса  $0 \leq z \leq H$  с вырезом в виде контура  $L$ ,  $N$  – внешняя нормаль к контуру.

Искомая присоединенная масса  $\lambda_{33}^\infty$  при вертикальных колебаниях контура  $L$  с бесконечно большой частотой выражается через значения потенциала  $\tilde{\varphi}(y, z)$  и его производной на контуре  $L$

$$\lambda_{33}^\infty = -\rho \oint_L \tilde{\varphi} \frac{\partial \tilde{\varphi}}{\partial N} dl. \tag{5}$$

Решение краевой задачи (4) описано в [9], где использовано четырехшаговое конформное преобразование области  $E$  в круговое кольцо и затем выполнено решение внутренней задачи Немана в кольце. Это решение связано с потерей точности и необходимостью преодоления серьезных вычислительных трудностей в случае большого значения отношения  $\frac{B}{T}$  и малых величин зазора под килем  $H - T$ . Ниже дано решение внешней задачи Немана (4) на основе применения техники граничных интегральных уравнений, свободное от отмеченных недостатков решения, приведенного в [9]. В соответствии с процедурой метода граничных элементов значение искомого потенциала  $\tilde{\varphi}(p)$  в точках  $P$  границы области – контура  $L$  определяются из интегрального уравнения

$$\tilde{\varphi}(P) = \oint_L \left[ \tilde{\varphi}(M) \frac{\partial G(M, P)}{\partial N} - G(M, P) \frac{\partial \tilde{\varphi}(M)}{\partial N} \right] dl. \tag{6}$$

Здесь  $G(M, P)$  – функция Грина краевой задачи (4);  $\frac{\partial G(M, P)}{\partial N}$  – производная этой функции по внешней нормали  $N$  к контуру  $L$ . Заметим, что нормальная производная функции Грина определяется через

**ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ  
ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ**

производные этой функции по координатным осям  $y$  и  $z$  и направляющие косинусы  $\cos(\hat{N}, y)$ ,  $\cos(\hat{N}, z)$  нормали  $N$ .

$$\frac{\partial G(M, P)}{\partial N} = \frac{\partial G(M, P)}{\partial y} \cos(\hat{N}, y) + \frac{\partial G(M, P)}{\partial z} \cos(\hat{N}, z). \quad (7)$$

Функция Грина краевой задачи (4) и ее нормальная производная различны для областей  $0 \leq z < \zeta$  и  $\zeta < z \leq H$ .

Введем для краткости написания систему безразмерных координат  $\bar{y}$ ,  $\bar{\eta}$ ,  $\bar{z}$ ,  $\bar{\zeta}$  по правилу

$$a_1(\bar{y}, \bar{\eta}) = \frac{\pi B}{4HT} (y - \eta); \quad a_2(\bar{z}) = \frac{\pi}{2H} z; \quad a_3(\bar{\zeta}) = \frac{\pi}{2H} \zeta, \quad (8)$$

где  $B$  и  $T$  – ширина и осадка контура соответственно.

Выписывая ниже функции Грина и их производные, черточки над координатами в (8) опустим. Введем в рассмотрение функции  $b_1(y, z, \eta, \zeta)$ ,  $b_2(y, z, \eta, \zeta)$ ,  $c_1(y, z, \eta, \zeta)$ ,  $c_2(y, z, \eta, \zeta)$  и с их помощью выпишем функции  $G(y, z, \eta, \zeta)$ ,  $\frac{\partial G(y, z, \eta, \zeta)}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial G(y, z, \eta, \zeta)}{\partial z}$

$$b_1(y, z, \eta, \zeta) = \begin{cases} \left\{ \cosh [a_1(y; \eta)] \sin [a_3(\zeta)] - \sin [a_2(z)] \right\}^2 + \\ \left\{ \sinh [a_1(y; \eta)] \cos [a_3(\zeta)] \right\}^2, & 0 < z < \zeta, \\ \left\{ \cosh [a_1(y; \eta)] \sin [a_2(z)] - \sin [a_3(\zeta)] \right\}^2 + \\ \left\{ \sinh [a_1(y; \eta)] \cos [a_2(z)] \right\}^2, & \zeta < z < H, \end{cases} \quad (9)$$

$$b_2(y, z, \eta, \zeta) = \begin{cases} \left\{ \cosh [a_1(y; \eta)] \sin [a_3(\zeta)] + \sin [a_2(z)] \right\}^2 + \\ \left\{ \sinh [a_1(y; \eta)] \cos [a_3(\zeta)] \right\}^2, & 0 < z < \zeta, \\ \left\{ \cosh [a_1(y; \eta)] \sin [a_2(z)] + \sin [a_3(\zeta)] \right\}^2 + \\ \left\{ \sinh [a_1(y; \eta)] \cos [a_2(z)] \right\}^2, & \zeta < z < H, \end{cases}$$

$$G(y, z, \eta, \zeta) = -\frac{1}{4\pi} \left\{ \ln [b_1(y, z, \eta, \zeta)] - \ln [b_2(y, z, \eta, \zeta)] \right\}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial G(y, z, \eta, \zeta)}{\partial y} = -\frac{\sinh [a_1(y; \eta)]}{4H} \left( \frac{c_1(y, z, \eta, \zeta)}{b_1(y, z, \eta, \zeta)} - \frac{c_2(y, z, \eta, \zeta)}{b_2(y, z, \eta, \zeta)} \right), \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} c_1(y, z, \eta, \zeta) &= \cosh [a_1(y; \eta)] - \sin [a_2(z)] \sin [a_3(\zeta)], \\ c_2(y, z, \eta, \zeta) &= \cosh [a_1(y; \eta)] + \sin [a_2(z)] \sin [a_3(\zeta)], \end{aligned} \quad (12)$$

**ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ  
ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ**

$$\frac{\partial G(y, z, \eta, \zeta)}{\partial z} = \frac{\cos[a_2(z)]}{4H} \left( \frac{c_1(y, z, \eta, \zeta)}{b_1(y, z, \eta, \zeta)} + \frac{c_2(y, z, \eta, \zeta)}{b_2(y, z, \eta, \zeta)} \right), \quad (13)$$

где

$$\begin{aligned} c_1(y, z, \eta, \zeta) &= \cosh[a_1(y; \eta)] \sin[a_3(\zeta)] - \sin[a_2(z)], \\ c_2(y, z, \eta, \zeta) &= \cosh[a_1(y; \eta)] \sin[a_3(\zeta)] + \sin[a_2(z)]. \end{aligned} \quad (14)$$

Для решения интегрального уравнения (6) в соответствии с процедурой метода граничных интегральных уравнений разобьем шпангоутный контур  $L$  на  $n$  отрезков  $l_i (i=1, 2, \dots, n)$ . Пусть  $P_i$  середина  $i$ -го отрезка  $Q_i Q_{i+1}$ . Значения потенциала  $\tilde{\varphi}(P_i)$  и его нормальной производной  $\frac{\partial \tilde{\varphi}(P_i)}{\partial N}$  в середине каждого  $i$ -го отрезка считаем величинами постоянными на всем отрезке. В этом случае интегральное уравнение (6) можно привести к системе  $n$  линейных алгебраических уравнений относительно значений потенциала  $\tilde{\varphi}_i$  в средних точках  $P_i$  отрезков  $l_i$

$$\tilde{\varphi}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{\varphi}_j \int_{l_j} \frac{\partial G(M, P_i)}{\partial N} dl - \sum_{j=1}^n \frac{\partial \tilde{\varphi}_j}{\partial N} \int_{l_j} G(M, P_i) dl. \quad (15)$$

Пусть  $A = \|a_{ij}\|, B = \|b_{ij}\|$  - матрицы коэффициентов и свободных членов системы (15). Перепишем эту систему в виде

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \tilde{\varphi}_j = \sum_{j=1}^n b_{ij} \frac{\partial \tilde{\varphi}_j}{\partial N}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

$$a_{ii} = -1 + \int_{Q_j Q_{j+1}} \frac{\partial G(M, P_i)}{\partial N} dl, \quad a_{ij} = \int_{Q_j Q_{j+1}} \frac{\partial G(M, P_i)}{\partial N} dl, \quad i \neq j. \quad (17)$$

$$b_{ij} = \int_{Q_j Q_{j+1}} G(M, P_i) dl. \quad (18)$$

Для подсчета интегралов, фигурирующих в (17) и (18), можно применить любой из численных методов интегрирования.

При этом следует иметь ввиду, что у диагональных элементов  $b_{ii}$  подынтегральная функция  $G(\eta, \zeta, y, z)$  имеет особенность в середине отрезка  $Q_i Q_{i+1}$ . С целью повышения точности интегрирования на этом отрезке особенность следует выделить, представив подынтегральную функцию в виде

$$G(\eta, \zeta, y_i, z_i) = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{r_1}{r} + \left( G(\eta, \zeta, y_i, z_i) - \frac{1}{2\pi} \ln \frac{r_1}{r} \right), \quad (19)$$

где  $r = \sqrt{(\eta - y_i)^2 + (\zeta - z_i)^2}$ ,  $r_1 = \sqrt{(\eta - y_i)^2 + (\zeta + z_i)^2}$ .

**ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ  
ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ**

Первое слагаемое в (19) имеет первообразную. Поэтому для определения диагональных элементов  $b_{ii}$  используется эквивалентное выражение

$$\begin{aligned}
 b_{ii} = & \frac{l_i(\ln l_i + 1)}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \left\{ -2l_i + 2z_i \cos(n_i, z) \operatorname{arctg} \frac{4z_i l_i \cos(n_i, z)}{4z_i^2 - l_i^2} \right\} + \\
 & + (l_i + 2z_i \cos(n_i, y)) \ln \sqrt{l_i^2 + 4z_i l_i \cos(n_i, y) + 4z_i^2} + \\
 & + (l_i - 2z_i \cos(n_i, y)) \ln \sqrt{l_i^2 - 4z_i l_i \cos(n_i, y) + 4z_i^2} + \\
 & + \int_{Q_i Q_{i+1}} \left( G(\eta, \zeta, y_i, z_i) - \frac{1}{2\pi} \ln \frac{r_1}{r} \right) dl.
 \end{aligned} \tag{20}$$

Координаты точки  $P_i(y_i, z_i)$  середины отрезка  $Q_i Q_{i+1}$  и его длина  $l_i$  вычисляются так:

$$y_i = \frac{(y_i^* + y_{i+1}^*)}{2}; \quad z_i = \frac{(z_i^* + z_{i+1}^*)}{2}; \quad l_i = \sqrt{(y_{i+1}^* - y_i^*)^2 + (z_{i+1}^* - z_i^*)^2}, \tag{21}$$

где  $(y_i^*, z_i^*)$ ,  $(y_{i+1}^*, z_{i+1}^*)$  - координаты концов отрезка  $Q_i Q_{i+1}$ . Направляющие косинусы нормали к  $Q_i Q_{i+1}$  определяются соотношениями

$$\cos(N_j^{\wedge}, y) = \frac{(z_{i+1}^* - z_i^*)}{l_i} \frac{(y_i^* + y_{i+1}^*)}{2}; \quad \cos(N_j^{\wedge}, z) = \frac{(y_{i+1}^* - y_i^*)}{l_i}. \tag{22}$$

Вычисление интеграла в правой части (20) можно выполнить с помощью квадратурных формул.

Недиагональные элементы  $a_{ij}$  определяются следующими соотношениями:

$$a_{ij} = \int_{Q_j Q_{j+1}} \frac{\partial G(\eta, \zeta, y_i, z_i)}{\partial y} \cos(n_j, y) + \frac{\partial G(\eta, \zeta, y_i, z_i)}{\partial z} \cos(n_j, z) dl. \tag{23}$$

Для вычисления интегралов можно применить любые квадратурные формулы.

### ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ

Диагональные элементы  $a_{ii}$  имеют вид

$$a_{ii} = -1 + \int_{\varrho_j \varrho_{j+1}} \frac{\partial G(\eta, \zeta, y_i, z_i)}{\partial y} \cos(n_i, y) + \frac{\partial G(\eta, \zeta, y_i, z_i)}{\partial z} \cos(n_i, z) dl. \quad (24)$$

Подынтегральная функция в (24) имеет особенность в точке  $P_i(y_i, z_i)$ , более сильную (типа простого полюса), чем в выражениях  $b_{ii}$ , поэтому выделение особенности не упрощает процедуру интегрирования. Однако если используются квадратурные формулы с четным числом узлов, тогда особая точка не совпадает ни с одним из них и особенность можно не выделять.

Завершив определение коэффициентов  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ , легко решить систему линейных алгебраических уравнений (16), определить значение потенциала  $\tilde{\varphi}_j$  на шпангоутном контуре  $L$  и вычислить, интегрируя полученные результаты в соответствии с (5), искомое значение присоединенной массы при вертикальных колебаниях контура  $L$  с большой частотой. Аналогичное решение задачи определения присоединенной массы при поперечно-горизонтальных колебаниях контура  $L$  получается, если краевое условие системы (4) на контуре  $L$  принять в виде

$$\frac{\partial}{\partial N} \tilde{\varphi}(y, z) = \cos(\hat{N}, y); \quad (y, z) \in L. \quad (25)$$

В заключение приведем некоторые результаты настоящей разработки, которые практически применялись при решении прикладных задач мореходности. Рассмотрен класс шпангоутов, описываемых формулой

Льюиса [10], для которого отношение  $\frac{B}{2T}$  изменяется от 0,4 до 1,4, а коэффициент полноты  $\beta$  от 0,5 до 1,0. На графиках рис. 2 приведены зависимости  $\bar{\lambda}_{33}^\infty = \frac{\lambda_{33}^\infty}{\rho \beta B T}$  от относительной глубины  $\frac{H}{T}$  для разных  $\beta$  и  $\frac{B}{2T}$ .

С целью сопоставления даны результаты расчетов Кана [5] для круга и контура Льюиса, близкого к прямоугольнику.

С помощью графиков рис.2 вычислены присоединенная масса  $\lambda_{33}$  и момент инерции присоединенной массы вокруг поперечной оси  $\lambda_{55}$  корпусов серии 60 с тремя значениями коэффициента общей полноты  $\delta = 0.6, \frac{L}{B} = 7.5, \frac{B}{T} = 2.5$ ;  $\delta = 0.7, \frac{L}{B} = 7.0, \frac{B}{T} = 2.5$ ;  $\delta = 0.8, \frac{L}{B} = 6.5, \frac{B}{T} = 2.5$

для мелководного фарватера различной глубины  $\frac{H}{T}$ .

### ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ

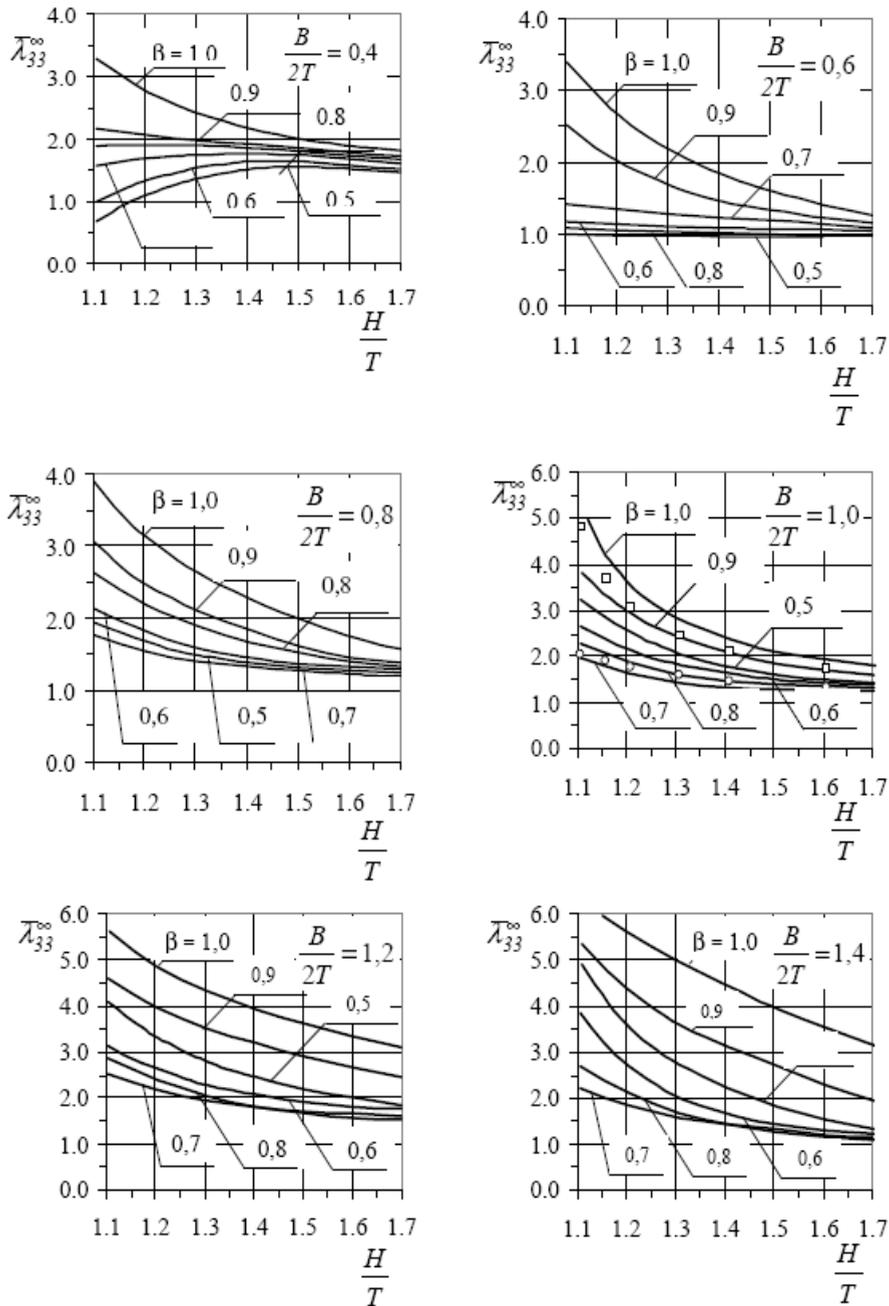


Рис. 2. Присоединенные массы шпангоутных контуров при высокочастотных вертикальных колебаниях на мелководье  
 ○ – круг ( $\beta = 0,785$ ); □ – форма Льюиса ( $B/2T = 1,0; \beta = 1,0$ )

### ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ

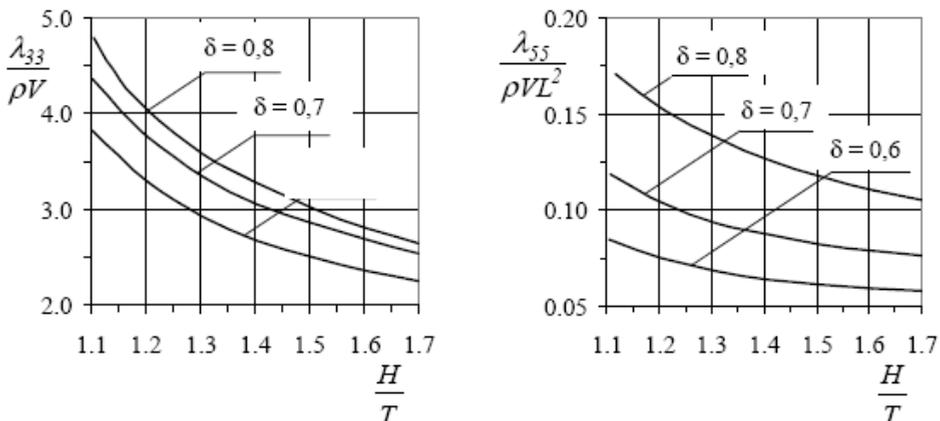


Рис. 3. Коэффициенты присоединенной массы и присоединенного момента инерции судов серии 60 при высокочастотных продольных колебаниях на мелководье

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ogilvie T.F. Recent progress toward the understanding and prediction of ship motions. – Proc. Symp. Nav. Hydrodyn., 5-th ACR-112, off. Nav. Res. – Washington, 1964. – P.3-80.
2. Kotic J., Mangulis V. On the Kramers-Kronig relations for ship motions. – International Shipbuilding progress, 1962. – Vol.9. – 1997. – P. 361-368.
3. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. Т.5. Статистическая физика. – М.: Наука, 1964. – 567 с.
4. Авраменко П.Г. Присоединенная масса эллиптического цилиндра у границы. – К.: Наукова думка, 1964. – С.14-26.
5. Kan M. The added mass coefficient of a cylinder oscillating in shallow water in the limit  $k \rightarrow 0$  and  $k \rightarrow \infty$ . – Papers of Ship Research Institute, May 1977. – № 52. – P. 1-21.
6. Bai Kwang June. The added mass of two dimensional cylinders heaving in water of finite depth// Journal of Fluid Mechanics. – 1977. – Vol.81. – Part 1. – P. 85-105.
7. Rhodes-Robinson P.F. On the short wave asymptotic motion due to the cylinder heaving on water of finite depth. – Proceeding of the Cambridge Philosophical Society. – 1970. – Vol.67. – P. 423-468.
8. Fujino M., Sugita M. On the added mass of the two dimensional rectangular cylinder vibrating in parallel to the free surface and in a perpendicular direction in restricted waters// Journal of the

**ОБОБЩЕННЫЕ ПРИСОЕДИНЕННЫЕ МАССЫ  
ПРИ БЕСКОНЕЧНОЙ ЧАСТОТЕ КОЛЕБАНИЙ**

---

*Society of Naval Architects of Japan. – 1974. – Vol.136. – P. 129-139.*

9. Воробьев Ю.Л. Присоединенная масса шпангоутного контура при высокочастотных вертикальных колебаниях на мелководье. Прикладные задачи гидромеханики: Сб. научн. тр./ Институт Гидромеханики АН УССР. – К.: Наукова думка, 1981. – С. 26-35.
10. Lewis F.M. *The inertia of the water surrounding a vibrating ship// Transactions SNAME. – 1929. – № 37. – P. 1-20.*

Надійшла 15.04.09

**КОЭФФИЦИЕНТ БЛОКИРОВКИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ЗАДАЧАХ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКИ И РЫСКАНИЯ СУДНА  
НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ**

*Приведен способ практического расчета коэффициента блокировки шпангоутного контура для двух диапазонов изменения отношения глубины фарватера  $H$  к осадке  $T$ . В основу способа положено решение М.И. Седова о поперечном обтекании потоком бесконечной решетки профилей.*

*Наведено спосіб практичного розрахунку коефіцієнта блокування шпангоутного контуру для двох діапазонів відношення глибини фарватеру  $H$  до осадки  $T$ . За основу прийняте рішення Л.І. Седова про поперечне обтікання потоком рідини нескінченної решітки профілів.*

*The method of block coefficient calculations for a frame contour oscillating in shallow water conditions is described. The Sedov solution of a potential boundary value problem for an unbounded vertical net of profiles is used.*

*Ключевые слова: решетка профилей, поперечное обтекание, мелководье, присоединенная масса, коэффициент блокировки.*

В решениях целого класса гидродинамических задач о поперечной качке и рыскании судна на значительном мелководье, когда глубина фарватера  $H$  едва превышает осадку судна  $T$ ,  $\frac{H}{T} = 1 + O(\varepsilon)$ ,  $\varepsilon \ll 1$ , существенную роль играет некоторая функция  $C(x) - \frac{L}{2} \leq x \leq \frac{L}{2}$ , определяемая глубиной  $H$  и формой шпангоутного контура с абсциссой  $x$ .

Впервые эта функция была введена Л.И. Седовым при рассмотрении гидродинамической задачи об обтекании бесконечной решетки одинаковых профилей поперечным потоком жидкости, ориентированным перпендикулярно оси решетки. Так, на бесконечном удалении вверх и вниз по потоку, обтекающему бесконечную решетку профилей, потенциал скоростей оказывается различным, и его значения отличаются друг от друга на постоянную величину, т.е. при единичной скорости течения вдоль оси  $y$  потенциал скоростей  $\varphi(y, z)$  допускает асимптотику

$$\lim_{y \rightarrow \pm\infty} \varphi(y, z) = y \pm C. \quad (1)$$

Величина  $C$  называется коэффициентом блокировки. Здесь уместно заметить: часто упоминаемое соображение о том, что при изучении движения жидкости потенциал скоростей достаточно определять с точностью до постоянной, в данном случае оказывается неверным. Постоянная неважна, если по известному значению потенциала отыскиваются скорости и давления в жидкости. Если же потенциал скоростей используется

**КОЭФФИЦИЕНТ БЛОКИРОВКИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ЗАДАЧАХ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКИ И РЫСКАНИЯ СУДНА  
НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ**

непосредственно, в ряде случаев константа не может выбираться произвольно, а является важным элементом решения гидродинамической задачи. Л.И. Седов показал, что задача об обтекании бесконечной решетки потоком жидкости, перпендикулярным ее оси, имеет единственное решение, которое также определяет константу  $C$ .

Переход от задачи поперечного обтекания шпангоутного контура на мелководье к задаче об обтекании бесконечной решетки профилей осуществляется, если на свободной поверхности жидкости использовать граничное условие типа условия непротекания через твердую стенку.

Если шпангоутный контур близок к кругу, а его осадка не сильно превышает половину глубины  $H$  водоема, то хорошие результаты дает решение Г. Лэмба

$$C = \frac{\Omega}{H}, \quad (2)$$

где  $\Omega$  – площадь шпангоута по действующую ватерлинию.

В общем случае для определения константы  $C$  удобно пользоваться ее связью с присоединенной массой шпангоута  $\lambda_{yy}$  при поперечном обтекании. Эта связь установлена Л.И. Седовым в виде

$$\lambda_{yy} = -\rho\Omega + 2\rho HC, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости.

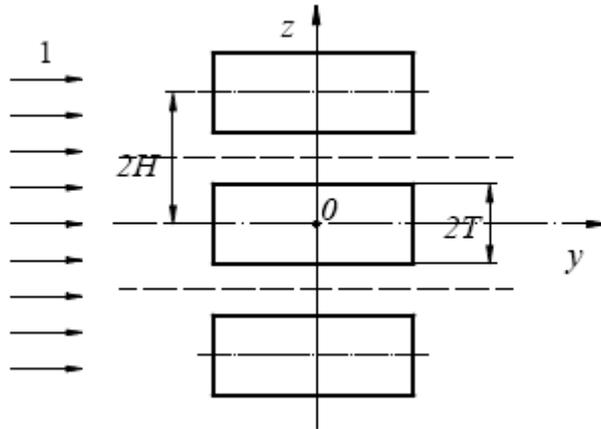
Анализ показал, что величина  $C$  в основном определяется значениями отношения  $\frac{H}{T}$  и площади шпангоута  $\Omega$  и слабо зависит от величины отношения  $\frac{B}{T}$  и формы шпангоутного контура. Поэтому можно воспользоваться решением М.И. Гуревича об обтекании бесконечной решетки прямоугольных профилей. Рассмотрим прямоугольный контур, плавающий на мелководье. На контур в поперечном направлении набегает поток несжимаемой идеальной жидкости с единичной скоростью (рис.1). Определим присоединенную массу  $\lambda_{yy}$  этого контура. Предполагая возмущенное движение жидкости безвихревым, выпишем краевую задачу для потенциала  $\Phi(y, z)$  возмущенных скоростей жидкости

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \Phi(y, z) = 0; \quad (y, z \in E), \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \Phi(y, 0) = 0; \quad |y| > \frac{B}{2}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial N} \Phi(y, z) = 0; \quad (y, z) \in L^-, \quad (6)$$

**КОЭФФИЦИЕНТ БЛОКИРОВКИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ЗАДАЧАХ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКИ И РЫСКАНИЯ СУДНА  
НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ**



*Рис. 1. Решетка профилей*

$$\frac{\partial}{\partial z} \Phi(y, -H) = 0; \quad (-\infty < y < \infty), \quad (7)$$

$$\lim_{y \rightarrow \pm\infty} \frac{\partial}{\partial y} \Phi(y, z) = 1; \quad \lim_{y \rightarrow \pm\infty} \frac{\partial}{\partial z} \Phi(y, z) = 0. \quad (8)$$

Область  $E$  определения потенциала  $\Phi(y, z)$  представляет собой полосу  $-H \leq z \leq 0$  с вырезом в виде прямоугольного контура  $L^-$ ;  $N$  — внешняя нормаль к этому контуру. Граничное условие (5) на свободной поверхности соответствует предположению о малой относительной скорости движения контура (условие типа твердой стенки). Учитывая условия (5) и (7), продолжим функцию  $\Phi(y, z)$  по симметрии в области  $z > 0$  и  $z < -H$ . Последовательное применение продолжений приводит к решетке контуров  $L^- \cup L^+$ , где  $L^+$  — контур, полученный зеркальным отображением  $L^-$  относительно оси  $z = 0$ . Коэффициент присоединенной массы  $\lambda_{yy}$  в направлении, перпендикулярном к оси решетки, вычисляется по формуле

$$\frac{\lambda_{yy}}{\rho} = -8bd - 4b^2 \frac{K'}{K} + \frac{4c^2}{\pi} \ln \frac{\pi p v_1'(0)}{k \sqrt{1-p^2} \sqrt{1-k^2 p^2} v_1\left(\frac{\pi a}{K}\right)}, \quad (9)$$

где  $2b, 2d$  — размеры контура;  $c$  — период решетки.

**КОЭФФИЦИЕНТ БЛОКИРОВКИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ЗАДАЧАХ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКИ И РЫСКАНИЯ СУДНА  
НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ**

Значения  $K, K', a$  вычисляются так:

$$K = \int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{1-t^2} \sqrt{1-k^2 t^2}} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\theta}{\sqrt{1-m \sin^2 \theta}}, \quad (10)$$

$$K' = \int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{1-t^2} \sqrt{1-k'^2 t^2}} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\theta}{\sqrt{1-m_1 \sin^2 \theta}}, \quad (11)$$

$$a = \int_0^p \frac{dt}{\sqrt{1-t^2} \sqrt{1-k^2 t^2}} = \int_0^{\sin \varphi} \frac{d\theta}{\sqrt{1-m \sin^2 \theta}}, \quad (12)$$

где  $p = sna = \sin \varphi$ ;  $k^2 = m = \sin^2 \alpha$ ;  $k'^2 = m_1 = \cos^2 \alpha$ . (13)

Выражения  $v_1'(0)$  и  $v_1\left(\frac{\pi a}{K}\right)$  – это соответственно производная и значение тета-функции Римана [3].

Учитывая, что  $d = T$ ,  $2b = B_n$ ,  $c = H$ , перепишем (9) в виде

$$\frac{\lambda_{yy}}{4\rho} = -\Omega - \left(\frac{B_n}{2}\right) \frac{K'}{K} + \frac{H^2}{\pi} \ln \frac{\pi p v_1'(0)}{k \sqrt{1-p^2} \sqrt{1-k^2 p^2} v_1\left(\frac{\pi a}{K}\right)}, \quad (14)$$

где  $\Omega$  – площадь контура;  $B_n$  – приведенная ширина контура, определяемая из выражения  $B_n = \frac{\Omega}{T}$ .

Учитывая высказанные выше соображения, примем, что присоединенная масса, найденная для прямоугольного контура, с достаточной степенью точности может быть принята для эквивалентного (имеющего такую же площадь и осадку) контура произвольной формы. Используя соотношения М.И. Гуревича

$$\frac{a}{K} - \frac{B_n}{H} \frac{K'}{K} = \frac{T}{H}; \quad -\frac{d}{d\alpha} \ln v_3(\alpha, q) = \frac{B}{2H}, \quad (15)$$

и соотношения

$$\alpha = \frac{\pi a}{2K}, \quad \alpha' = \frac{\pi a}{2K'}, \quad q = \exp\left(-\frac{\pi K'}{K}\right), \quad q' = \exp\left(-\frac{\pi K}{K'}\right), \quad (16)$$

определим неизвестные величины, входящие в выражение (14).

**КОЭФФИЦИЕНТ БЛОКИРОВКИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ЗАДАЧАХ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКИ И РЫСКАНИЯ СУДНА  
НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ**

Из первого уравнения системы (15) получаем

$$\frac{2}{\pi}\alpha + \frac{B_n}{2H} \frac{1}{\pi} \ln q = \frac{T}{H}, \alpha = \frac{\pi T}{2H} - \frac{B_n}{4H} \ln q. \quad (17)$$

Согласно [3], логарифмическая производная тэта-функции равна

$$\frac{d}{d\alpha} \ln v_3(\alpha, q) = -\frac{v'_3(\alpha)}{v_3(\alpha)} = -4 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{q^n}{1 - q^{2n}} \sin 2n\alpha. \quad (18)$$

Используя (17) и (18), определим значение  $q$  из трансцендентного уравнения

$$\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \frac{q^n}{1 - q^{2n}} \sin \left[ n\pi \left( \frac{T}{H} - \frac{B_n}{2\pi H} \ln q \right) \right] = \frac{B}{8H}. \quad (19)$$

Заметим, что формула (14) приемлема для практических расчетов, если  $\frac{H}{T} > 1.5$ . Если же  $\frac{H}{T} < 1.5$  (значительное мелководье), формула (14) нуждается в преобразовании. Дело в том, что при больших величинах отношений  $\frac{B}{2H}$  и  $\frac{T}{H}$  модулярный угол  $\alpha$  и амплитуда  $\Phi$  (13) близки к  $\frac{\pi}{2}$ , то есть  $p \rightarrow 1$ , а, следовательно, к этому пределу стремится и значение  $k$ . Далее заметим, что  $K' \rightarrow \frac{\pi}{2}$ , а  $K \rightarrow \infty$ , причем отношение  $\frac{K'}{K}$  очень медленно стремится к нулю. Величина  $k$  настолько близка к единице, а  $K'$  к нулю, что в процессе расчетов на ЭВМ подкоренное выражение в формуле (14) обращается в ноль, в связи с чем не удастся вычислить логарифм. Учитывая, что диапазон относительных глубин  $\frac{H}{T} < 1.5$  представляет наибольший практический интерес, произведем следующее преобразование. Когда амплитуда  $\Phi$  стремится к  $\frac{\pi}{2}$  и  $\cos \alpha \operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \psi = 1$ , то [3]

$$F(\phi/\alpha) + F(\psi/\alpha) = F\left(\frac{\pi}{2}/\alpha\right) = K. \quad (20)$$

Из этого равенства определяется  $\Psi$  с помощью метода арифметико-геометрического среднего (АГС) [3]. Тогда

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{1}{\operatorname{tg} \Psi \cos \alpha}. \quad (21)$$

**КОЭФФИЦИЕНТ БЛОКИРОВКИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ЗАДАЧАХ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКИ И РЫСКАНИЯ СУДНА  
НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ**

Используя (13) и то, что  $p' = \sqrt{1 - p^2}$ , получаем

$$\frac{\sqrt{1 - p^2}}{p} = \cos \alpha t g \psi, \quad (22)$$

или, окончательно при  $p \rightarrow 1$

$$\sqrt{1 - p^2} = \cos \alpha t g \psi. \quad (23)$$

Преобразуем выражение  $\sqrt{1 - k^2 p^2}$ , используя соотношения  $k^2 = 1$  и (23). Получаем

$$\sqrt{1 - k^2 p^2} = \sqrt{(k'^2 + k^2) - k^2 p^2} = \frac{k'}{\cos \psi}. \quad (24)$$

Тогда в (14) логарифмическая функция примет вид

$$\ln \frac{\pi p v_1'(0)}{k \sqrt{1 - p^2} \sqrt{1 - k^2 p^2} v_1\left(\frac{\pi a}{K}\right)} \approx \ln \frac{\pi p v_1'(0) \cos^2 \psi}{K m_1 \sin \psi v_1\left(\frac{\pi a}{K}\right)}. \quad (25)$$

Значение  $m_1$  легко отыскать, используя следующий предел:

$$\lim_{m \rightarrow 1} \left[ k - \frac{1}{2} \ln \left( \frac{16}{m_1} \right) \right] = 0. \quad (26)$$

Из (25) следует

$$m_1 = \frac{16}{\exp(2k)}. \quad (27)$$

При больших значениях  $k$  ( $k > 86$ ) выражение для логарифма приобретает несколько другой вид

$$m_1' = 16 \exp(-0.5k). \quad (28)$$

$$\ln \frac{\pi v_1'(0) \cos^2 \psi}{K m_1 \sin \psi v_1\left(\frac{\pi a}{K}\right)} = 1.5K + \ln \frac{\pi v_1'(0) \cos^2 \psi}{K m_1' \sin \psi v_1\left(\frac{\pi a}{K}\right)}, \quad (29)$$

причем первое слагаемое представляет собой главную часть выражения.

**КОЭФФИЦИЕНТ БЛОКИРОВКИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ЗАДАЧАХ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКИ И РЫСКАНИЯ СУДНА  
НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ**

Итак, окончательно формулу (14) при больших значениях  $\frac{B}{2H}$  и

$\frac{T}{H}$  можно представить в виде

$$\lambda_{yy} = -\Omega - \left(\frac{B_n}{2}\right)^2 \frac{K'}{K} + \frac{H^2}{\pi} \left[ 1.5K + \ln \frac{\pi v_1'(0) \cos^2 \psi}{K m_1' \sin \psi v_1 \left(\frac{\pi a}{K}\right)} \right]. \quad (30)$$

Коэффициент блокировки  $C(x)$  связан с присоединенной массой  $\lambda_{yy}$  дублированного контура при его поперечном движении соотношением

$$C(x) = \frac{\lambda_{yy}(x) + 2\rho\Omega(x)}{4\rho H}. \quad (31)$$

Результаты расчетов по формулам (30) и (31) представлены на рис. 2 и рис. 3. На последнем рисунке специально выделена часть предыдущего графика, относящаяся к очень малым зазорам между днищем шпангоута и дном фарватера.

Данные, приведенные М.И. Гуревичем, полностью совпадают с соответствующими результатами, показанными на рис.2. Следует отметить, что результаты расчетов, показанные на рис. 3, публикуются впервые.

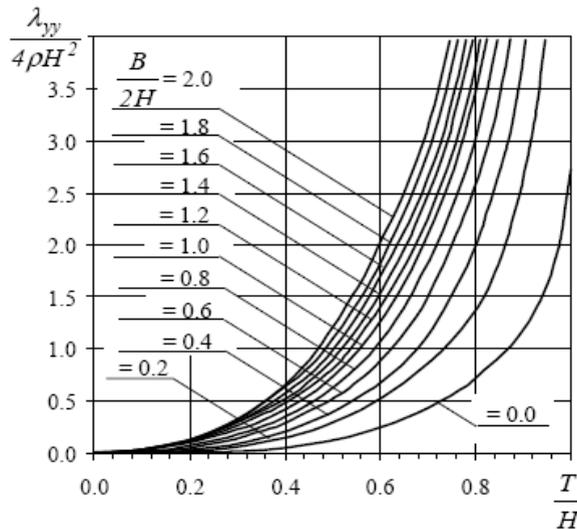
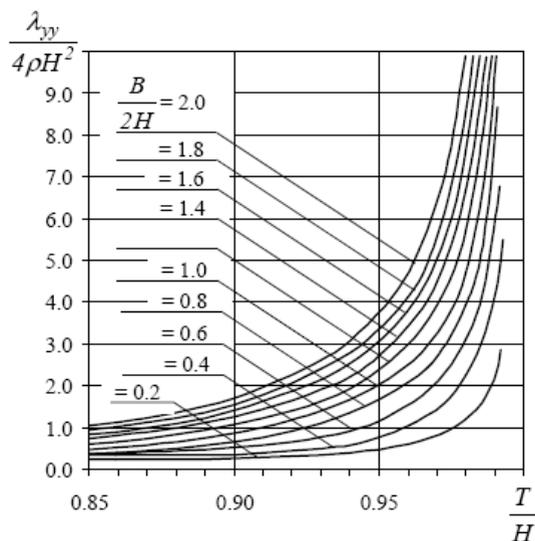


Рис. 2. Присоединенная масса прямоугольного контура при поперечных колебаниях

**КОЭФФИЦИЕНТ БЛОКИРОВКИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ЗАДАЧАХ ПОПЕРЕЧНОЙ КАЧКИ И РЫСКАНИЯ СУДНА  
НА ЗНАЧИТЕЛЬНОМ МЕЛКОВОДЬЕ**



*Рис. 3. Присоединенная масса прямоугольного контура при поперечных колебаниях*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. – М.: Наука, 1966. – 448 с.
2. Гуревич М.И. Присоединенная масса решетки, состоящей из прямоугольников// ПММ. – Т.4. – Вып.2. – 1940. – С. 93-100.
3. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и таблицами. – М.: Наука. – 832 с.

Надійшла 05.05.09

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ВИНТО-РУЛЕВОЙ КОЛОНКИ**

---

*Описана экспериментальная установка для исследования гидродинамики модели винто-рулевой колонки, спроектированная в опытовом бассейне ОНМУ. Выделены основные этапы экспериментального исследования актуального типа движителя в судостроении.*

*Описано експериментальну установку для дослідження гідродинаміки моделі гвинто-кермової колонки, спроектованої у дослідному басейні ОНМУ. Виділено основні етапи експериментального дослідження актуального типу рушія в суднобудуванні.*

*The Description of the experimental installation for study of hydrodynamics to models of the screw steering column, designed in experimental pool ONMU. Chosen main stages of the experimental study of the actual type thruster in shipbuilding.*

**Ключевые слова:** экспериментальная установка, опытовый бассейн ОНМУ, винто-рулевая колонка.

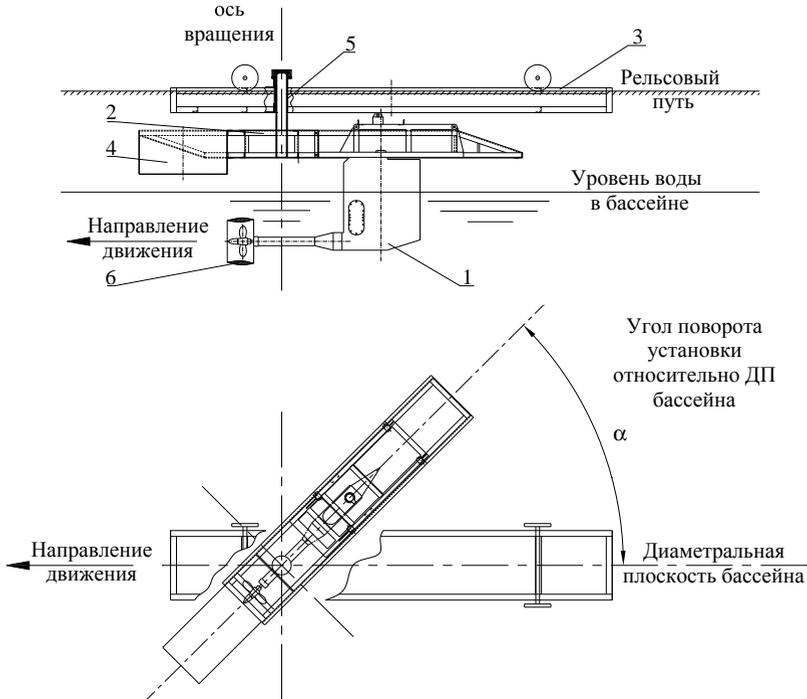
В настоящее время в качестве элемента пропульсивного комплекса судов стали получать широкое распространение винто-рулевые колонки (ВРК) [1]. Применение их на таких судах как грузовые суда типа «река-море», буксиры и др. показали улучшение управляемости и маневренности по сравнению с аналогичными судами, оснащенными другими типами движителей. Расположение ВРК создает удобства монтажа двигателей и рулевого органа: колонки обеспечивают поворот винта в горизонтальной плоскости от 0° до 360°. Поворотные винтовые колонки в процессе работы позволяют изменить величину и направление упора гребного винта (ГВ) одновременно, что сказывается на улучшении мореходных качеств судна.

В процессе поворота колонки резко меняются условия обтекания винта, что приводит к изменению его гидродинамических характеристик. В случае работы винта в косом потоке такое изменение касается не только величин упора, момента и КПД винта, но и устойчивости его работы, поскольку при некоторых значениях углов атаки лопастей ГВ, изменяемых при повороте колонки, может произойти срыв потока. Это приводит к резкому скачку гидродинамических характеристик ГВ, его разгону и возможному возникновению необратимых кавитационных процессов.

Такой режим работы ГВ является очень опасным и может привести к серьезным аварийным ситуациям в особенности при маневрировании судна в стесненной акватории.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ВИНТО-РУЛЕВОЙ КОЛОНКИ**

Для исследования работы поворотной ВРК в опытовом бассейне ОНМУ [2] создана оригинальная экспериментальная установка.



*Рис. Экспериментальная установка для изучения модели ВРК*

Конструкция экспериментальной установки представляет собой стенд для испытания модели ВРК (1), поворотную платформу (2) и буксировочную тележку (3).

В корпусе стенда для испытания модели ВРК размещены привод вращения ГВ, состоящий из электродвигателя переменного тока, соединенного кабелем с аппаратурой управления частотой вращения («Altivar 28»); валопровод, совмещенный с редуктором; дейдвудное устройство, включающее гребной вал с моделью ВРК; датчик числа оборотов ГВ; датчики величины упора и вращающего момента ГВ.

Поворотная платформа предназначена для изменения угла поворота стенда модели ВРК, который закреплен на платформе. Конструкция платформы обусловлена необходимостью расположения вертикальной оси ГВ максимально близко к диаметральной плоскости опытового бассейна для исключения из эксперимента влияния его стенок и возможностью задания любого угла поворота. Для удобства монтажа и эксплуатации установки цапга (5)

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ВИНТО-РУЛЕВОЙ КОЛОНКИ**

---

смещена к переднему краю буксировочной тележки. Противовес (4), закрепленный на противоположной стороне платформы, используется для исключения асимметрии суммарных сил и моментов.

Платформа соединена кангой с буксировочной тележкой, имеющей возможность перемещаться вдоль бассейна по рельсовому пути при помощи буксировочной системы. Механизм буксировочной системы снабжен датчиком линейной скорости и связан с тележкой, на которой устанавливается усилительная аппаратура измерительной системы.

Описанная установка позволяет измерять гидродинамические характеристики ВРК как на стоянке, так и на ходу модели. Стенд модели винто-рулевой колонки конструктивно предоставляет возможность изучать испытание моделей винтов в свободной воде и в насадке. Для этого предусмотрена модель съемной насадки (6) гребного винта.

Регистрируемые параметры – момент, упор – измеряются с помощью тензометрической станции и вместе со значениями частоты вращения ГВ передаются на ПК, где собирается, хранится и обрабатывается информация по заданной программе. Скорость поступательного перемещения винта, равная скорости движения тележки, определяется по стандартной методике опытового бассейна[2].

Основными направлениями экспериментального исследования являются:

тарировка и настройка экспериментальной установки;  
определение гидродинамических характеристик моделей ВРК на стоянке и с учетом движения с разными углами поворота насадки и без неё.

По результатам эксперимента происходит накопление данных для построения математической модели ВРК, анализ эксплуатации и планирование последующих модернизаций экспериментальной установки (установка дополнительных датчиков; внесение изменений в конструкцию экспериментальной установки).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов С.В., Храмкин М.Ф. *Водометные движители*. – Л.: Судостроение, 1980. – 311 с.
2. Воробьев Ю.Л., Кирилов В.Н., Коханов Э.В. *Методика экспериментальных исследований в опытовом бассейне ОИИМФ*// В кн.: *Экспериментальная гидромеханика судна*. – Вып.272: *Материалы по обмену опытом*. – Л.: Судостроение, 1978. – С.29-34.

*Надійшла 09.09.09*

## ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА

*Для случаев, когда темп диспергирования равен темпу релаксационного выравнивания скоростей капли и обтекающего потока, аналитически найдены функция распределения сорванных капелек по размерам, характерное значение модального радиуса и полное количество капелек.*

*Для випадків, коли темп диспергування дорівнює темпу релаксаційного вирівнювання швидкостей краплі та обтічного потоку, аналітично знайдені функція розподілення зірваних крапельок за розмірами, характерне значення модального радіуса та загальна кількість крапельок.*

*For the cases when rate of dispersing process is equal to rate of relaxation decay of relative velocity of drop and streamlining flow, the function of distribution of stripped droplets, value of modal radius and total amount of droplets are found analytically.*

**Ключевые слова:** диспергирование капли, градиентная неустойчивость, вторичные капельки, функция распределения по размерам.

Явление разрушения капли газовым потоком представляет интерес для исследований как с точки зрения своего теоретического описания, так и в связи с его важной прикладной ролью при определении условий взрывобезопасности гетерогенных систем в технологических процессах химической и нефтеперерабатывающей промышленности [1], в исследованиях по неустойчивости горения в ЖРД [2, 3], при разработке различных конструкций форсунок для них и камер внутреннего сгорания, в решении проблем разрушения поверхности летательных аппаратов при прохождении ими облаков и туманов [4] и др. В скоростных потоках дробление происходит интенсивно, поэтому образование большого количества мельчайших вторичных капелек значительно ускоряет процессы теплообмена и оказывает сильное влияние на изменение термомеханического состояния системы. Предлагавшиеся гипотезы о механизме диспергирования [1, 4, 5] не привели в итоге к подробному количественному описанию кинетики дробления с определением закона изменения массы капли во времени  $M(\tau)$ , размеров сорванных капелек  $r$ , и распределения их количества по размерам, необходимых при математическом моделировании испарения и горения [2].

Разработанная в [6, 7] модель диспергирования, основанная на механизме “градиентной неустойчивости” [8], дала возможность рассчитать течение двухфазной реагирующей смеси в зоне детонационной волны и решить основную задачу теории детонации аэрозолей в замкнутом виде [9]. Последовательный анализ условий действия механизма градиентной неустойчивости позволил в [10] упростить рассмотрение и привёл к возможности аналитического исследования. Там же получены уравнения ки-

## ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА

нетики диспергирования, а при некоторых упрощающих допущениях – закон изменения массы дробящейся капли  $M(\tau)$ , условия и время её полного разрушения  $\tau_b$ . В настоящей работе для случая равенства темпов диспергирования и релаксационного выравнивания скоростей капли и газового потока аналитически найдена функция распределения сорванных капелек по размерам, представляющая значительный интерес в прикладных задачах. Настоящие результаты основаны на работе [10] и являются её продолжением.

Запишем уравнение для количества  $\Delta n$  капелек радиуса  $r$ , сорванных с произвольной площадки  $\Delta\varphi$  на поверхности родительской капли за промежутки времени  $\Delta\tau$  [10]

$$\Delta n(\varphi, \tau) = \dot{n}'(\varphi, \tau) \Delta\varphi \Delta\tau = B_2 \sqrt{\tilde{R}(\tau)(1-\tilde{W}(\tau))}^5 \frac{\sin^2 \varphi}{\Psi^3(\varphi)} \Delta\varphi \Delta\tau, \quad (1)$$

$$\tilde{r}(\varphi, \tau) \equiv \frac{r(\varphi, \tau)}{R_0} = B_1 T(\tau) \Psi(\varphi), \quad T(\tau) = \sqrt{\tilde{R}(\tau)/(1-\tilde{W}(\tau))}, \quad (2)$$

где 
$$B_1 = \frac{4.4 \cdot \pi k_r \alpha^{1-2\xi}}{\Delta_m (We_n) \sqrt{2Re_0}}; \quad B_2 = \frac{0.21 \Delta_m^2 (We_n) \operatorname{Im} z (We_n) \sqrt{2Re_0^3}}{\pi k_r k_r \alpha^{3.5(1-2\xi)} (1 + \alpha^\xi)};$$

$\varphi$  – полярный угол, под которым площадка видна из центра капли;  $\Psi(\varphi) \equiv ((6\varphi - 4\sin 2\varphi + 0.5\sin 4\varphi) / \sin^5 \varphi)^{0.5}$ ;  $R_0$  – начальный радиус капли;  $\tilde{R} = R/R_0$ ;  $\tilde{W}$  – безразмерная скорость капли, точка означает дифференцирование по  $\tau$ , а штрих – по  $\varphi$ . Для условий интенсивного диспергирования, при значениях критерия градиентной неустойчивости  $GN > 2-3$ , величина  $\varphi_{10} = \varphi_1(0)$  невелика, и практически на всей поверхности капли за исключением малой окрестности левой границы области диспергирования  $\varphi_1(\tau)$  можно считать, что волновое число и инкремент нарастания амплитуды доминантного неустойчивого возмущения постоянны:  $\Delta_m = 1.225$ ,  $\operatorname{Im}(z) = 0.25$  [10]. При этом предположении  $B_1, B_2 = const$ , а функции  $\dot{n}'(\varphi, \tau)$  и  $\tilde{r}(\varphi, \tau)$  имеют вид, показанный на рис. 1, 2. Монотонность функции  $\tilde{r}(\varphi, 0)$  означает, что размеры большей части сорванных капелек определены базовым диапазоном  $\tilde{r}_l < \tilde{r} < \tilde{r}_r$ , границы которого отвечают интервалу диспергирования на поверхности капли  $(\varphi_{10}, \pi/2)$ :  $\tilde{r}_l = \tilde{r}(\varphi_{10})$ ,  $\tilde{r}_r = \tilde{r}(\pi/2)$ , а  $\tilde{r}(\varphi_0) = B_1 \Psi(\varphi_0)$  определяется из (2) в начальный момент времени  $\tau = 0$ . Остальная часть сорванных капелек формирует дополнительный диапазон, примыкающий к базовому слева или справа, в

### ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА

зависимости от значений параметра  $h \equiv A/3H$  [10], характеризующего отношение темпов протекания ключевых для дробления процессов – диспергирования и релаксационного выравнивания скоростей капли и газового потока. Так как величины  $T$ ,  $\Psi$  имеют порядок единицы, то из (2) следует, что характерный размер капелек полностью определяется значением параметра  $B_1$ , (играющего роль характерного масштаба размеров вторичных капелек), т.е. в сильной степени значением критерия Рейнольдса  $Re_0^{-0.5}$ , и в малой – отношением плотностей  $\alpha$ , т.к. для используемых на практике маловязких жидкостей значение  $\xi$  близко к 0.5.

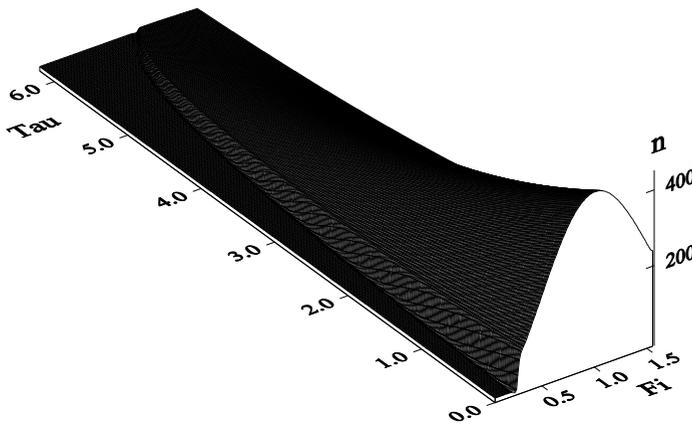


Рис. 1. Функция  $n'(\varphi, \tau)$  при  $Re_0 = 4 \cdot 10^5$ ,  $GN = 16$

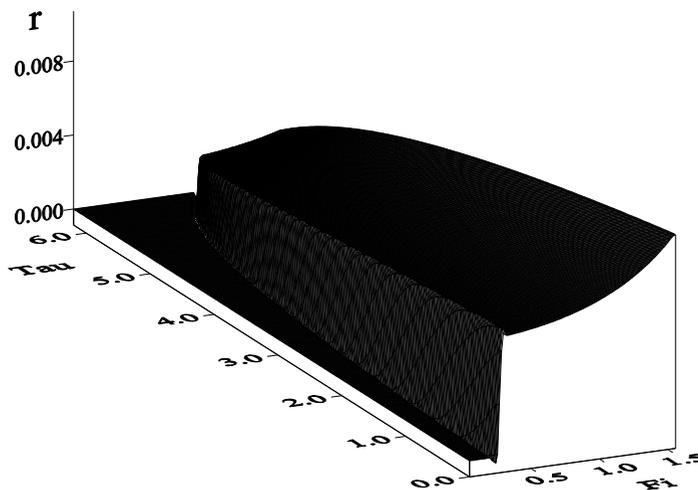


Рис. 2. Функция  $\tilde{r}(\varphi, \tau)$  при  $Re_0 = 4 \cdot 10^5$ ,  $GN = 16$

### ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА

Аналогично,  $B_2 \approx \text{Re}_0^{1.5}$  играет роль характерного масштаба количества сорванных капелек.

Интегрирование уравнения (1) по всей области диспергирования  $\varphi_1(\tau) < \varphi < \pi/2$ ,  $0 < \tau < \tau_{\text{дис}}$  на плоскости событий  $(\varphi, \tau)$  даст общее количество капелек, сорванных с родительской капли. Однако в прикладных задачах важно знать распределение сорванных капелек по размерам  $\Delta n(\tilde{r}) = f_n(\tilde{r})\Delta\tilde{r}$ . Для случая дробления капли в скоростном газовом потоке такие распределения, ни теоретические, ни эмпирические, нам неизвестны. С целью найти функцию распределения  $f_n(\tilde{r})$ , исключим  $\Psi(\varphi)$  из уравнения (1) с помощью (2)

$$\dot{n}' = B_1^3 B_2 \frac{\tilde{R}^2(\tau)(1-W(\tau))}{\tilde{r}^3} \sin^2 \varphi. \quad (3)$$

Интегрирование этого уравнения должно производиться на плоскости  $(\varphi, \tau)$  в полосе шириной  $\Delta\tilde{r}(\varphi, \tau)$ , окружающей линию  $\tilde{r}(\varphi, \tau) = \text{const}$ . Вид этих линий существенно зависит от значения параметра  $h$ : при  $h > 1$  все линии семейства имеют положительный наклон оси  $\tau$  (рис.3), а при  $h < 1$  – отрицательный.

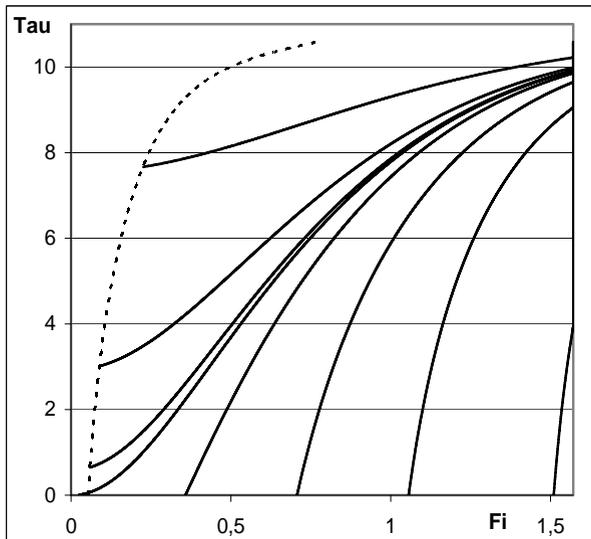


Рис. 3. Семейство линий  $\tilde{r}(\varphi, \tau) = \text{const}$  при  $h = 1.2$ ;  
пунктир – линия  $\varphi = \varphi_1(\tau)$

### ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА

Случай  $h=1$  равенства темпов диспергирования и выравнивания скоростей капли и газа характерен тем, что при аппроксимации закона ускорения капли потоком газа в виде  $W(\tau) = 1 - \exp(-H\tau)$  выполняется  $\tilde{R}(\tau) = 1 - W(\tau) = \exp(-H\tau)$  [10], тогда  $T(\tau) \equiv 1$ , поэтому зависимость от  $\tau$  в (2) исчезает, и все линии  $\tilde{r} = const$  становятся прямыми, параллельными оси  $\tau$ . В результате оказывается, что на каждой фиксированной площадке  $\Delta\varphi$  уменьшение со временем размера срываемых капелек из-за уменьшения размера родительской капли в точности компенсируется его увеличением за счёт уменьшения относительной скорости газа и капли.

Таким образом, несмотря на нестационарность процесса, размеры капелек, срываемых с фиксированной площадки, остаются неизменными, т.е. значение  $\tilde{r}$  “прикреплено” к площадке, являясь функцией только  $\varphi_0$ ,  $\tilde{r} = \tilde{r}(\varphi_0)$ , и изменяется в диапазоне  $\tilde{r}_l \leq \tilde{r} \leq \tilde{r}_r$ . Остаётся просуммировать  $\Delta n$  во времени на фиксированной площадке. Домножив (3) на  $\Delta\tau$  и на  $\Delta\varphi = \Delta\tilde{r} / B_1 \Psi'(\varphi)$ , полученное из (2) дифференцированием при  $\tau = const$ ,  $B_1 = const$ , и проинтегрировав по  $\tau$ , получим

$$\Delta n = f_n(\tilde{r}, \tau) \Delta\tilde{r} = \frac{B_1^3 B_2 \sin^2 \varphi_0}{\tilde{r}^3 B_1 \Psi'(\varphi_0)} \int_0^\tau \tilde{R}^2(\tau) (1 - W(\tau)) d\tau \Delta\tilde{r}, \quad (4)$$

где  $\varphi_0(\tilde{r})$  – функция, обратная к  $\Psi(\varphi)$  в уравнении  $\Psi(\varphi_0) = \tilde{r} / B_1$ , которая определяется при  $\tau = 0$ . При  $GN > 3$  интеграл в (4) легко вычислить, используя дифференциальное уравнение потери массы (9) работы [10]  $\int_0^\tau \tilde{R}^2(1 - W) d\tau = (1 - \exp(-A\tau)) / A$ . Вычислив производную  $\Psi'(\varphi) = (8 - 2.5\Psi^2(\varphi) \cos \varphi) / \Psi(\varphi) \sin \varphi$ , найдём распределение количества капелек, сорванных к моменту времени  $\tau$

$$\Delta n(\tilde{r}, \tau) = f_n(\tilde{r}, \tau) \Delta\tilde{r} = \frac{1 - \exp(-A\tau)}{A \tilde{r}^2} \frac{B_1^3 B_2 \sin^3 \varphi_0(\tilde{r})}{(8B_1^2 - 2.5\tilde{r}^2 \cos \varphi_0(\tilde{r}))} \Delta\tilde{r}. \quad (5)$$

Соотношение (5) даёт искомую функцию распределения  $f_n(\tilde{r}, \tau)$ . Окончательное распределение всех сорванных капелек к моменту прекращения диспергирования  $\tau_{\text{дис}}$  даётся формулой (5) при  $\tau = \tau_{\text{дис}}$ . Формула (5) применима в базовом диапазоне  $\tilde{r}_l \leq \tilde{r} \leq \tilde{r}_r$ . В случае  $h=1$  он является полным диапазоном изменения размеров срываемых части-

## ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА

чек. В общем случае  $h \neq 1$  оставшая часть капелек формирует дополнительный диапазон, примыкающий к базовому слева или справа, в зависимости от значения  $h \approx 1$ . Из (5) легко получить безразмерные функции распределения массы и поверхности сорванных капелек по размерам, важные для описания их последующего испарения, соответственно,  $f_M(\tilde{r}, \tau) = \tilde{r}^3 f_n(\tilde{r}, \tau)$  и  $f_s(\tilde{r}, \tau) = \tilde{r}^2 f_n(\tilde{r}, \tau)$ .

На рис. 4, 5 приведены распределения  $\Delta n(\tilde{r})$ ,  $\Delta M(\tilde{r})$ , вычисленные при  $h=1.04$ ,  $Re_0=1.3 \cdot 10^5$ ,  $GN=49.4$  по формуле (5) и по полной расчётной схеме, в которой производился детальный расчёт доли времени индукции развития доминантного возмущения и его длины волны на каждой площадке поверхности капли в каждый момент времени без каких-либо упрощений. Сопоставление говорит об их хорошем согласовании. Отметим, что распределение массы капелек по размерам более равномерно. Динамика наполнения распределения во времени автомодельна. Подчеркнём, что подход к описанию кинетики диспергирования, предпринятый в [11], в принципе не даёт возможности получить функцию распределения (даже если не принимать во внимание неадекватность моделирования), вследствие осреднения параметров доминантного возмущения как во времени, так и вдоль поверхности капли.

Из (5) можно найти характерный размер распределения – модальный радиус  $\tilde{r}_m$ , соответствующий  $\max_r(\Delta n)$ . Его значение при  $GN > 3$  лежит вблизи левой границы базового диапазона  $\tilde{r}_l \approx 1.8 B_1$  и равно  $\tilde{r}_m \approx 2.0 B_1$ .

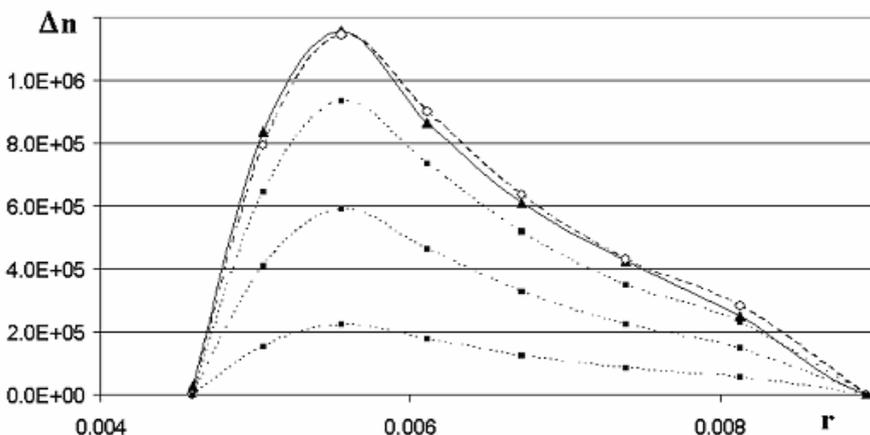
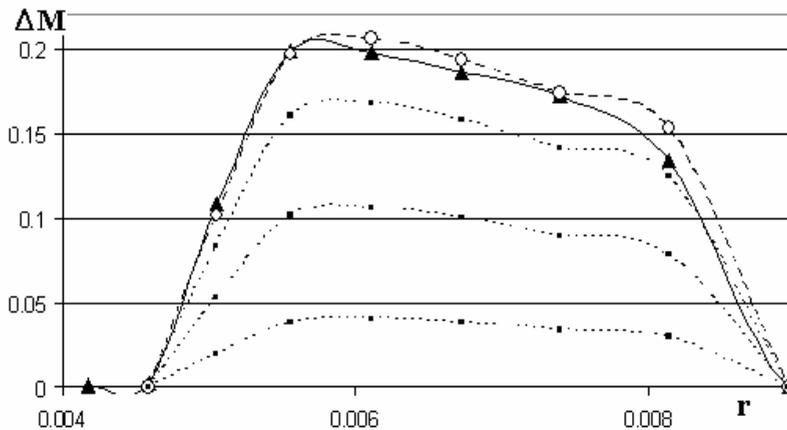


Рис. 4. Распределение  $\Delta n(\tilde{r})$ : (— $\bigcirc$ —) – расчёт по полной схеме; (— $\square$ —) – по формуле (5) для  $\tau = 0.45, 1.5, 3.5$ ; (— $\triangle$ —) – окончательное распределение при  $\tau_{\text{дис}} = 17.5$ ;  $\tilde{r}_l = 4.96 \cdot 10^{-3}$ ,  $\tilde{r}_r = 8.51 \cdot 10^{-3}$

**ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЕК  
ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА**



*Рис. 5. Распределение  $\Delta M(\tilde{r})$  массы сорванных капелек по размерам; условия и обозначения те же, что на рис.4*

Другой важной характеристикой распределения является общее количество сорванных капелек  $N \equiv \sum_{\Delta r} \Delta n$ . Для его вычисления воспользуемся тем, что зависимость  $\Psi(\varphi)$  в (1) может быть приближена на отрезке

$[0, \pi/2]$  функцией  $\left( \frac{13.59 \sin^2 \varphi}{\sin^2(1.53\varphi)} \right)^{1/3}$  с погрешностью не хуже 2%. Прове-

дя аппроксимацию, и интегрируя (1) при  $h=1$  в области  $\varphi_{10} \leq \varphi \leq \pi/2$ ,  $0 \leq \tau \leq \tau_{\text{дис}}$ , получим следующую формулу для  $N$ :

$$N = 0.047 \frac{B_2}{3H} (1 - \exp(-3H\tau_{\text{дис}})) \cdot (1.45 - 0.76\varphi_{10} + 0.25 \sin(3.05\varphi_{10})). \quad (6)$$

Вычисления по этой формуле дают значения  $N = 6.18 \cdot 10^6$  при  $h=1.0001$  и  $N = 4.27 \cdot 10^6$  при  $h=1.04$ , что отличается от значений, полученных по полной расчётной схеме на 0.19% и 0.82% соответственно.

Момент окончания диспергирования определяется из условия пересечения левой и правой границ области диспергирования  $\varphi_1(\tau_{\text{дис}}) = \pi/2$  (рис.3). Для нахождения  $\tau_{\text{дис}}$  необходимо решить уравнение (1) работы [10. Ч. II] при  $\varphi = \pi/2$ ,  $K = 0.006$ . Удобно пользоваться приближёнными формулами, которые можно получить, разлагая его решение в ряд по малым  $\lambda = 2h^{3/4}\varphi_{10}/(\varepsilon\pi)$ , либо по малым  $\varepsilon = h - 1$

$$\tau_{\text{дис}} \approx \frac{1}{H} \ln \left( \frac{h}{h-1} \left( 1 - \frac{h^3}{(h-1)^4} \left( \frac{2\varphi_{10}}{\pi} \right)^4 \right) \right) \quad \text{при } h > 1 + 2\lambda, \quad (7)$$

**ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ КАПЕЛЕК  
ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ СКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА**

$$\tau_{\text{дис}} \approx \frac{1}{H} \ln \left( h^{3/4} \frac{\pi}{2\varphi_{10}} \left( 1 - \frac{h-1}{h^{3/4}} \frac{\pi}{8\varphi_{10}} \right)^4 \right) \quad \text{при } 1 \leq h \leq 1 + 2\lambda. \quad (7a)$$

Формулы (5-7) справедливы для развитого режима диспергирования, когда  $GN > 3$ , и работают в интервале значений  $0,85 < h < 1,15$ , вне которого на границах базового диапазона сказываются отличие наклона кривых  $\tilde{r} = const$  от вертикального и влияние дополнительного диапазона. Для других значений  $h$  возможно приближенное определение функции распределения  $f_n(\tilde{r})$  по размерам и общего количества сорванных капелек  $N$ .

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Гельфанд Б.Е. Современное состояние и задачи исследований детонации в системе капли жидкости – газ/ В кн.: Хим. физ. проц. горения и взрыва. Детонация. / АН СССР, ИХФ. Черно-голова. – 1977. – С. 28-39.
2. Williams F.A. Atomization processes and ignition criteria for supersonic combustion with liquid fuel injection // *Astron. Acta*. 1970. – Vol. 15. – №. 5-6. – P. 547-557.
3. Kauffman C.W., Nicholls J.A. Shock wave ignition of liquid fuel drops // *AIAA Journ.* – 1971. – Vol. 9. – № 7. – P. 880-885.
4. Reinecke W.G., Waldman G.D. Shock layer shattering of cloud drops in reentry flight // *AIAA Paper*. – 1975. – №. 152. – 22 p.
5. Engel O.G. Fragmentation of waterdrops in the zone behind an air shock // *Jour. Res. Nat. Bureau of Stand.* – 1958. – Vol. 60. – № 3. – P. 254–280.
6. Гирин А.Г. Гидродинамическая неустойчивость и режимы дробления капель // *ИФЖ*. – 1985. – Т. 48. – № 5. – С. 771-776.
7. Гирин А.Г. Разрушение капли в высокоскоростном потоке газа // *ИФЖ*. – 1990. – Т.58. – № 3. *Анн. депон. науч. работ*. – С. 518.
8. Асланов С.К., Гирин А.Г. Об основных факторах гидродинамической неустойчивости при моделировании процесса диспергирования в двухфазной детонации // *Докл. АН УССР*. – 1981. Сер А, физ.-мат. и техн. науки. – № 12. – С. 25-28.
9. Асланов С.К., Гирин А.Г. К построению теории детонации аэрозолей // *ФГВ*. – 1988. – № 4. – С. 101-109.
10. Гирин А.Г. Уравнение потери массы капли в скоростном потоке газа // *Вісник ОНМУ*. – 2009. – Вып. 26. – Ч.1. – С. 44-51; *Вісник ОНМУ*. – 2009. – Вып. 27. – Ч. II. – С. 117-125.
11. Асланов С.К. Кинетика дробления жидких частиц в потоке газа и теория детонации аэрозоля // *Докл. Национ. Акад. наук України*. – 1997. – № 5. – С. 114-117.

Надійшла 03.08.09

**ВИРТУАЛЬНЫЕ МАШИНЫ В ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА**

---

*Рассматриваются возможности продления сроков эксплуатации компьютерной техники и использования серверных вариантов для экономии средств и снижения расходов вуза на содержание компьютерного парка, обеспечивающего учебный процесс.*

*Розглядаються можливості продовження терміну експлуатації комп'ютерної техніки і використання серверних варіантів для економії засобів і зниження витрат вузу на утримання комп'ютерного парку, що забезпечує навчальний процес.*

*We consider the possibility of extending the computer equipment operating period and the use of virtual machines for reduce the cost of maintaining the university educational computers.*

**Ключевые слова:** *вычислительный центр, программное обеспечение, операционная система, программный продукт, виртуализация, виртуальная машина, персональный компьютер, сервер, коммерческое программное обеспечение, бесплатное программное обеспечение, информационные технологии.*

Целью настоящей работы является анализ современных тенденций развития операционных систем (ОС), программных продуктов (ПП) и технических средств в области информационных технологий (ИТ), которые используются в вузах для обучения студентов. Рассматриваемые примеры связаны с подготовкой в первую очередь ИТ-специалистов, но в той же степени касаются подготовки других специальностей.

Специалисты в области ИТ, наверно, согласятся с тем, что развитие технических средств в настоящее время характеризуется:

Периодичностью выхода новых версий ОС и программных пакетов ведущих фирм-производителей ПП, которая составляет 3-4 года. При этом в своих разработках ИТ-специалисты ориентируются на перспективные архитектуры производителей компьютеров и их комплектующих.

Пример: Windows 95, 98, 2000, 2003, 2007; Office 95, 97, 2000, 2003, 2007. Другие производители ОС и программных продуктов (Adobe, Sun, Borland и др.) выпускают новые версии с той же периодичностью.

Существенным изменением аппаратных характеристик компьютерных систем (персональных компьютеров и ноутбуков), которое происходит в среднем с периодичностью в 1-3 года. При этом меняются архитектуры системной шины материнской платы, контроллеров дисков, видео-подсистемы.

Пример: (IDE, EIDE, SATA, SATA-2).

Гарантии на основные комплектующие персональных компьютеров зависят от типа изделия и производителя и составляют от 1 года до 3

**ВИРТУАЛЬНЫЕ МАШИНЫ В ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА**

лет. К этому времени, как правило, со сменой архитектуры производители прекращают выпуск устаревших моделей и они исчезают с рынка компьютерной техники. Примером могут служить микросхемы ОЗУ, материнские платы, процессоры, видеокарты и др. подсистемы.

Это означает, что даже при условии использования устаревших ОС и ПО нельзя рассчитывать на работоспособность персональных компьютеров более 5-6 лет. Если же вузу приходится внедрять новые ОС и ПО, связанные с преподаванием специальных дисциплин, то эти сроки сокращаются до 3-4 лет.

С 2009 года действует положение об утилизации вузами компьютерной техники, при этом стоимость утилизации системного блока составляет примерно \$10-\$14, а монитора \$16-\$21.

Если предположить, что в вузе для учебных классов используется 300 машин, то в течение года должно обновляться и утилизироваться приблизительно 50-100 машин. При средней стоимости современного компьютера \$530 – \$650 и стоимости утилизации, затраты вуза составят:

Оборудование	Цена приобретения, \$		Цена утилизации, \$		Количество обновляемого оборудования, шт.		Стоимость, \$	
	min	max	min	max	max	min	max	min
Системный блок	400	500	6	8	100	50	51360	20510
Монитор	130	150	9	12	100	50	18100	7280
ВСЕГО:							69460	27790

Анализ расходов на ремонт и обновление оборудования в сравнении с затратами на приобретение новой техники может показать руководству целесообразность существования в вузе специализированного подразделения, осуществляющего обслуживание и ремонт вычислительной техники. Продление сроков эксплуатации компьютерной техники и использование серверных вариантов, рассмотренных далее, может привести к экономии средств и снижению расходов на содержание компьютерного парка, обеспечивающего учебный процесс.

Кроме расходов, приведенных в таблице, существуют расходы на приобретение или продление лицензий на программное обеспечение. Эти вопросы были рассмотрены в нашей предыдущей публикации [1].

Кроме настольных персональных компьютеров, используемых в компьютерных классах вуза, существуют другие классы компьютеров – ноутбуки и серверы, в том числе малобюджетные серверы (т.н. лоу-кост). Необходимо использовать все три категории компьютеров: личные ноутбуки студентов, настольные компьютеры классов для решения большей части задач обучения и серверные машины, на которых работают вирту-

**ВИРТУАЛЬНЫЕ МАШИНЫ В ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА**

---

альные ОС и приложения, используемые для проведения спецкурсов, курсовых и дипломных проектов.

Опрос студентов 3-5 курсов специальности ИТ показал, что 25-30 % из них имеют ноутбуки и пользуются ими в вузе. Это значит, что им для работы в классе нужно электропитание 220 в. и подключение к локальной сети класса. Наиболее экономичным является использование одного WiFi – коммутатора на 1-2 класса (стоимость \$50 -\$150).

Использование серверов имеет свои особенности. Во-первых, гарантийные сроки на компьютеры и комплектующие существенно выше (10-20 лет). Во-вторых, все более востребованным становится использование виртуальных машин. По нашим оценкам, на сервере с 2-мя 8-ядерными процессорами может одновременно работать до 50-60 операционных систем с различными объемами виртуальной памяти. Наиболее передовые решения предполагают кластеризацию таких серверов, их бесперебойную работу и перемещение ОС с одного сервера на другой. Привлекает простота обслуживания виртуальной ОС. Будучи один раз инсталлирована, она может быть помещена в архив. При повреждении ОС ее можно не инсталлировать, а просто удалить и заменить копией из архива. Кроме того, часть виртуальных дисков может одновременно использоваться несколькими работающими ОС, что приводит к экономии дискового пространства.

Существуют и другие преимущества виртуализации, привлекательные как для ИТ-фирм (провайдеры, разработчики ПО), так и промышленных фирм и вузов. Бесплатные настольные платформы виртуализации наиболее целесообразно применять в целях изоляции пользовательских сред, в образовательных целях для изучения операционных систем и безопасных испытаний различного программного обеспечения.

Плюсы от внедрения виртуальных машин в вузе связаны с тем, что в последние 3-4 года возникли новые тенденции в политике как общества Open Source, так и крупных производителей ПО.

Перечислим эти тенденции:

Крупные фирмы – производители ПО становятся участниками проектов Open Source (Adobe – Flex3, Flex4; Red Hat – Fedora; Intel – OpenCV, Microsoft – фонд CodePlex Foundation и др. ).

Ряд коммерческих продуктов (ОС и ПО) предоставляются с большими (до 70-85 %) скидками высшим учебным заведениям для организации учебного процесса. Предлагается участие вузов в фирменных учебных программах. Примером могут служить учебные программы Microsoft, Cisco, Oracle.

Ряд фирм предоставляет коммерческие продукты для бесплатного использования в учебных целях. Это современные средства разработки программ (NetBeans Sun, FlexBuilder Adobe), виртуальные машины (VMWare Server, VMWare ESXi, Citrix XenServer, MS Virtual Server), сетевое ПО и эмуляторы операционных систем и компьютерных сетей – роутер фирмы Vyatta, эмуляторы сетей фирмы Cisco и др. [2, 3]

**ВИРТУАЛЬНЫЕ МАШИНЫ В ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА**

Начаты крупные проекты Open Source в областях virtual computing, cloud computing. Они направлены на создание вычислительных сред, распределенных по нескольким машинам/процессорам. Их применение уже поддержано производителями процессоров на уровне системных команд, а существующие в настоящее время системы показывают экономическую выгоду в расходах на оборудование, электроэнергию; увеличение коэффициента использования процессорного времени в расчете на 1 процессор, экономии оперативной памяти, дискового пространства.

Сегодня лидерами в сфере производства средств виртуализации являются компании VMware, Microsoft, SWSoft (вместе с принадлежащей ей компанией Parallels), XenSource, Virtual Iron и InnoTek. Помимо продуктов этих вендоров присутствуют также такие разработки Open Source как QEMU, Bosch и прочие, а также средства виртуализации разработчиков операционных систем (например, Solaris Containers), которые менее распространены. Компанией RedHat начат очень перспективный проект oVirt [4], реализующий для свободного использования все инструменты высококлассных коммерческих систем.

Привлекательными чертами виртуальных машин являются их экономические показатели, централизация управления и упрощение обслуживания, наличие виртуальных сетей с основными сетевыми службами DHCP и NAT, уже существующие бесплатные репозитории готовых к использованию гостевых ОС. Например, для продуктов VMware это веб-серверы LAMP, серверы LDAP и Radius, различные дистрибутивы ОС Linux, FreeBSD и Solaris, дистрибутивы с уже установленными средами разработки на языках Java, PHP, Perl, Python и др. [5].

Стоимость лоу-кост сервера с 2-мя 6-ядерными процессорами фирмы AMD, 8 Мб ОЗУ, дисками объемом 750Гб – 1Тб составляет \$3500-\$4000. По затратам это эквивалентно стоимости 6-7 машин. В ближайшее время такой же будет стоимость машин с 2-мя 8-ядерными процессорами, в которых смогут одновременно работать 50-60 операционных систем, т.е. студенты 2 учебных классов.

Одна такая машина обеспечивает текущие потребности вуза в современных ОС и ПО.

На базе этой виртуальной среды очень удобно проведение лабораторных занятий по дисциплинам «Компьютерные сети», «Системное программирование и операционные системы», «ОС Linux», а также специальные курсы для студентов 5 курса.

Учитывая изложенное, затраты на обновление компьютерной техники возможно оптимизировать путем:

продления среднего срока эксплуатации компьютеров учебных классов, на которых решаются стандартные задачи (работа с текстовыми и табличными процессорами, программами, разработанными для DOS); это обслуживание и ремонт техники силами подразделений вычислитель-

**ВИРТУАЛЬНЫЕ МАШИНЫ В ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА**

---

ного центра вуза, заключение договоров на ремонт и модернизацию с компьютерными сервисными центрами;

анализа силами специалистов вычислительного центра новых архитектур вычислительной техники и своевременного приобретения комплектов к существующей технике до исчезновения их с рынка, а также приобретение новых компьютеров только последних моделей;

создания возможности использования личных ноутбуков студентов в учебном процессе;

апробации и, в последующем, внедрения в вузе модели виртуальных машин, базирующихся на серверных платформах; среди существующих в настоящее время порядка 20-30 различных виртуальных машин (как предоставляемых коммерческими фирмами бесплатно для учебных заведений, так и по открытым лицензиям) необходимо протестировать и выбрать 1-2 наиболее подходящие, имеющие перспективы дальнейшего развития;

приобретение сотрудниками вуза опыта работы с виртуальными машинами в дальнейшем может оказаться важным для организации дистанционного обучения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Рублев И.С., Тузова И.А. *Каким быть программному обеспечению вузов Украины // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ. – 2007. – № 22. – С.218-221.*
2. Сайт «Виртуализация» <http://www.vmgu.ru/>
3. Википедия [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сравнение\\_виртуальных\\_машин](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сравнение_виртуальных_машин), <http://ru.wikipedia.org/wiki/Виртуализация>
4. Проект oVirt - <http://www.ovirt.org/>
5. Сайт фирмы VMWare - <http://www.vmware.com/>

Надійшла 03.06.09

---

**О РОЛИ БАЗОВЫХ ПОНЯТИЙ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ**

---

*Рассмотрены определения базовых для выполнения диссертационных работ понятий «объект» и «предмет» исследования, «явление», «процесс», «проблема». Показана дискуссионность трактовок ВАК и их отличия от практики языка и определений, данных отечественными философами.*

*Розглянуто визначення базових для виконання дисертаційних робіт понять «об'єкт» та «предмет» дослідження, «явище», «процес», «проблема». Показано дискусійність трактувань ВАК та їх відмінність від практики мови та визначень, які дані вітчизняними філософами.*

*Definitions of base concepts «object» and «subject» of research, «phenomenon», «process», «problem» are considered for performance of dissertational works. It is shown debatable of SAC treatments and their difference from language practice and definitions given by domestic philosophers.*

**Ключевые слова:** объект исследования, предмет исследования, явление, процесс, проблема.

Обращение к теме основных понятий может вызвать недоуменный вопрос коллег: «Зачем научному работнику, занимающемуся исследованиями в сфере технических наук, уточнять определения понятий, которые характеризуют эти исследования в целом?».

Тем более, что существует Высшая аттестационная комиссия, в компетенцию которой входит, в том числе и формулировка понятий «Объект исследования» (ОИ), «Предмет исследования» (ПИ), их взаимосвязь между собой и связь с целью, задачами и темой научной работы.

Ответ достаточно простой – неправильное направление исследования, тем более исследования, ориентированного на достижения формализованной цели – получения ученой степени, может привести к ошибкам в самой работе, к проблемам при обсуждении работы, а то и к обратному результату.

Целью диссертационного исследования является научное обоснование путей исправления проблемной ситуации в той или сфере человеческих знаний.

Исходя из определения ВАК [1], под объектом исследования рекомендуется понимать выбранные для изучения процесс или явление, порождающие эту проблемную ситуацию. Там же дается определение предмета исследования, как той части объекта исследования, на которую собственно и направлено «основное внимание диссертанта, так как предмет исследования определяет тему диссертационной работы, которая отмечена на титульном листе как ее название».

---

**О РОЛИ БАЗОВЫХ ПОНЯТИЙ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ**

---

Другими словами, в такой трактовке, ОИ является более широким понятием, чем ПИ. Более того, указывается, что ОИ и ПИ относятся друг к другу как «общее» и «частное».

Разъясняя [1], в методических указаниях ВАК [8] ОИ представляется как часть окружающей действительности, которая привлекла внимание диссертанта. ПИ – рассматриваемая в работе сторона ОИ. Аналогично в [3] ОИ определяется как область исследования, а ПИ – как направление исследования в избранной области.

Принятая трактовка «объекта» и «предмета», а также «проблемы», «явления» и «процесса» в ряде случаев вызывали дискуссию при обсуждении диссертационных исследований.

Например, рассмотрим некую конкретную ситуацию при рассмотрении работы, посвященной предельной прочности корпусов навалочных судов. Навалочные суда представляются как ОИ, а предельная прочность корпуса – как ПИ, что, вообще говоря, полностью отвечает определениям ВАК.

Однако при защите высказываются соображения, что ОИ – это прочность корпуса судна или ОИ – это корпуса судов или ОИ – это суда вообще. Есть и другие более решительные мнения коллег, что любые науки, в том числе технические, изучают только процессы и явления природного характера, а не созданное руками человека, поэтому ОИ в данном случае – это силы упругости и т.п.

Поэтому представляет интерес проверка ставших официальным определений с точки зрения практики русского языка и результатов, полученных отечественными философами, что собственно и является целью настоящей статьи.

В табл. 1 и 2 даны определения слов «предмет» и «объект», заимствованные из различных толковых словарей русского языка.

Как видно из приведенных определений, в практике русского языка, начиная с середины XIX века и по сей день, слова «предмет» и «объект» рассматривались как тождественные понятия.

Именно поэтому, в работе известного советского философа А.И. Умова «Вещи, свойства, отношения» [7] указывается, что слова «предмет», «объект», «вещь» – логические синонимы.

Причем он специально отмечал, что рассмотрение этих понятий как частного и общего противоречит сложившемуся в русском языке употреблению этих слов.

А.И. Умов пришел к выводу, что «вещь», «предмет» и «объект» везде должны использоваться как равнозначные и «заменяться друг другом лишь из стилистических соображений».

При этом он приводит замечания В.П. Тугаринова в отношении традиционного понимания «вещи» – «предмета»: «Что же разумеется под указанным признаком предметности? Это прежде всего отдельность, индивидуальное существование и отсюда наглядность, резкое отличие одно-

## О РОЛИ БАЗОВЫХ ПОНЯТИЙ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Таблица 1

### Определение слова «предмет»

Толковый словарь	Определение предмета
В.И. Даля [2]	(перевод лат. <i>objectum</i> ) все, что представляется чувствам: предмет вещественный; или уму и воображению: предмет умственный.
Д.Н.Ушакова [5]	Всякое конкретное материальное явление, воспринимаемое органами чувств как нечто существующее особо, как субстанция, как вместилище каких-нибудь свойств и качеств.
С.И. Ожегова [4]	Всякое материальное явление, вещь. Тот (то), на кого (что) направлена мысль, какое-нибудь действие. Наука или раздел науки, круг каких-нибудь знаний как особая учебная дисциплина.
КМ.RU [6]	Всякое материальное явление, вещь. Предмет чего. Тот (то), на кого (что) направлена мысль, какое-нибудь действие, объект. Наука или раздел науки, круг каких-нибудь знаний как особая учебная дисциплина.

Таблица 2

### Определение слова «объект»

Толковый словарь	Определение объекта
В.И. Даля [2]	Предмет, противоположность субъекту или самости
Д.Н.Ушакова [5]	То, что существует вне нас и независимо от нас, внешний мир (филос.). Предмет, то внешнее, на что направлена деятельность человека.
С.И. Ожегова [4]	В философии: то, что существует вне нас и независимо от нашего сознания, явление внешнего мира. Явление, предмет, на который направлена чья-нибудь деятельность, чье-нибудь внимание. Предприятие, учреждение, а также все то, что является местом какой-нибудь деятельности.
КМ.RU [6]	В философии: то, что существует вне нас и независимо от нашего сознания, явление внешнего мира. Явление, предмет, на который направлена чья-нибудь деятельность, чье-нибудь внимание. Предприятие, учреждение, а также всё то, что является местом какой-нибудь деятельности. В грамматике: семантическая категория со значением того, на кого (что) направлено действие или обращено состояние

**О РОЛИ БАЗОВЫХ ПОНЯТИЙ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ**

---

го предмета от других предметов; отсюда – русское слово «предмет», т.е. то, что «мечется» или «метит» вам в глаза; отсюда также немецкое название предмета Gegenstand, т.е. – что стоит перед вами (буквально: напротив вас)».

Однако такое традиционное («пространственное») понимание предмета, по мнению А.И. Умова, приводит к значительным логическим противоречиям, что собственно и наблюдается в рассмотренной ранее ситуации.

Поэтому им было использовано «качественное» определение предмета (вещи): «Предмет – это система качеств. Различные предметы – это различные системы качества. Один и тот же предмет – это одна и та же система качеств». В развитии это определения, была получена взаимодействующая триада категорий «вещь-свойство-отношение», в которой качество вещи (предмета) рассматривалось как существенное свойство, с уничтожением которой исчезал сам предмет, сам предмет представлялся как взаимоотношение свойств или система свойств и он же представлялся как система элементов, взаимоотношения которых образуют предмет.

Другими словами, выбирая предмет или объект или вещь для исследования (а это, как видно из предыдущих рассуждений синонимы), мы должны выбрать то (или те) свойства и (или) отношения предмета, которое (которые) будем исследовать.

При этом, учитывая диалектическое взаимодействие между предметами, свойствами и отношениями, следует понимать, что в определенных условиях они будут переходить друг в друга, т.е. свойство в отношение, отношение в предмет, предмет в свойство и т.д.

Поэтому более логичным представлялось бы не использовать определения области исследования как «объекта», а направления исследования – как «предмета», а применять более простые и понятные определения – «Область исследования» (ОБИ) и «Направление исследования» (НИ), так как объекты (вещи, предметы), свойства и отношения могут в различных ситуациях рассматриваться и определяться различным образом.

Используя [1], получим, что ОБИ – это выбранные для изучения явление или процесс, порождающие проблему.

Определение понятия «явление» дано в табл. 3, понятия «процесс» – в табл. 4, понятия «проблема» – в табл. 5.

Следует обратить внимание, что процесс – в действительности не самостоятельное определение, а лишь отражение изменчивости явления во времени. Поэтому определение ОБИ можно свести к выбранному для изучения явлению, порождающему проблемную ситуацию.

Наконец, «проблему» можно рассматривать как сложную задачу и такое простое определение вполне соответствует практике русского языка и практике научных исследований.

Определение НИ совпадает с темой исследования, поэтому может быть опущено, как повтор уже озвученной информации.

## О РОЛИ БАЗОВЫХ ПОНЯТИЙ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Таблица 3

## Определение слова «явление»

Толковый словарь	Определение явления
В.И. Даля [2]	Отсутствует.
Д.Н.Ушакова [5]	То, в чем проявляется, обнаруживается сущность; феномен (филос.). Всякое проявление чего-нибудь, событие, случай.
С.И. Ожегова [4]	В философии: проявление, выражение сущности, то, в чем она обнаруживается. Вообще всякое обнаруживаемое проявление чего-нибудь. Событие, случай.
КМ.RU [6]	В философии: проявление, выражение сущности, то, в чём она обнаруживается. Вообще всякое обнаруживаемое проявление чего-нибудь. Событие, случай.

Таблица 4

## Определение слова «процесс»

Толковый словарь	Определение процесса
В.И. Даля [2]	Всякое длительное, последовательное дело, порядок, обряд
Д.Н.Ушакова [5]	Ход, развитие какого-нибудь явления; последовательная закономерная смена состояний в развитии чего-нибудь. Совокупность последовательных этапов изготовления чего-нибудь.
С.И. Ожегова [4]	Ход, развитие какого-нибудь явления, последовательная смена состояний в развитии чего-нибудь
КМ.RU [6]	Ход, развитие какого-нибудь явления, последовательная смена состояний в развитии чего-нибудь

Вероятно, такой подход будет более корректным и гибким, исключив дискуссии по формальному признаку, которые достаточно часто возникают при защите диссертаций.

## О РОЛИ БАЗОВЫХ ПОНЯТИЙ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ

Таблица 5

### Определение слова «проблема»

Толковый словарь	Определение проблемы
В.И. Даля [2]	Задача, вопрос, загадка, что предложено на разрешение, на научное решение; задача, для отыскания неизвестного по данному.
Д.Н.Ушакова [5]	Теоретический или практический вопрос, требующий разрешения, задача, подлежащая исследованию.
С.И. Ожегова [4]	Сложный вопрос, задача, требующие разрешения, исследования. О чем-нибудь трудно разрешимом, осуществимом.
КМ.RU [6]	Сложный вопрос, задача, требующие разрешения, исследования.

Например, в рассмотренном выше примере проблемную ситуацию порождают не вообще суда, и тем более не силы упругости, а навалочные суда – во всей сложности их жизненного цикла – от проектирования, постройки, эксплуатации и ремонта и до списания.

Действительно нарушения прочности, которые были характерны для балкеров в 90-е годы прошлого столетия, были связаны с недостатками в нормировании прочности, в проектировании, в практике постройки, в технической и коммерческой эксплуатации, в ремонтах и т.п.

Для рассмотренного примера, ОБИ – это конечно навалочные суда, а ПИ – обеспечение предельной прочности их корпусов.

### ВЫВОДЫ

1. Определение «предмет» и «объект» везде должны использоваться как равнозначные и «заменяться друг другом лишь из стилистических соображений».

2. Выбирая предмет или объект для исследования (а это, как видно из предыдущих рассуждений синонимы), мы должны выбрать то (или те) свойства и (или) отношения предмета, которое (которые) будем исследовать.

3. Более логичным представляется использовать определения – «Область исследования» и «Направление исследования».

4. Область исследования можно определить как выбранное для изучения явление, порождающее проблемную ситуацию. Направления исследования – это тема работы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Бюллетень ВАК Украины. – Специальный выпуск, 2000. – 49 с.*
2. *Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка. – <http://vidahl.agava.ru>.*
3. *Захаров Ю.В., Радченко Н.И. Представление результатов в диссертационной работе: Методические рекомендации. – Николаев: УГМТУ, 2003. – 28 с.*
4. *Ожегов С.И. Словарь русского языка. – <http://www.ozhegov.ru>.*
5. *Толковый словарь русского языка / Под ред. Д.Н. Ушакова – <http://slovari.yandex.ru/dict/ushakov>.*
6. *Толковый словарь русского языка КМ.RU. – <http://mega.km.ru/ojigov/encyclop.asp>.*
7. *Уемов А.И. Вещи, свойства и отношения. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1963. – 182 с.*
8. *Як підготувати і захистити дисертацію на здобуття наукового ступеня. Методичні поради / Автор-упорядник Л.А. Пономаренко. – К.: Редакція «Бюлетеня Вищої атестаційної комісії України», 1999. – 80 с.*

Надійшла 05.09.09

**ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ГРУНТА  
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ЗААНКЕРОВАННОЙ ШПУНТОВОЙ ПРИЧАЛЬНОЙ СТЕНКИ**

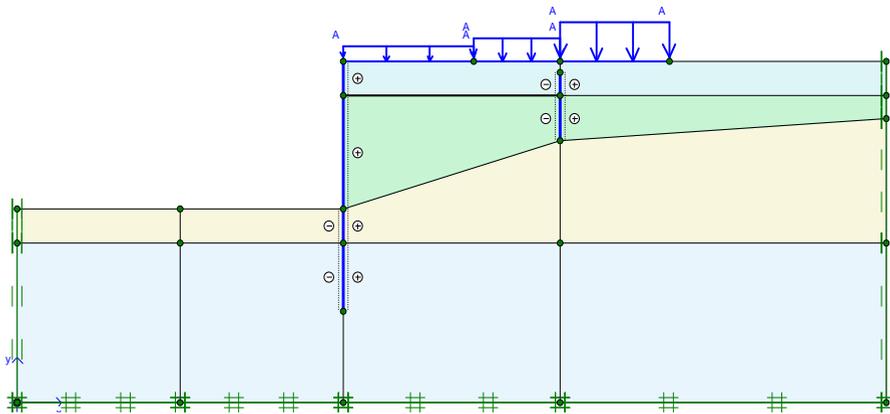
*Проведены исследования напряженно-деформированного состояния причальных шпунтовых стенок при армировании грунтовой засыпки в условиях их упругопластического деформирования и сложного нагружения.*

*Проведено дослідження напружено-деформованого стану причальних шпунтових стінок при армуванні ґрунтової насипки в умовах їхнього упругопластичного деформування та складного навантаження.*

*Researches of the is intense-deformed condition of berthing sheet pilings are carried out at reinforcement soil in the conditions of them elasto-plastic a warping and a difficult weighting.*

**Ключевые слова:** шпунтовые причальные стенки, армированная грунтовая засыпка, упругопластическое деформирование.

Рассматриваются причальные сооружения в виде заанкерowanych шпунтовых стенок, расчетная схема которых, соответствует их эксплуатационному состоянию. Пример такой схемы показан на рис. 1.



*Рис. 1. Расчетная схема причальной стенки*

С увеличением глубин у причальных стенок активное давление грунта на них возрастает, что приводит к утяжелению и удорожанию таких сооружений. Существует целый ряд мероприятий, способствующих уменьшению распора грунта, например [1, 2, 3]. Их сравнения по стоимости строительства и реконструкции, а также по эксплуатационным расходам показали, что наибольший эффект могут дать армирования анкерующими и разгружающими устройствами. В данной работе исследуется из-

**ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ГРУНТА  
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ЗААНКЕРОВАННОЙ ШПУНТОВОЙ ПРИЧАЛЬНОЙ СТЕНКИ**

---

менение напряженно-деформируемого состояния, как в грунте, так и в шпунтовой стенке при армировании грунтовой среды георешетками.

Вначале о методах расчета. В 1933 г. был опубликован в переводе на русский язык второй том монографии Л. Бреннеке и Э. Ломейера [4], в котором приведены результаты докторской диссертации инж. Г. Блюма по расчету шпунтовых стенок, укрепленных анкерами. С тех пор и по настоящее время этот приближенный метод широко используется при расчете причальных стенок [5, 6, 7]. Основные недостатки этого метода заключаются в том, что производится только упругий расчет стенки, на которую действует активное и пассивное давление грунта, определяемое по методу Кулона-Мора, что не соответствует действительному состоянию и работе гибкого причального сооружения. Поэтому принимались различные волевые поправки, приближающие решение к реальным условиям работы стенки [8, 9]. В данной статье будет использоваться новый более совершенный метод расчета, изложенный в монографии [10]. По этому методу причал рассматривается как единая система, состоящая из шпунтовой и анкерной стенок, анкеров и грунтового массива. Все элементы этой системы под действием нагрузок испытывают сложное нагружение и могут работать как в упругом, так и в упругопластическом состоянии.

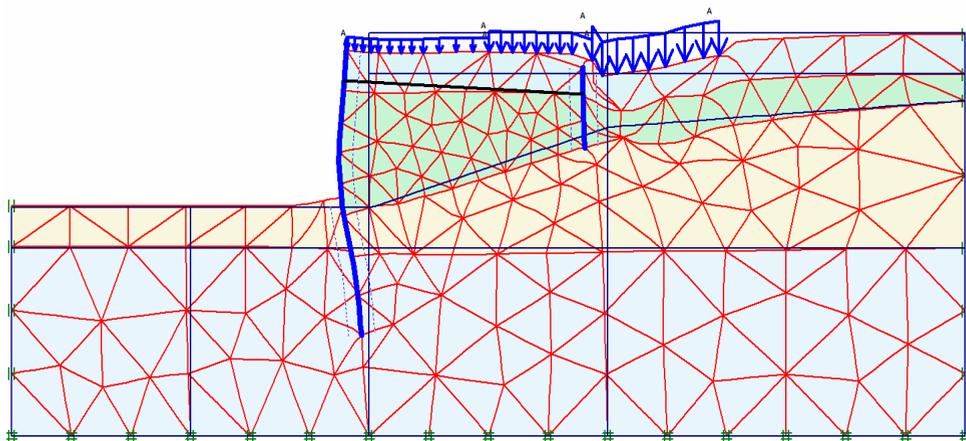
Рассмотрим результаты расчетов, выполненные по расчетной схеме рис. 1, когда армирование грунта отсутствует. Грунты массива состоят из четырех слоев, имеющих следующие физико-механические свойства: сцепление  $c$  (в  $\text{кН/м}^2$ ), угол внутреннего трения  $\varphi$  (в градусах), модуль деформации  $E$  (в  $\text{кН/м}^2$ ) и коэффициент Пуассона (безразмерная величина). В первом слое  $c = 1$ ;  $\varphi = 30$ ;  $E = 33000$ ;  $\mu = 0,3$ ; во втором слое  $c = 2$ ;  $\varphi = 28$ ;  $E = 32000$ ;  $\mu = 0,3$ ; в третьем слое  $c = 3$ ;  $\varphi = 23$ ;  $E = 10000$ ;  $\mu = 0,33$ ; в четвертом слое  $c = 25$ ;  $\varphi = 24$ ;  $E = 16000$ ;  $\mu = 0,35$ . Слои грунта расположены сверху вниз, как показано на рис. 1. Шпунтовая и анкерная стенки изготовлены из металлического шпунта Ларсен V. Высота стенки от дна моря равна 13 м, а глубина забивки 9 м. Приложенная на причал нагрузка слева направо имеет следующие интенсивности: 40, 60, 100  $\text{кН/м}^2$ .

Схема общих перемещений элементов системы в увеличенном масштабе показана на рис. 2, а их эпюра приведена на рис. 3. Масштабная линейка перемещений в метрах изображена справа от эпюры.

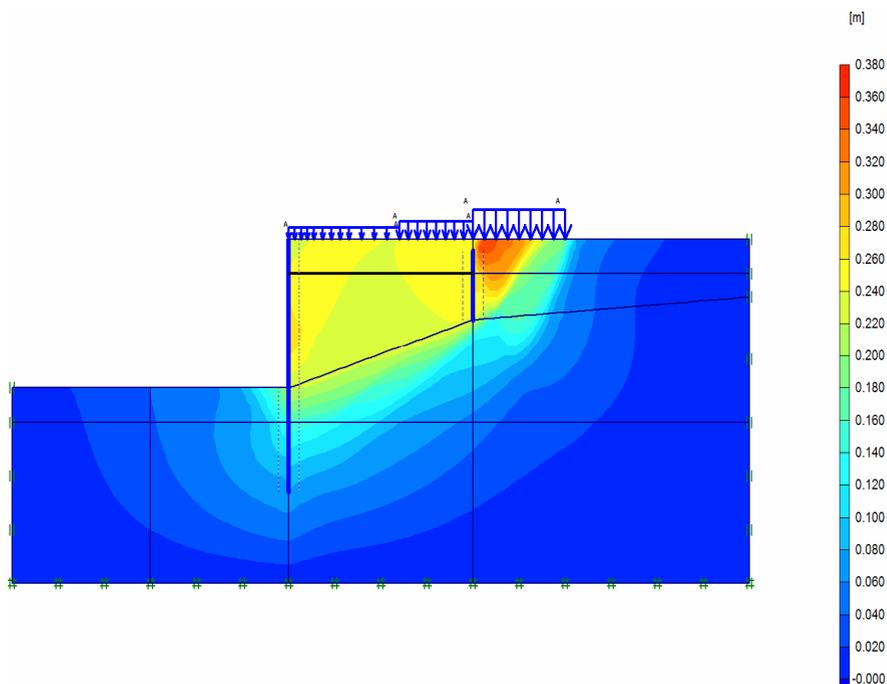
Эпюра полных напряжений, совпадающих с направлением вектора напряжений, приведена на рис. 4. Наибольшее напряжение возникает под шпунтовой стенкой и равно 264,8  $\text{кН/м}^2$ . На рис. 5 показана в масштабе эпюра изгибающих моментов и перемещений стенки. Наибольшее значение момента равно 550,5  $\text{кНм}$ , а наибольшее горизонтальное перемещение стенки составило 0,258 м. Усилие в анкере равно 368,9  $\text{кН/м}$ .

**ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ГРУНТА  
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ЗААНКЕРОВАННОЙ ШПУНТОВОЙ ПРИЧАЛЬНОЙ СТЕНКИ**

Система находится в устойчивом состоянии, пластические зоны образовались только в грунтах, их схема показана на рис. 6 в виде квадратов.



*Рис. 2. Схема перемещения причальной стенки*



*Рис. 3. Эпюра деформации причальной стенки*

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ГРУНТА  
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ЗААНКЕРОВАННОЙ ШПУНТОВОЙ ПРИЧАЛЬНОЙ СТЕНКИ

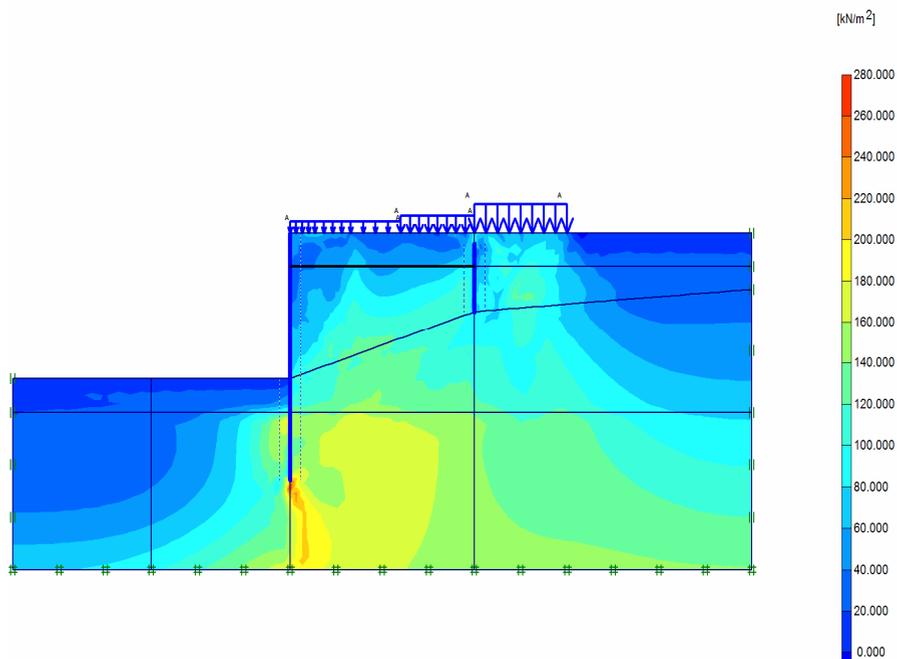


Рис. 4. Этюра полных напряжений

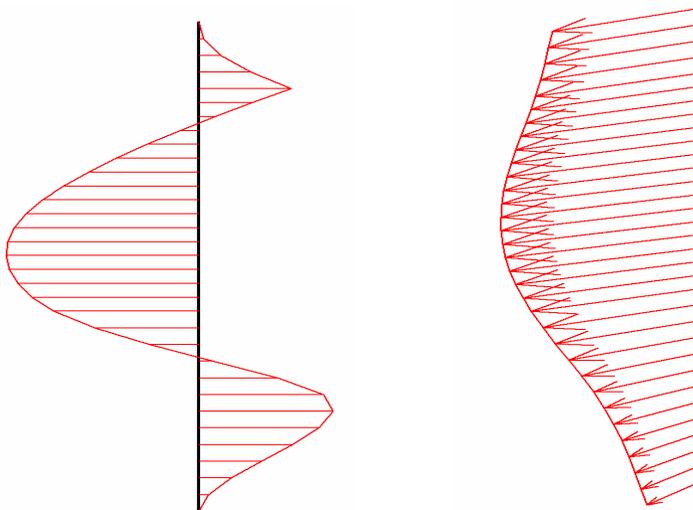
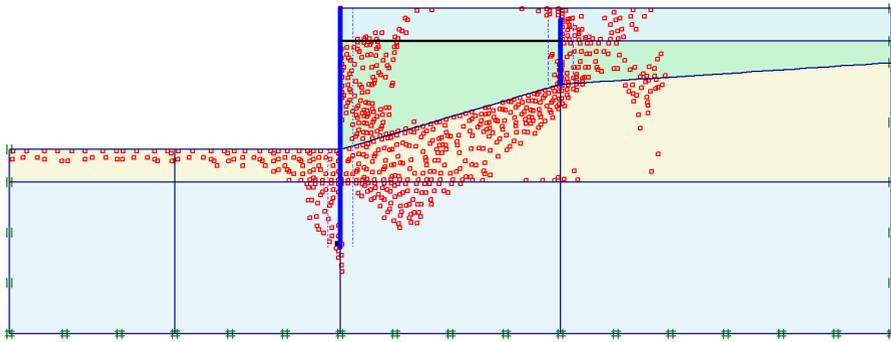


Рис. 5. Этюра изгибающих моментов  
и перемещений шпунтовой стенки

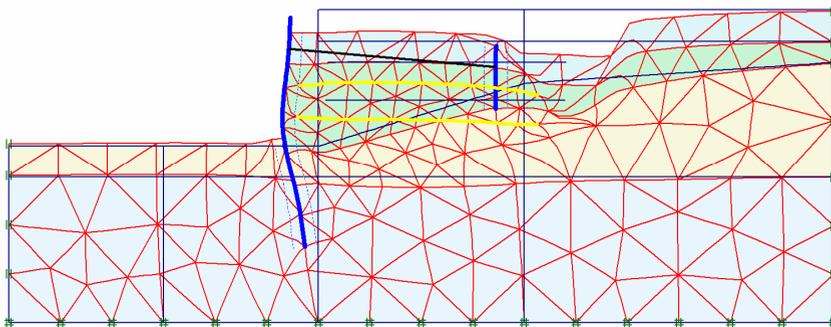
**ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ГРУНТА  
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ЗААНКЕРОВАННОЙ ШПУНТОВОЙ ПРИЧАЛЬНОЙ СТЕНКИ**

---



*Рис. 6. Схема образования в системе пластических зон*

Исследуем случай укрепления массива георешетками. На рис. 7 показана в увеличенном масштабе деформированная расчетная схема причальной сооружения с двумя георешетками.



*Рис. 7. Деформированная расчетная схема причальной стенки с двумя георешетками*

Выполненный расчет показал, что качественно эпюры перемещений и напряжений существенно не изменились. Приведем количественные расхождения. Произошло уменьшение максимальных вертикальных перемещений за анкерной стенкой на 3,1 см, максимальных напряжений в грунте на  $37,1 \text{ кН/м}^2$ , максимальных горизонтальных перемещений стенки на 8,1 см, изгибающих моментов в стенке на 180,2 кНм, усилий в анкере на 35,6 кН/м. Задача по определению оптимального количества георешеток, их длины, жесткости и расположения в грунтовой массе не исследовалась. Эта актуальная, но сложная нелинейная задача математического программирования пока не решена. Она приближенно может быть исследована

**ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ ГРУНТА  
НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ  
ЗААНКЕРОВАННОЙ ШПУНТОВОЙ ПРИЧАЛЬНОЙ СТЕНКИ**

---

дована путем перебора различных вариантов с применением ЭВМ. Так было установлено, что переформирование задачи на новый вариант и ее решение по готовой программе занимает на ноутбуке с процессором Intel Core 2 Duo T9300 не более 5 минут.

Предложен метод расчета заанкерованных шпунтовых стенок как систем, состоящих из стенки, анкеров, анкерной плиты и грунтового массива, при их сложном нагружении. Учитывается изменение напряженно-деформируемого состояния системы при армировании грунта за стенкой. Дано сравнение результатов расчета, полученных как при армировании грунтовой среды, так и при его отсутствии.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Шихиев Ф.М. Облегчение конструкций распорных портовых сооружений путем армирования засыпки // *Научн. тр. Гидротехника.* – Вып. 2. – М.: Морской транспорт, 1962. – С. 72-79.
2. Златоверховников Л.Ф., Кривов А.К. Использование армирования грунта засыпки при строительстве и реконструкции причальных сооружений // *Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации береговых сооружений морского транспорта.* – Вып. 4. – М.: Рекламинфорбюро ММФ, 1977. – С. 63-71.
3. Дуброва Г.А. Методы облегчения и удешевления гидротехнических сооружений. – М., 1959. – 340 с.
4. Бреннеке Л., Ломейер Э. Основания и фундаменты. – Т. 2. – М.–Л.: Госстройиздат, 1933. – 255 с.
5. Смирнов Г.Н., Горюнов Б.Ф. и др. Порты и портовые сооружения. – М.: Стройиздат, 1993. – 637 с.
6. Гуревич В.Б. Речные портовые гидротехнические сооружения. – М.: Транспорт, 1969. – 415 с.
7. Руководство по проектированию морских причальных сооружений. РД 31.31.27–81. – М.: Мортехинформреклама, 1984. – 400 с.
8. Портовые гидротехнические сооружения. Конструирование и расчет. – М.: Морской транспорт, 1956. – 538 с.
9. Гуревич В.Б., Даревский В.Э. Портовые гидротехнические сооружения. – М.: Транспорт, 1992. – 256 с.
10. Гришин В.А., Дорофеев В.С. Нелинейные модели конструкций, взаимодействующих с грунтовой средой. – Одесса: Внешрекламсервис, 2006. – 242 с.

Надійшла 07.09.09

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА

*Приведены результаты экспериментальных исследований технологической поврежденности бетона при определении несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям с учетом сил зацепления.*

*У статті наведено результати експериментальних досліджень технологічної пошкодженості бетону при визначенні несучої здатності залізобетонних балок по похилих перерізах з урахуванням сил зачеплення.*

*The results of experimental researches of technological damaged of concrete at determination of bearing strength of reinforced-concrete beams on the sloping crossings taking into account forces of hooking are given in the article.*

**Ключевые слова:** бетон, технологическая поврежденность, наклонные сечения, железобетонные балки, силы зацепления.

Несущая способность железобетонных элементов, работающих на восприятие поперечных сил, зависит от точности расчета внутренних усилий, действующих на приопорную часть элемента [1]. Одним из определяющих факторов, от которого зависит величина внутренних усилий, являются физико-механические характеристики бетона, которые зависят от технологической поврежденности бетона.

В лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций Одесской государственной академии строительства и архитектуры проведена серия экспериментальных исследований по изучению технологической поврежденности бетона балок и ее влияния на внутренние усилия. Конструкция и схема армирования балок приведены на рис. 1.

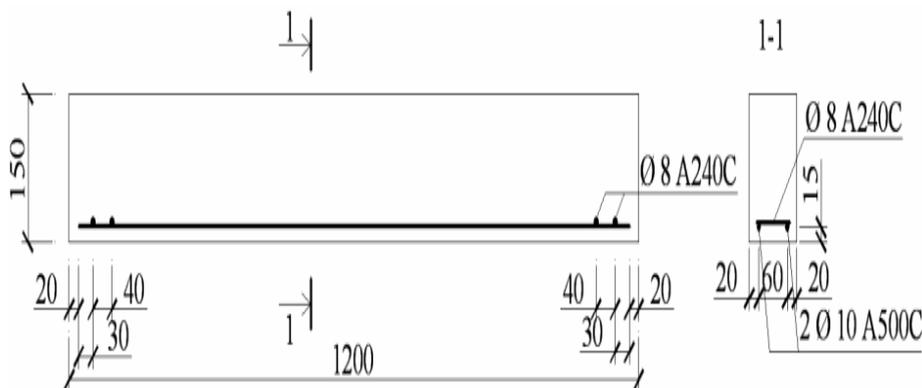


Рис. 1. Схема армирования железобетонных балок

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА

Технологическая поврежденность изучалась в зависимости от варьируемых факторов – количества цемента и наполнителя и оценивалась коэффициентами начальной технологической поврежденности  $Kn_L$  и  $Kn_S$  [2]. На рис. 2 а) железобетонная балка с нанесенными базовыми прямыми  $L$  и площадью  $S$ ; б) поверхность образца балки с прорисованными технологическими трещинами по всей площади боковой поверхности:  $L$  – базовые прямые для определения коэффициента начальной технологической поврежденности;  $S$  – базовая площадь для определения коэффициента начальной технологической поврежденности;  $L_0$  – длина технологической трещины.

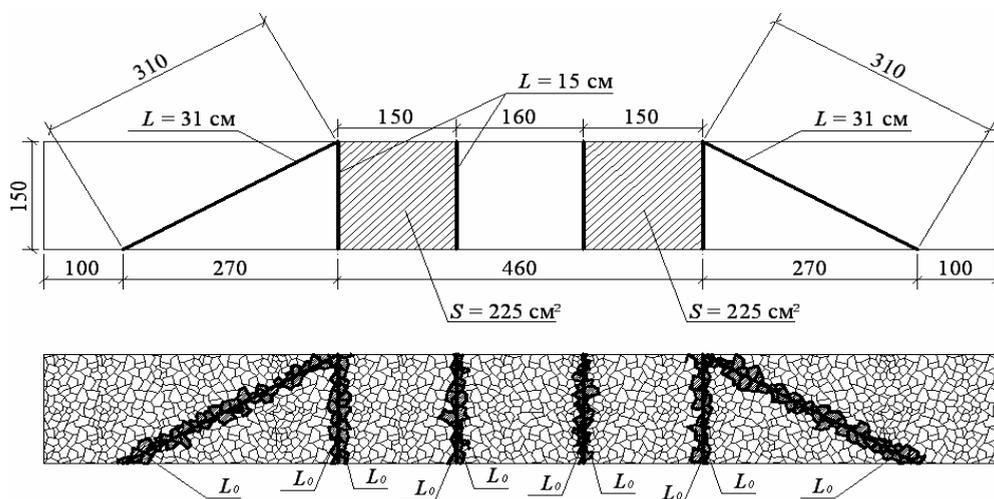


Рис. 2. Опытный образец балки

Измерения проводились по двум сторонам балок. Для каждой балки были получены 16 измерений по базе  $L = 15$  см, 8 измерений по базе  $L = 31$  см и 4 измерения по базе  $S = 225$  см<sup>2</sup>.

В результате экспериментальных исследований были найдены средние значения длин поверхностных трещин и коэффициентов начальной технологической поврежденности для балок, которые приведены в таблице 1.

По полученным результатам можно заметить, что варьируемые факторы ( $X_1$  – количество наполнителя, %;  $X_2$  – расход цемента, кг/м<sup>3</sup>) [3], оказывают следующее влияние на коэффициенты начальной технологической поврежденности.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА**

Таблица 1

*Средние значения длин технологических трещин  
и коэффициентов поврежденности для балок*

Точка плана	X1, %	X2, кг/м <sup>3</sup>	Марки- ровка	Продольная линия, L = 31 см		Поперечная линия, L = 15 см		Площадь, S = 225 см <sup>2</sup>	
				L <sub>0</sub>	Kn <sub>L</sub>	L <sub>0</sub>	Kn <sub>L</sub>	L <sub>0</sub>	Kn <sub>L</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15	400	Б-1	60,25	1,94	30,31	2,02	305	1,35
2	10	400	Б-2	51,31	1,65	24,66	1,64	271,75	1,20
3	5	400	Б-3	47,69	1,53	23,61	1,57	247,96	1,10
4	15	250	Б-4	68,45	2,20	42,69	2,84	360,86	1,60
5	10	250	Б-5	67,69	2,18	36,47	2,43	342,16	1,52
6	5	250	Б-6	64,85	2,09	39,25	2,61	341,45	1,51
7	15	325	Б-7	56,15	1,81	29,86	1,99	316,26	1,40
8	10	325	Б-8	54,45	1,75	25,15	1,67	305,82	1,35
9	5	325	Б-9	50,48	1,62	26,24	1,74	287,48	1,27

Коэффициент начальной технологической поврежденности  $Kn_L$  балок для базы измерения  $L = 15$  см при изменении количества наполнителя от 5 % до 15 % изменяется в пределах от 1,57 до 2,84 (на 80 %) (см. рис. 3 а).

На рис. 3 а)  $L = 15$  см; б)  $L = 31$  см; в)  $S = 225$  см<sup>2</sup>; ● - количество цемента 400 кг/м<sup>3</sup>; ■ - количество цемента 250 кг/м<sup>3</sup>; ▲ - количество цемента 325 кг/м<sup>3</sup>.

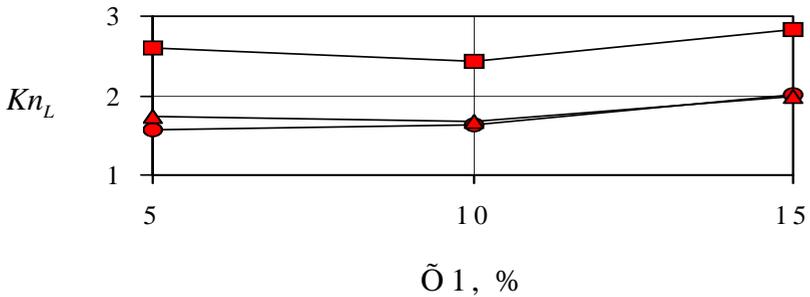
При количестве цемента 250 кг/м<sup>3</sup> и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 7 %. При изменении количества наполнителя от 10 % до 15 % коэффициент  $Kn_L$  увеличивается на 17 %.

При количестве цемента 325 кг/м<sup>3</sup> и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 4 %. При изменении количества наполнителя от 10 % до 15 % коэффициент  $Kn_L$  увеличивается на 19 %.

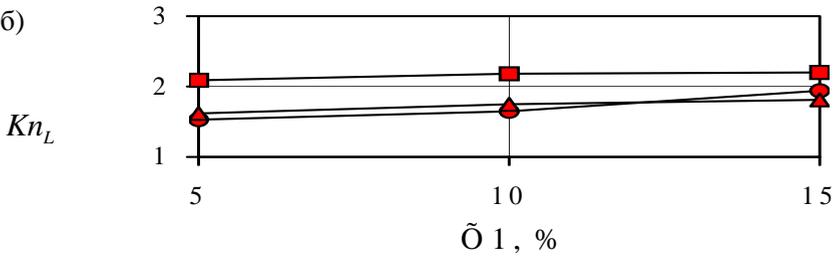
При количестве цемента 400 кг/м<sup>3</sup> и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $Kn_L$  увеличивается на 4 %.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА**

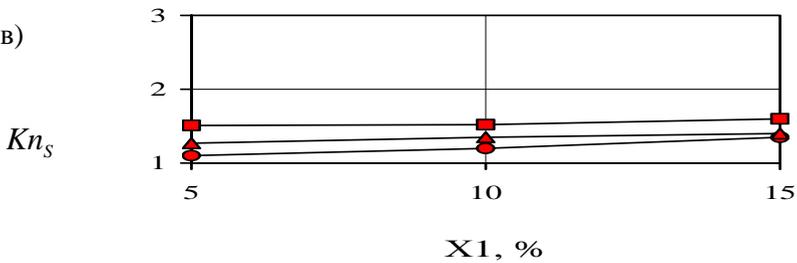
а)



б)



в)



*Рис. 3. Влияние количества наполнителя на коэффициенты начальной технологической поврежденности  $K_{n_L}$  и  $K_{n_S}$  определенных на образцах-балках*

При изменении количества наполнителя от 10 % до 15 % коэффициент  $K_{n_L}$  уменьшается на 23 %.

При количестве цемента  $250 \text{ кг/м}^3$  и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $K_{n_L}$  увеличивается на 5 %.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА**

При количестве цемента  $325 \text{ кг/м}^3$  и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $Kn_L$  увеличивается на 11 %. При изменении количества наполнителя от 10 % до 15 % коэффициент  $Kn_L$  увеличивается на 4 %.

При количестве цемента  $400 \text{ кг/м}^3$  и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $Kn_L$  увеличивается на 8 %. При изменении количества наполнителя от 10 до 15 % коэффициент  $Kn_L$  увеличивается на 17 % соответственно.

Коэффициент начальной технологической поврежденности  $Kn_S$  балок для базы измерения по площади  $S = 225 \text{ см}^2$  при изменении количества наполнителя от 5 % до 15 % изменяется в пределах от 1,1 до 1,6  $\text{см/см}^2$  (на 45 %) (рис. 3 в).

При количестве цемента  $250 \text{ кг/м}^3$  и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $Kn_S$  увеличивается на 1 %. При изменении количества наполнителя от 10 % до 15 % коэффициент  $Kn_S$  увеличивается на 5 %.

При количестве цемента  $325 \text{ кг/м}^3$  и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $Kn_S$  увеличивается на 6 %. При изменении количества наполнителя от 10 % до 15 % коэффициент  $Kn_S$  увеличивается на 4 %.

При количестве цемента  $400 \text{ кг/м}^3$  и изменении количества наполнителя от 5 % до 10 % коэффициент  $Kn_S$  увеличивается на 9 % соответственно. При изменении количества наполнителя от 10 % до 15 % коэффициент  $Kn_S$  увеличивается на 11 %.

Коэффициент технологической поврежденности  $Kn_L$  балок для базы измерения  $L = 15 \text{ см}$  при изменении количества цемента от  $250 \text{ кг/м}^3$  до  $400 \text{ кг/м}^3$  изменяется в пределах от 2,84 до 1,57 (на 80 %) (рис. 4 а). На рис 4 а) L = 15 см; б) L = 31 см; в) S = 225  $\text{см}^2$ ; ○ - количество наполнителя 5 %; ◆ - количество наполнителя 10 %; ✕ - количество наполнителя 15 %.

При количестве наполнителя 5 % и изменении количества цемента от  $250 \text{ кг/м}^3$  до  $325 \text{ кг/м}^3$  коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 50 %. При изменении количества цемента от  $325 \text{ кг/м}^3$  до  $400 \text{ кг/м}^3$  коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 10 %.

При количестве наполнителя 10 % и изменении количества цемента от  $250 \text{ кг/м}^3$  до  $325 \text{ кг/м}^3$  коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 45 %. При изменении количества цемента от  $325 \text{ кг/м}^3$  до  $400 \text{ кг/м}^3$  коэффициент  $Kn_L$  уменьшается.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА**

При количестве наполнителя 15 % и изменении количества цемента от 250 кг/м<sup>3</sup> до 325 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 42 %. При изменении количества цемента от 325 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_L$  увеличивается.

Коэффициент начальной технологической поврежденности  $Kn_L$  балок для базы измерения  $L = 31$  см при изменении количества цемента от 250 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> изменяется на 44 % (рис. 4 б).

При количестве наполнителя 5 % и изменении количества цемента от 250 до 325 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 29 %. При изменении количества цемента от 325 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 5 %.

При количестве наполнителя 10 % и изменении количества цемента от 250 кг/м<sup>3</sup> до 325 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 24 %. При изменении количества цемента от 325 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 6 %.

При количестве наполнителя 15 % и изменении количества цемента от 250 кг/м<sup>3</sup> до 325 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_L$  уменьшается на 21 %. При изменении количества цемента от 325 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_L$  увеличивается на 7 %.

Коэффициент начальной технологической поврежденности  $Kn_S$  балок для базы измерения по площади  $S = 225$  см<sup>2</sup> при изменении количества цемента от 250 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> изменяется в пределах от 1,1 до 1,6 см/см<sup>2</sup> (на 31 %) (см. рис. 4 в).

При количестве наполнителя 5 % и изменении количества цемента от 250 кг/м<sup>3</sup> до 325 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_S$  уменьшается на 16 %. При изменении количества цемента от 325 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_S$  уменьшается на 13 %.

При количестве наполнителя 10 % и изменении количества цемента от 250 кг/м<sup>3</sup> до 325 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_S$  уменьшается на 15 %. При изменении количества цемента от 325 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_S$  уменьшается на 12 %.

При количестве наполнителя 15 % и изменении количества цемента от 250 кг/м<sup>3</sup> до 325 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_S$  уменьшается на 14 %. При изменении количества цемента от 325 кг/м<sup>3</sup> до 400 кг/м<sup>3</sup> коэффициент  $Kn_S$  уменьшается на 4 % соответственно.

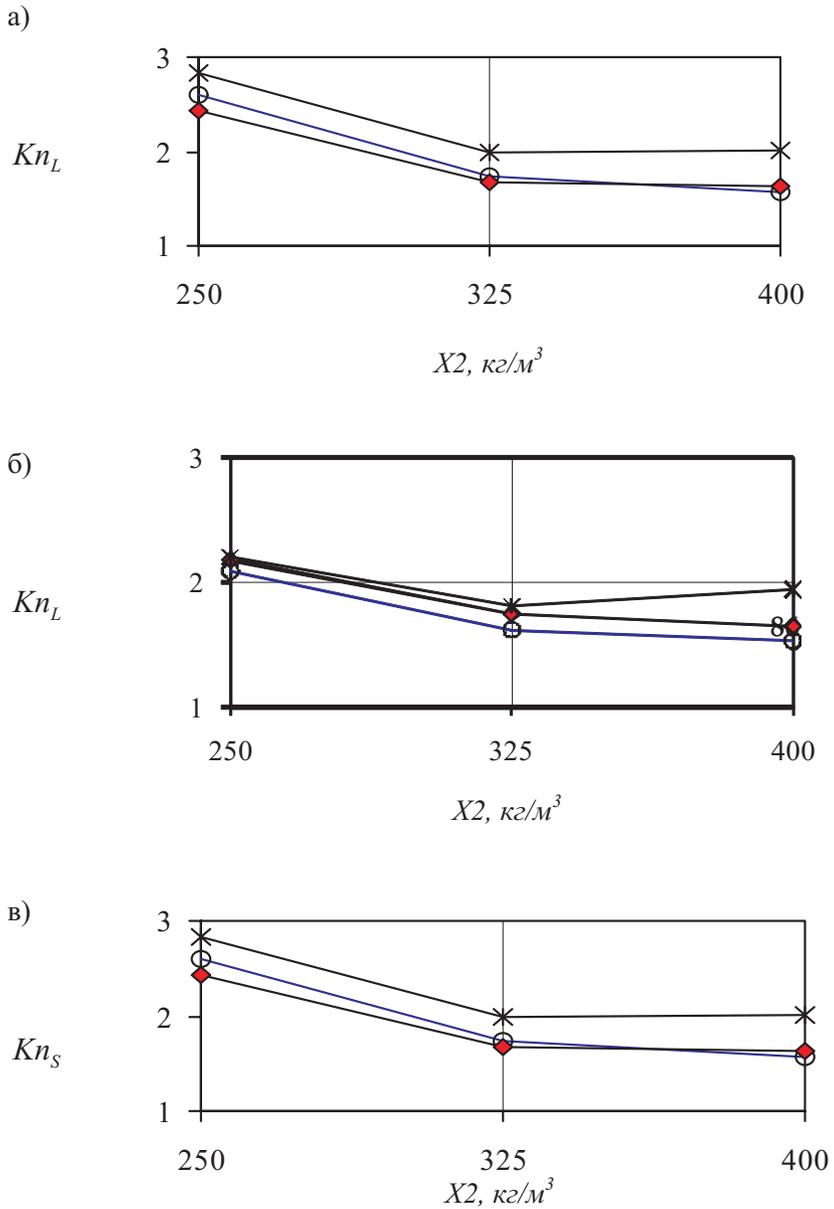
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА

Рис. 4. Влияние количества цемента на коэффициенты начальной технологической поврежденности  $Kn_L$  и  $Kn_S$  определенных на образцах-балках

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ БЕТОНА

---

Обобщая полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

Коэффициенты технологической поврежденности  $Kn_L$  и  $Kn_S$ , определенные для железобетонных балок, возрастают (до 80 %) при увеличении процентного содержания наполнителя при неизменном количестве цемента и уменьшаются (до 40 %) при увеличении количества цемента при неизменном процентном содержании наполнителя.

Таким образом, изменяя количество цемента или наполнителя в бетоне, можно варьировать технологической поврежденностью в широких пределах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Залесов А.С., Климов Ю.А. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил. – К.: Будівельник, 1989. – 105 с.
2. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: ИМК Город мастеров, 1998. – 168 с.
3. Бондаренко А.В. К методике проведения исследований по определению сил зацепления при различном рельефе поверхности трещины // Вісник ОДАБА. – № 5. – Одесса, 2001. – С. 14-17.
4. Шеховцов И.В., Бондаренко А.В. Влияние начальной технологической поврежденности на силы зацепления при расчете балок на основе диско-связевой модели // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Вип.14. – Рівне: РДТУ, 2006. – С.362-368.
5. Шеховцов И.В., Бондаренко А.В., Безушко Д.И. Результаты экспериментальных исследований начальной технологической поврежденности бетона призм при определении несущей способности железобетонных балок по наклонным сечениям с учетом сил зацепления // Вісник ОДАБА. – № 21. – Одесса, 2006. – С. 281-288.

Надійшла 10.11.09

**О ДВУХ ВАРИАНТАХ  
РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДО РАЗРУШЕНИЯ**

---

---

*Проведен анализ двух вариантов расчётно-экспериментального определения долговечности до разрушения отдельной детали на заданном уровне напряжений по известному положению средневероятной кривой усталости и долговечности на каком-либо другом уровне напряжений.*

*Показано, что в обоих случаях расчётные долговечности во всём диапазоне напряжений, соответствующие многоцикловой усталости, отличаются друг от друга незначительно.*

*Проведено аналіз двох варіантів розрахунково-експериментального визначення довговічності до руйнування окремої деталі на заданому рівні напружень по відомому положенню середньомівірнісної кривої втоми і довговічності на будь-якому іншому рівні напружень.*

*Показано, що в обох випадках розрахункові довговічності на всьому діапазоні напружень, що відповідають багатоциклічній втомі, відрізняються одна від одної в незначній мірі.*

*There was provided analysis of two experimental and calculating definition variants of longevity before separate detail destruction on given current level for known position of mean fatigue curve and longevity on any other current levels.*

*It is shown that in both cases calculated longevities over current ranges corresponding with multi circular fatigue differ from each other negligibly.*

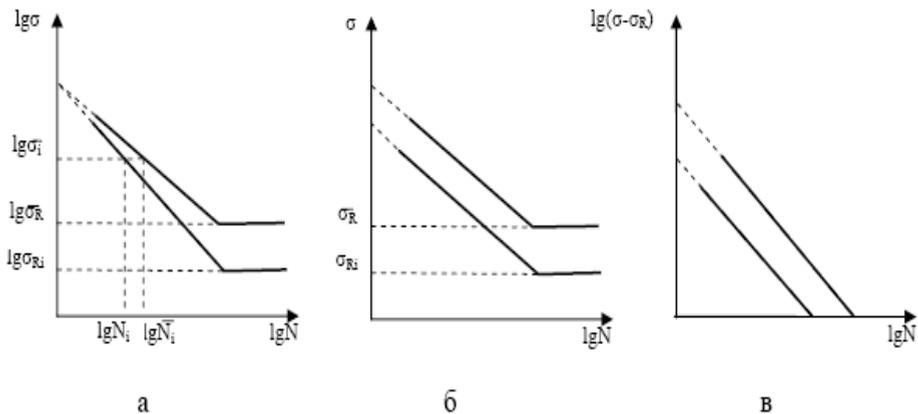
**Ключевые слова:** долговечность до разрушения, индивидуальный предел выносливости, коэффициент вариации.

Экспериментальными исследованиями установлено, что коэффициент вариации долговечности до разрушения мало зависит от уровня напряжений [1]. Это позволяет при расчётах принимать его постоянным во всём диапазоне напряжений, соответствующих многоцикловой усталости. В работе [2] показано, что при определённых допущениях постоянным можно считать не только коэффициент вариации долговечности, но также коэффициент вариации логарифма долговечности. Говорить о постоянстве коэффициента вариации во втором случае можно только с привязкой к конкретной модели кривой усталости.

Рассмотрим наиболее распространённые модели кривых усталости (степенная, показательная, Вейбулла) и их графическое изображение в соответствующих координатах (рис. 1 а, б, в). Здесь же на рисунке для этих трёх моделей покажем расположение индивидуальных кривых усталости, соответствующих конкретному объекту (кривые снизу).

**О ДВУХ ВАРИАНТАХ  
РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДО РАЗРУШЕНИЯ**

Расположение средневероятной кривой усталости и индивидуальной в координатах  $\lg \sigma - \lg N$  (рис. 1 а) таково, что эти кривые являются сходящимися (по причине неравномерности логарифмической шкалы). В работе [2] сделано допущение, что пересечение этих кривых происходит в общей точке на оси ординат. Это допущение принято на основе анализа многочисленных статистических данных.



*Рис.1. Относительное расположение кривых усталости согласно степенному (а), показательному (б) и Вейбулла (в) уравнениям*

При таком подходе к решаемой задаче коэффициент вариации логарифма долговечности должен быть однозначно постоянным во всём диапазоне напряжений и должно выполняться условие

$$\frac{\lg N_1 - \lg \bar{N}_1}{\lg \bar{N}_1} = \frac{\lg N_2 - \lg \bar{N}_2}{\lg \bar{N}_2} = \dots = \frac{\lg N_i - \lg \bar{N}_i}{\lg \bar{N}_i} = \dots = \frac{\lg N_n - \lg \bar{N}_n}{\lg \bar{N}_n} = const, \quad (1)$$

где  $\lg N_1, \lg N_2, \lg N_i$  и  $\lg N_n$  – логарифмы долговечности до разрушения индивидуальных объектов с порядковыми номерами 1, 2, ... i ... n;  $\lg \bar{N}_1, \lg \bar{N}_2, \lg \bar{N}_i$  и  $\lg \bar{N}_n$  – значения логарифмов долговечностей этих объектов по средневероятной кривой усталости.

Чтобы убедиться в справедливости зависимости (1), запишем формулу для дисперсии логарифма долговечности при количестве экспериментальных точек  $n = 2$ . Будем полагать, что эти точки равноудалены влево и вправо от среднего значения логарифма долговечности. В этом случае выражение для определения дисперсии  $S_{\lg N}^2$  будет иметь вид

**О ДВУХ ВАРИАНТАХ  
РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДО РАЗРУШЕНИЯ**

$$S_{\lg N}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lg N_i - \lg \bar{N})^2 = \frac{1}{2-1} \cdot 2 \cdot (\lg N_i - \lg \bar{N})^2 = 2 \cdot (\lg N_i - \lg \bar{N})^2. \quad (2)$$

Извлекая квадратный корень из обеих частей уравнения и принимая во внимание только положительное значение корня, получим

$$S_{\lg N} = \sqrt{2} \cdot (\lg N_i - \lg \bar{N}). \quad (3)$$

Поскольку среднеквадратическое отклонение зависит от объёма выборки, то уравнение (3) следует уточнить и записать в виде

$$S_{\lg N} = \sqrt{2} \cdot k \cdot (\lg N_i - \lg \bar{N}), \quad (4)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент [1].

Разделив левую и правую части этого уравнения на величину  $\lg \bar{N}$ , получим

$$\frac{S_{\lg N}}{\lg \bar{N}} = \sqrt{2} \cdot k \cdot \frac{\lg N_i - \lg \bar{N}}{\lg \bar{N}} = \gamma_{\lg N}, \quad (5)$$

где  $\gamma_{\lg N}$  – выборочный коэффициент вариации.

Таким образом, окончательно запишем

$$\frac{\lg N_i - \lg \bar{N}}{\lg \bar{N}} = \frac{\gamma_{\lg N}}{\sqrt{2} \cdot k} = const. \quad (6)$$

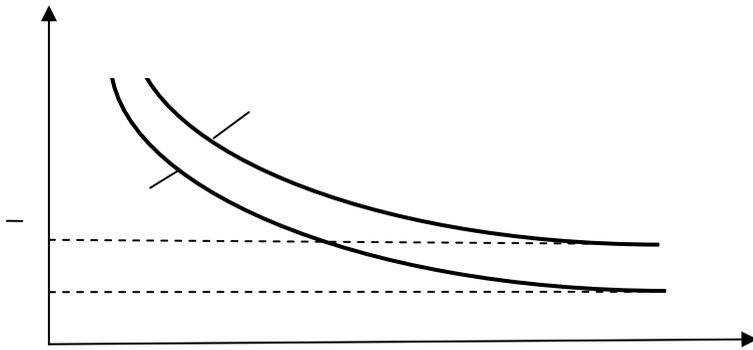
В полулогарифмических координатах (показательная модель) наклонные участки кривых усталости в широком диапазоне напряжений можно с достаточной степенью точности считать параллельными (см. рис. 1 б). Тем более такое утверждение справедливо, когда речь идёт об относительном расположении средневероятной и индивидуальной кривой усталости, пределы выносливости которых отличаются в худшем варианте на 20-30 МПа.

Таким образом, для этой модели кривой усталости коэффициент вариации логарифма долговечности до разрушения принимать постоянным нельзя.

Кривые усталости (средневероятная и индивидуальная), описанные уравнением Вейбулла и представленные в координатах  $\lg(\sigma - \sigma_R) - \lg N$  (рис. 1 в) можно принять параллельными. Такое допущение основано на многочисленных экспериментальных данных. Как и в предыдущем случае, необходимо иметь ввиду, что рассматриваются объекты (детали, модели и образцы) одной партии и отличие их долговечностей до разрушения обусловлено в основном технологией изготовления.

**О ДВУХ ВАРИАНТАХ  
РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДО РАЗРУШЕНИЯ**

Определённый интерес с точки зрения постоянства коэффициента вариации представляет относительное расположение индивидуальной и средневероятной кривой усталости в обычных координатах  $\sigma-N$  (рис.2).



*Рис. 2. Относительное расположение средневероятной (а) и индивидуальной (б) кривых усталости*

Если принять коэффициент вариации  $\gamma_N$  постоянным в диапазоне напряжений многоциклового усталости, то по аналогии с формулой (1) можно записать

$$\frac{N_1 - \bar{N}_1}{\bar{N}_1} = \frac{N_2 - \bar{N}_2}{\bar{N}_2} = \dots = \frac{N_i - \bar{N}_i}{\bar{N}_i} = \dots = \frac{N_n - \bar{N}_n}{\bar{N}_n} = const. \quad (7)$$

Чтобы оценить, насколько близки формулы (1) и (7) с точки зрения расчёта долговечностей на соответствующих уровнях напряжений, обратимся к статистическому моделированию, основанному на взаимосвязях между параметрами кривых усталости.

Зададим ряд значений предела выносливости в диапазоне  $\sigma_R = 100-500$  МПа и рассчитаем по ним параметры средневероятной кривой усталости по уравнениям [3]

$$m = f_C(\sigma_R) = a_C \sigma_R + b_C; \quad (8)$$

$$C = F_C(\sigma_R) = \alpha_C (m+1) \lg \sigma_R + \beta_C, \quad (9)$$

где  $a_C, b_C, \alpha_C, \beta_C$  – коэффициенты. Для объектов из углеродистых и легированных сталей принимают:  $a_C = 0,027$ ;  $b_C = 1,4$ ;  $\alpha_C = 0,997$ ;  $\beta_C = 4,0 + 0,5(2,5 - \lg \sigma_R)^2$ , при  $\lg \sigma_R \geq 2,5$   $\beta_C = 4,0$  (в среднем  $\beta_C = 4,25$ ).

По осреднённым статистическим данным можно принять, что пределы выносливости индивидуальных объектов максимально отлича-

**О ДВУХ ВАРИАНТАХ  
РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДО РАЗРУШЕНИЯ**

ются от средневероятных их значений на  $\pm 20$  МПа. Принимая для двух рассматриваемых случаев коэффициенты вариации постоянными, ( $\gamma_N = const.$  и  $\gamma_{lgN} = const.$ ), рассчитаем с помощью формул (1) и (7) долговечности при принятых напряжениях (через каждые 20 МПа) и определим их относительные погрешности (см. табл.).

*Таблица*

*Расчётные значения долговечностей до разрушения,  
найденные по формулам (1) и (7) и их относительные погрешности*

Но- мер п/п	Уровень напряже- ния $\sigma$ , МПа	Долговеч- ность по кривой усталости $N$ , цикл.	Долговечность индивидуального объекта $N_i$ , цикл. (при $\sigma'_R = \sigma_R - 20$ МПа)	Расчётная долговеч- ность $N_P^1$ , цикл.	Расчётная долговеч- ность $N_P^7$ , цикл.	Относит. отклонение $\delta$ , %
$\sigma_R = 100$ МПа; $m = 4,1$ ; $C = 14,2$						
1	180	89822	42004	–	–	–
2	160	145582		65923	68079	-3,2
3	140	251695		117702	109648	7,3
4	120	473540		221444	199986	10,7
$\sigma_R = 200$ МПа; $m = 6,8$ ; $C = 21,9$						
1	280	181688	95673	–	–	–
2	260	300733		158360	154170	2,7
3	240	518279		272914	257040	6,2
4	220	936539		493161	446684	10,4
$\sigma_R = 300$ МПа; $m = 9,5$ ; $C = 29,9$						
1	380	246636	153158	–	–	–
2	360	412217		255982	257040	-0,4
3	340	709497		440589	426580	3,3
4	320	1262046		783715	741310	5,7
$\sigma_R = 400$ МПа; $m = 12,2$ ; $C = 38,2$						
1	480	308217	213539	–	–	–
2	460	518029		358901	346737	3,5
3	440	890999		617302	602560	2,4
4	420	1571660		1088878	1047129	4,0
$\sigma_R = 500$ МПа; $m = 14,9$ ; $C = 46,8$						
1	580	421622	255057	–	–	–
2	560	711211		430242	426580	0,9
3	540	1222737		739685	724436	2,1
4	520	2145607		1297969	1230268	5,5

В приведенной таблице расчёты произведены практически для всего диапазона значений пределов выносливости реальных деталей. В каждом рассмотренном случае (для каждого из пределов выносливости)

**О ДВУХ ВАРИАНТАХ  
РАСЧЁТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДО РАЗРУШЕНИЯ**

---

---

охвачен почти полный интервал напряжений, соответствующий области многоциклового усталости. Кроме того, долговечности рассчитывались при максимальном отклонении предела выносливости ( $\sigma_R = \pm 20$  МПа).

Таким образом, приведенные расчёты позволяют сделать следующие выводы:

1. Формулы (1) и (7) примерно в одинаковой степени пригодны для расчёта долговечности индивидуальных объектов;
2. Относительные отклонения  $\delta$  в среднем составляют 4,1 %, а максимальное значение этой величины не превышает предела, допустимого для инженерных расчетов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Степнов М.Н. *Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник.* – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
2. Коноплев А.В., Кобаков А.Г., Олейник В.Н. *О соотношении рассеяния долговечности до разрушения с рассеянием предела выносливости // Проблемы техники.* – 2002. – № 1. – С. 86-91.
3. Олейник В.Н. *Построение наклонных ветвей кривых усталости // Изв. вузов. Машиностроение.* – 1979. – № 6. – С. 18-23.

Надійшла 12.10.09

## ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА

---

---

*Приведены основные характеристики судов, в которых заинтересован грузовладелец-фрахтователь, разработан алгоритм оценки степени соответствия судов, предлагаемых для выполнения перевозки, требованиям фрахтователя.*

*Наведено основні характеристики суден, у яких зацікавлений вантажовласник-фрахтувальник, розроблено алгоритм оцінки ступеню відповідності суден, які пропонуються для перевезення, вимогам фрахтувальника.*

*The most important for charterer vessels particulars are listed, the algorithm of the vessels satisfying charterers requirements is fulfilled.*

**Ключевые слова:** фрахтование судов, фрахтовая сделка, технико-эксплуатационные характеристики и архитектурно-конструктивные особенности судна, перевозка грузов морем

Транспортные условия внешнеторговых контрактов купли-продажи базисами поставки товара определяют сторону сделки (продавца или покупателя), которая несет ответственность за организацию и оплату доставки товара. При заключении сделок, предполагающих осуществление перевозки морским транспортом, к обязательствам одной из сторон входит поиск судна и заключение договора фрахтования.

Условия доставки грузов морем как элементы внешнеторгового контракта и комментарии к ним, изложены в ряде работ [1, 2, 3, 4], в которых также рассмотрены вопросы подготовки и заключения фрахтовых сделок. Среди необходимых предпосылок заключения фрахтовой сделки авторы указывают важность:

- соответствия временной и географической позиций судна месту и срокам отгрузки товара;
- полноты использования грузовых помещений;
- приспособленности судна для перевозки груза.

Такой подход в значительной степени отражает интересы судовладельца. Как известно, фрахтовая сделка заключается между судовладельцем и грузовладельцем-фрахтователем, а объектом фрахтования является судно. В то же время вопросу оценки степени соответствия судна технологическим и коммерческим особенностям предстоящей перевозки в названных работах уделено недостаточно внимания.

Как отмечалось, в соответствии с базисными условиями поставки товара, указанными во внешнеторговом контракте, ответственность за доставку товара несет одна из сторон сделки – продавец или покупатель. Их интересы относительно фрахтуемого судна отличаются от тех факторов, которые учитывает судовладелец при отфрахтовании тоннажа. Для грузовладельца-фрахтователя важны в первую очередь технико-эксплуатационные характеристики и архитектурно-конструктивные осо-

## ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА

---

---

бенности судна. Временная и географическая позиции являются своего рода подтверждением возможностей судна принять груз в порту отправления в необходимые сроки. Кроме того, защищая интересы судовладельца, некоторые чартерные формулировки не позволяют фрахтователю располагать точной информацией, например, относительно местонахождения судна.

Таким образом, тщательная оценка характеристик фрахтуемого судна имеет важное значение прежде всего для грузовладельца-фрахтователя, который несет ответственность за морскую доставку товара перед контрагентом по товарной сделке.

Целью статьи является разработка методических рекомендаций относительно состава и формирования перечня требований к судну-претенденту, а также оценки соответствия судна этим требованиям.

Содержащаяся во внешнеторговом контракте информация о товаре позволяет предварительно определить тип и дедвейтную группу судна.

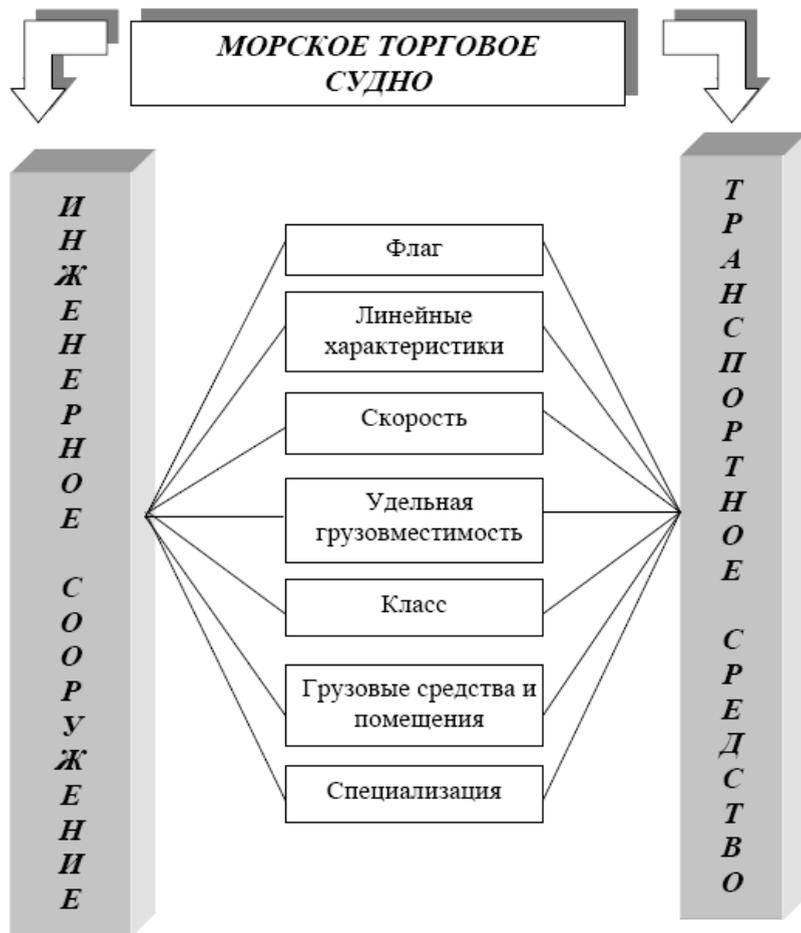
Тип судна, использование которого при перевозке будет целесообразным, определяется наименованием товара и его транспортными характеристиками. Следует отметить, что имеющийся в трамповом судоходстве тоннаж характеризуется разнообразием типов судов, что дает определенные возможности варьирования. Например, теоретически любое сухогрузное судно после оборудования питателями и шифтинг-бордсами можно использовать на перевозках навалочных грузов; для перевозки зерновых широко используются танкерные суда.

В свою очередь, дедвейтная группа судна определяется количественными условиями отгрузки товара (партионностью отправок или размером контрактной партии). На выбор дедвейтной группы существенное влияние оказывает также дальность перевозки, определяемая регионом назначения товара. На океанских направлениях наиболее конкурентоспособными являются, как правило, крупнотоннажные суда, в то время как на перевозках в пределах небольших морских бассейнов экономически оправданным является использование судов небольших размеров [5].

Таким образом, выбор судна фрахтователем по сути сводится к оценке возможностей судна осуществить необходимую перевозку. Наиболее важные для грузовладельца-фрахтователя характеристики судна как инженерного сооружения и транспортного средства, способного производить определенную транспортную продукцию, приведены на рис. 1.

Возраст судна характеризует его техническую пригодность для выполнения рейса и определенную гарантию сохранной доставки груза. В этом отношении возраст судна позволяет оценить состояние и степень износа несущих элементов и старение металла. Год постройки судна имеет значение и коммерческого характера: именно возрастом судна определяется, например, величина расходов грузовладельца на страхование груза. Кроме того, во многих портах мира существуют возрастные ограничения на заход судов.

## ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА



*Рис. 1. Критерии выбора судна грузовладельцем-фрахтователем*

Определенной гарантией технического состояния судна служит его класс, удостоверяющий соответствие судна требованиям, предъявляемым к его мореходности и прочности.

Линейные размерения судна, характеризующие его габариты как сооружения, определяют возможности прохождения судном магистральных каналов и проливов, захода в порты и постановки для выполнения грузовых работ к причалам.

Число и размеры трюмов и люков, типы люковых закрытий, подпалубные пространства, а также наличие собственных грузовых средств судна и их производственные параметры позволяют оценить возможность применения определенной технологии грузовых работ и удобство их выполнения, а также приспособленность судна к обработке в необорудованных местах.

## ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА

---

---

Скорость судна определяет приблизительное время доставки и, таким образом, позволяет оценить выполнение контрактных условий по срокам поставки. Помимо этого, продолжительность перевозки влияет на величину денежных средств грузовладельца, заключенных в товарах, изъятых из оборота на время транспортировки.

Удельная грузовместимость определяет приспособленность судна к перевозке груза и характеризует степень его использования по загрузке. Важность этой характеристики судна подтверждается тем, что она учитывает влияние параметров грузовых помещений (формы, размеры, внутри-трюмные конструктивные элементы) на использование грузовой вместимости судна и, следовательно, дает представление о конструктивном совершенстве грузовых помещений и их приспособленности для перевозки грузов [6].

Флаг определяет национальную принадлежность судна, превращая его в часть национальной территории соответствующего государства. В свою очередь, это влияет на возможности захода судна в различные порты. В ряде стран, как известно, существуют запреты на посещение портов судами под флагом некоторых государств. Важную роль может сыграть флаг судна и при страховании груза. Привлечение к доставке товара судна, «флаг которого не внушает доверия страховым компаниям», может привести к повышению процента страховой премии [4].

Специализация судов выражается в особенностях конструкции корпуса и грузовых помещений, наличии специфического оборудования и других технических параметров судна. Это имеет существенное значение, прежде всего, в тех случаях, когда для перевозки необходимо использование узкоспециализированного судна (рефрижератор, лесовоз, «ро-ро», судно для перевозки тяжеловесных грузов) или планируется применение определенной технологии грузовых работ, штивка или укладка груза.

Тщательная оценка соответствия характеристик предлагаемого судна требованиям фрахтователя, вытекающим из технологических и коммерческих особенностей доставки товара, является основной для принятия верного решения по привлечению тоннажа, эффективности доставки товара. Такая работа характеризуется сложностью, что объясняется необходимостью учета большого числа технологических особенностей и коммерческих условий доставки товара.

Отсутствие разработанных методов и четких рекомендаций касательно решения указанной задачи предопределяет важность формализации процесса оценки соответствия судна требованиям грузовладельца-фрахтователя. Исследование проблемы в единстве и взаимной связи отдельных элементов и операций, полученных в результате анализа и обобщения их в единое целое, позволяет формализовать процесс оценки соответствия судна условиям выполнения необходимой доставки и требованиям фрахтователя (рис. 2).

## ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА

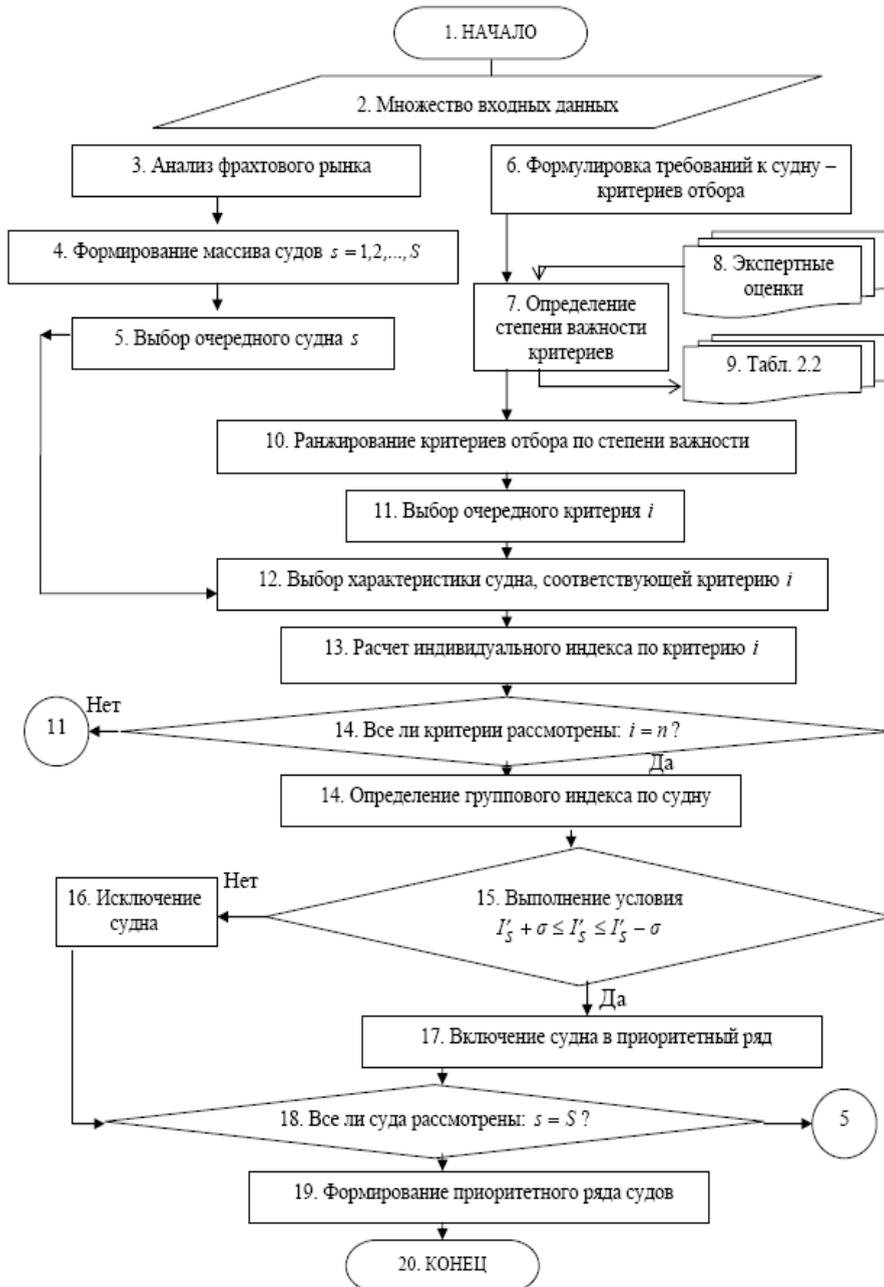


Рис. 2. Имитационная модель оценки соответствия судна особенностям перевозки груза

## ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА

Из предлагаемого на фрахтовом рынке свободного тоннажа осуществляется предварительный отбор судов. В первую очередь рассматриваются суда, временная и географическая позиции которых соответствуют месту и срокам отгрузки товара. Среди них выбираются суда необходимого типа и дедвейтной группы. Результатом такой работы является формирование массива судов-претендентов. Привлечение каждого из них для осуществления морской перевозки грузов потенциально отвечает интересам грузовладельца.

Одновременно составляется перечень требований к технико-эксплуатационным характеристикам и архитектурно-конструктивным особенностям судна - критерии отбора. Они выступают основой для оценки судов-претендентов и их последующего сравнения. Структурный состав критериев выбора судна и степень важности каждого из них для грузовладельца может изменяться в зависимости от сделки, конкретной ситуации, особенностей доставки товара, определенных обязательств и интересов фрахтователя.

Ранжирование критериев отбора судна выполняется следующим образом. Критерию отбора  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) каждым экспертом  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) присваивается оценка  $k_{ij}$ , например, по шкале ( $0 \div 10$ ). Она характеризует важность соответствия определенной характеристики судна-претендента предъявляемому требованию. Итоговое значение критерия отбора судна определяется суммированием оценок каждого эксперта (табл. 1).

Оценка характеристик судов-претендентов  $S$  ( $s = \overline{1, S}$ ) может осуществляться с помощью индексного метода. Степень соответствия характеристик судна  $S$  каждому из критериев выбора грузовладельца  $i$  оценивается индивидуальным индексом  $I_{si}$ , определяемым выражением (1)

$$I_{si} = \frac{\Psi_{si}}{\Psi_i}, \quad (1)$$

где  $\Psi_{si}$  – значение характеристики судна-претендента  $S$ , соответствующей критерию  $i$ ;

$\Psi_i$  – требуемое значение критерия  $i$ , которое принимается за базу сравнения.

Расчет индивидуальных индексов выполняется для каждой характеристики всех судов-претендентов (табл. 2).

**ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА  
ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА**

Таблица 1

Ранжирование критериев отбора судна

Эксперты	Критерии отбора судна						Итого
	1	2	...	$i$	...	$n$	
1	$\kappa_{11}$	$\kappa_{12}$	...	$\kappa_{1i}$	...	$\kappa_{1n}$	$\sum_{i=1}^n k_1 = 1$
2	$\kappa_{21}$	...	...	...	...	$\kappa_{2n}$	$\sum_{i=1}^n k_2 = 1$
...	...	...	...	...	...	...	...
$j$	$\kappa_{j1}$	$\kappa_{j2}$	...	$\kappa_{ji}$	...	$\kappa_{jn}$	$\sum_{i=1}^n k_j = 1$
...	...	...	...	...	...	...	...
$m$	$\kappa_{m1}$	$\kappa_{m2}$	...	$\kappa_{mi}$	...	$\kappa_{mn}$	$\sum_{i=1}^n k_m = 1$
Итого	$\sum_{j=1}^m k_1$	$\sum_{j=1}^m k_2$	...	$\sum_{j=1}^m k_i$	...	$\sum_{j=1}^m k_n$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_i =$ $\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n k_j$
Весомость	$q_1$	$q_2$	...	$q_i$	...	$q_n$	$\sum_{i=1}^n q_i = 1$

При выполнении таких расчетов важным является разделение требований грузовладельца-фрахтователя на имеющие определенную количественную величину и носящие качественный характер. Грузовладелец-фрахтователь может быть заинтересован в привлечении судна определенного возраста и скорости, требовать гарантий по осадке и другим линейным размерениям. В то же время, такие характеристики судна, как его класс и флаг, специализация и конструктивные особенности грузовых помещений не могут быть измерены количественно. Соответствие таких характеристик судна-претендента предъявляемым требованиям может быть оценено следующим образом:

$$\psi_{si} = \begin{cases} 1, & \text{если характеристика судна-претендента } S, \text{ соответствующая критерию отбора } i, \text{ отвечает интересам грузовладельца;} \\ 0 & \text{– в противном случае} \end{cases}$$

**ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА  
ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА**

Таблица 2

*Расчет индивидуальных индексов*

Критерий отбора	Значение (величина)		Индивидуальный индекс
	требуемое	претендент	
1	$\Psi_1$	$\Psi_{s1}$	$I_{s1}$
2	$\Psi_2$	$\Psi_{s2}$	$I_{s2}$
...	...	...	...
$i$	$\Psi_i$	$\Psi_{si}$	$I_{si}$
...	...	...	...
$n$	$\Psi_n$	$\Psi_{sn}$	$I_{sn}$

Результаты расчетов индивидуальных индексов являются базой для определения группового индекса. Такой индекс дает итоговую оценку степени соответствия судна-претендента требованиям грузовладельца.

Система весовых коэффициентов, используемая для определения группового индекса по судну, принимается с использованием данных табл. 1 в такой последовательности:

- присвоение итоговому значению оценок всех критериев экспертами 1

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_i = 1;$$

- определение весомости  $i$ -го критерия  $q_i$

$$q_i = \frac{\sum_{j=1}^m k_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k_i}.$$

Расчет группового индекса  $I'_S$  для итоговой оценки судна-претендента  $S$  выполняется методом определения среднего индекса из индивидуальных

$$I'_S = \frac{\sum_{i=1}^n I_{si} \cdot \Psi_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n \Psi_i \cdot q_i}, \quad (2)$$

где  $q_i$  – весомость  $i$ -й характеристики (критерия выбора).

## ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА

На следующем этапе судно включается в приоритетный ряд, но только при условии, что отклонение величины группового индекса от требуемого значения находится в пределах стандартного отклонения  $\sigma$ . Количественная величина такого отклонения не является постоянной величиной, его фактическое значение может изменяться под влиянием ряда факторов:

- заинтересованности грузовладельца в срочности подачи тоннажа под погрузку;
- временной и географической позиции рассматриваемого судна;
- конъюнктуры фрахтового рынка (спроса на транспортные услуги и предложения судов);
- возможности согласования выгодных чартерных условий и формулировок отдельных статей;
- величины фрахта, который является расходами грузовладельца на морскую доставку товара.

На основании групповых индексов, вычисленных по формуле (2), строится приоритетный ряд судов-претендентов, в котором суда располагаются по мере уменьшения величин индексов

$$I'_1 \geq I'_2 \geq \dots \geq I'_s \geq \dots \geq I'_S. \quad (3)$$

Последовательность рассмотрения судов зависит от величины группового индекса судна, т.е. оценивается судно с наибольшим значением индекса и далее по степени его уменьшения.

Таким образом, изложенный подход позволяет:

- установить и систематизировать параметры и характеристики судна, в которых заинтересован фрахтователь, принимая решение о привлечении трампового тоннажа для морской доставки товара;
- формализовать процесс оценки степени соответствия характеристик судна требованиям фрахтователя с учетом технологических особенностей и коммерческих условий доставки товара;
- принимать обоснованные решения по одному из наиболее важных этапов организации морской перевозки груза – фрахтованию судна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рылов С.И., Горшков Я.А. *Фрахтование морских судов: Учебное пособие.* – Одесса: ОГМУ, 1999. – 174 с.
2. Бабкин Е.В., Мартынов А.Л. *Международные фрахтовые и транспортные операции.* – СПб.: СПГУВК, 2002. – 204 с.
3. Плужников К.И. *Транспортное экспедирование: Учебник.* – М.: Росконсульт, 1999. – 576 с.

**ОЦЕНКА ФРАХТОВАТЕЛЕМ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ СУДНА  
ОСОБЕННОСТЯМ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗА**

---

---

4. Забелин В.Г. *Фрахтовые операции во внешней торговле: Учебное пособие.* – М.: РосКонсульт, 2000. – 256 с.
5. Панарин П.Я. *Управление работой морского флота.* – Одесса: ОГМУ, 2001. – 213 с.
6. Союзов А.А., Панарин П.Я. *К вопросу о критериях эксплуатационной оценки универсальных сухогрузных судов // Экономика и эксплуатация морского транспорта: Сб. научн. трудов.* – Одесса: ОИИМФ. – 1969. – № 6. – С. 3-7.

Надійшла 20.10.09

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

---

*Проведен анализ методов выделения регулярной составляющей дискретного и непрерывного вибрационного сигнала, сравнение оценок ошибок с применением компонентного метода и метода наименьших квадратов.*

*Проведено аналіз методів виділення регулярної складової дискретного та неперервного вібраційного сигналу, порівняння оцінок помилок з використанням компонентного метода та метода найменших квадратів.*

*Dissected methods of regular component discharge of discrete and persistent vibratory signal, comparison assessment of mistakes with application of component method and least-squares method.*

**Ключевые слова:** *вибрационный сигнал, метод наименьших квадратов, компонентный метод, дискретизация.*

В работе [1] задача выделения периодической регулярной составляющей вибрационного сигнала была рассмотрена для непрерывного сигнала. Однако трудности выполнения интегрирования в аналоговой форме при значительных длинах реализаций, необходимость использования ЭВМ, невозможность получить непрерывные записи данных, обуславливает важность исследования статистических свойств оценок вероятностных характеристик в дискретные моменты времени. Отсчеты непрерывных случайных процессов называют выборкой, а статистики, образованные на основе дискретного способа усреднения – выборочными оценками [2]. Одним из важнейших вопросов, который возникает при исследовании дискретных оценок, является возможность уменьшения вычислительных операций без существенного ухудшения точности и разработка рекомендации по выбору интервала дискретизации сигнала. При построении оценок характеристик вибрационного сигнала в данной работе будем использовать представления:

$$\xi(nh) = \eta(nh) + g(nh), \quad n = \overline{0, K},$$

где  $\eta(nh)$  и  $g(nh)$ , соответственно, является дискретными значениями случайного процесса и почти периодической функции,  $h = \frac{\theta}{K}$ , шаг дискретизации ( $\theta$  – длина отрезка реализации,  $K$  – некоторое целое число). При этом

$$g(nh) = \sum_{k=-L}^L c_k c^{i\omega_k nh} = a_0 + \sum_{k=1}^L (a_k \cos(\omega_k nh) + b_k \sin(\omega_k nh)),$$

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

---

где  $c_0 = a_0$ ,  $c_k = \frac{1}{2}(a_k - ib_k)$ ,  $a_k$  и  $b_k$  – коэффициенты Фурье почти периодической функции  $g(t)$ .

Дискретные оценки коэффициентов  $c_k$  образуем, заменяя интегралы

$$\hat{c}_k = \frac{1}{\theta} \int_0^{\theta} \xi(t) e^{-i\omega_k t} dt$$

соответствующими интегральными суммами, а именно

$$\hat{c}_k = \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) e^{-i\omega_k nh} \quad (1)$$

Допуская, что математическое ожидание  $m_\eta = E\eta(nh)$  равняется нулю, получаем

$$E\hat{c}_k = \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} g(nh) e^{-i\omega_k nh} = \sum_{l=-L}^L c_l \left[ \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} e^{i(\omega_l - \omega_k)nh} \right] = c_k + \sum_{\substack{l=-L, \\ l \neq k}}^L c_l \left[ \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} e^{i(\omega_l - \omega_k)nh} \right]$$

Предположим, что среди множества частот  $\omega_l$  не существуют таких, что  $\omega_l - \omega_k = M \frac{2\pi}{h}$ , где  $M$  – произвольное целое число. Воспользовавшись формулой для суммы геометрической прогрессии, находим

$$\begin{aligned} S_K [(\omega_l - \omega_k)h] &= \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} e^{i(\omega_l - \omega_k)nh} = \frac{e^{i(\omega_l - \omega_k)Kh} - 1}{e^{i(\omega_l - \omega_k)h} - 1} = \\ &= \frac{e^{\frac{i(\omega_l - \omega_k)K}{2}h} \left( e^{\frac{i(\omega_l - \omega_k)K}{2}h} - e^{-\frac{i(\omega_l - \omega_k)K}{2}h} \right)}{e^{\frac{i(\omega_l - \omega_k)h}{2}} \left( e^{\frac{i(\omega_l - \omega_k)h}{2}} - e^{-\frac{i(\omega_l - \omega_k)h}{2}} \right)} = e^{i(\omega_l - \omega_k)(K-1)\frac{h}{2}} \frac{\sin\left(\frac{(\omega_l - \omega_k)h}{2}K\right)}{K \sin\left(\frac{(\omega_l - \omega_k)h}{2}\right)}, \end{aligned}$$

и тогда

$$E\hat{c}_k = c_k + \sum_{l=-L}^L c_l S_K \left[ (\omega_l - \omega_k) \frac{h}{2} \right].$$

Функция  $S_K \left[ (\omega_l - \omega_k) \frac{h}{2} \right]$  является количественной характеристикой эффекта пропитки при дискретном оценивании.

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Ситуация изменяется, если среди частот гармонических составляющих  $\omega_l, l = \overline{0, L}$ , есть такие, для которых разность  $\omega_k - \omega_l = \frac{2\pi}{h}$ , то есть  $\omega_l - \omega_k = M \frac{2\pi}{h}$ ,  $M$  – произвольное целое число. Обозначим подмножество таких частот как  $Q$ . Тогда

$$E\hat{c}_k = c_k + \sum_{q \in Q} c_q + \sum_{\substack{l=-L, \\ k \neq l, l \notin Q}}^L c_l S_k \left[ (\omega_l - \omega_k) \frac{h}{2} \right].$$

В этом случае к значениям амплитуд составляющих с частотами  $\omega_k$  добавляются амплитуды с частотами  $\omega_q$ . Такое явление имеет название эффекта наложения. От него можно избавиться, согласовав шаг дискретизации с большей частотой этой разницы таким образом, чтобы равенство  $\omega_l = \pm \omega_k + M \frac{2\pi}{h}$  выполнялась только для  $M = 0$ . Из рис.1 видно, что должно выполняться неравенство  $\frac{2\pi}{h} > 2\omega_l$ , или  $h < \frac{\pi}{\omega_l}$ . В общем случае неравенство принимает вид  $h < \frac{\pi}{\omega_{\max}}$ , где  $\omega_{\max}$  – максимальная частота почти периодической функции.

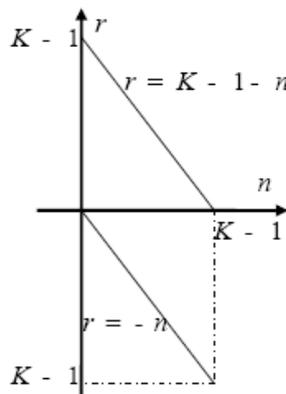


Рис. 1. Выбор шага дискретизации

Например, если  $g(t) = a_1 \cos(\omega_1 t) + a_2 \cos(\omega_2 t)$ , то дискретные оценки амплитуд  $a_1, a_2$  имеют вид

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

$$\hat{a}_1 = \frac{2}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) \cos(\omega_1 nh),$$

$$\hat{a}_2 = \frac{2}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) \cos(\omega_2 nh),$$

отсюда

$$E\hat{a}_1 = \frac{2}{K} \sum_{n=0}^{K-1} g(nh) \cos(\omega_1 nh) = \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \left[ a_1 (1 + \cos 2\omega_1 nh + \right. \\ \left. + a_2 (\cos(\omega_1 + \omega_2)nh + \cos(\omega_1 - \omega_2)nh) \right] = \\ = a_1 + a_1 \left[ \frac{1}{2K} \sum_{n=0}^{K-1} (e^{i2\omega_1 nh} + e^{-i2\omega_1 nh}) \right] + a_2 \left[ \frac{1}{2K} \sum_{n=0}^{K-1} \left( e^{i(\omega_1 + \omega_2)nh} + e^{-i(\omega_1 + \omega_2)nh} + \right. \right. \\ \left. \left. + e^{i(\omega_1 - \omega_2)nh} + e^{-i(\omega_1 - \omega_2)nh} \right) \right].$$

Допустим, что  $\omega_1 > \omega_2$ . Тогда наложение будет отсутствовать при выполнении неравенства  $h < \frac{\pi}{\omega_1}$ . В этом случае систематическая погрешность оценивания определяется так:

$$E\hat{a}_1 = a_1 + \frac{a_1}{2} [S_K(2\omega_1 h) + S_K(-2\omega_1 h)] + \\ + \frac{a_2}{2} [S_K((\omega_1 + \omega_2)h) + S_K(-(\omega_1 + \omega_2)h) + S_K((\omega_1 - \omega_2)h) + S_K(-(\omega_1 - \omega_2)h)].$$

Аналогичный вывод можно сделать из анализа формулы для математического ожидания оценки (1). Для него при  $h < \frac{\pi}{\omega_1}$

$$E\hat{a}_2 = a_2 + \frac{a_2}{2} [S_K(2\omega_2 h) + S_K(-2\omega_2 h)] + \\ + \frac{a_1}{2} [S_K((\omega_1 + \omega_2)h) + S_K(-(\omega_1 + \omega_2)h) + S_K((\omega_1 - \omega_2)h) + S_K(-(\omega_1 - \omega_2)h)].$$

Для дисперсии оценки (1) находим

$$DC_k = E|\hat{c}_k - E\hat{c}_k|^2 = E \left| \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) e^{-i\omega_k nh} - \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} g(nh) e^{-i\omega_k nh} \right|^2 = \\ = E \left| \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) e^{-i\omega_k nh} \right|^2 = \frac{1}{K^2} \sum_{n=0}^{K-1} b(nh, (m-n)h) e^{i\omega_k (n-m)h}. \quad (2)$$

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

---

В последнем выражении сделаем замену индекса суммирования, а именно вместо  $m$  введем  $r = m - n$ . Тогда

$$D\hat{c}_k = \frac{1}{K^2} \sum_{n=0}^{K-1} \sum_{r=-n}^{K-n-1} b(nh, rh) e^{i\omega_k rh}.$$

Сделаем теперь изменение порядка суммирования (рис. 2)

$$D\hat{c}_k = \frac{1}{K^2} \sum_{r=-n=0}^0 \sum_{n=r}^{K-1} b(nh, rh) e^{i\omega_k rh} + \frac{1}{K^2} \sum_{r=1}^{K-n-1} \sum_{n=0}^{K-1} b(nh, rh) e^{i\omega_k rh}.$$

В первой составляющей, которую обозначим  $D^{(1)}\hat{c}_k$ , сделаем замену  $s = -r$  и воспользуемся свойством  $b(nh, -sh) = b((n-s)h, sh)$

$$D^{(1)}\hat{c}_k = \frac{1}{K^2} \sum_{s=0}^{K-1} \sum_{n=s}^{K-1} b(nh, -sh) e^{-i\omega_k sh} = \frac{1}{K^2} \sum_{s=0}^{K-1} \sum_{n=s}^{K-1} b((n-s)h, sh) e^{i\omega_k sh}.$$

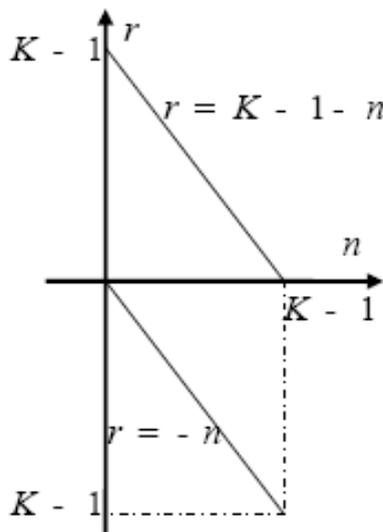


Рис. 2. Изменение порядка суммирования

После очередной замены  $p = n - s$  имеем

$$D^{(1)}\hat{c}_k = \frac{1}{K^2} \sum_{s=0}^{K-1} \sum_{p=0}^{K-s-1} b(ph, sh) e^{i\omega_k sh}.$$

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Выделив в последнем выражении составляющую  $s = 0$ , для дисперсии (2) находим

$$D[\hat{c}_k] = \frac{1}{K} \left[ \frac{1}{K} \sum_{r=1}^{K-1} b(ph, 0) + 2 \sum_{r=1}^{K-1} \cos \omega_k rh \left[ \frac{1}{K} \sum_{p=0}^{K-r-1} b(ph, rh) \right] \right]. \quad (3)$$

Если процесс является стационарным с корреляционной функцией  $R_\eta(u)$ , то

$$\frac{1}{K} \sum_{p=0}^{K-1} b(ph, 0) = \frac{1}{K} \sum_{p=0}^{K-1} R_\eta(0) = R_\eta(0),$$

$$\frac{1}{K} \sum_{p=0}^{K-r-1} b(ph, rh) = \frac{1}{K} \sum_{p=0}^{K-1} R_\eta(rh) = \left(1 - \frac{r}{K}\right) R_\eta(rh),$$

и тогда

$$D\hat{c}_k = \frac{1}{K} \left[ R_\eta(0) + 2 \sum_{r=1}^{K-1} \left(1 - \frac{r}{K}\right) R_\eta(rh) \cos(\omega_k rh) \right]. \quad (4)$$

Как видно, дисперсии оценок разных амплитуд  $c_k$  отличаются только частотой косинусной весовой функции.

Из соотношений (3) – (4) вытекает, что среднеквадратичная погрешность оценивания компонентов  $\hat{c}_k$  стремится к нулю с увеличением числа выборки  $K$  при условии затухания корреляционных связей процесса с увеличением сдвига. Конкретные числовые погрешности могут быть получены для определенных аппроксимаций корреляционных функций. В этом случае так же могут быть проанализированы ее зависимости от длины отрезка реализации и шага дискретизации и на этом основании обоснован выбор шага дискретизации  $h$ .

Рассмотрим теперь развитие результатов [1], свойства дискретных оценок амплитуд, которые определяются с помощью метода наименьших квадратов. Для упрощения анализа остановимся на простой модели, когда

$$g(t) = a_1 \cos(\omega_1 t) + a_2 \cos(\omega_2 t).$$

Дискретные оценки амплитуд  $a_1$  и  $a_2$  находим по минимуму функционала

$$F(\hat{a}_1, \hat{a}_2) = \sum_{n=0}^{K-1} [\xi(nh) - \hat{a}_1 \cos(\omega_1 nh) - \hat{a}_2 \cos(\omega_2 nh)]^2.$$

Поскольку

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(\hat{a}_1, \hat{a}_2)}{\partial \hat{a}_1} &= 2 \sum_{n=0}^{K-1} [\xi(nh) - \hat{a}_1 \cos(\omega_1 nh) - \hat{a}_2 \cos(\omega_2 nh)] (-\cos(\omega_1 nh)) = \\ &= -2 \sum_{n=0}^{K-1} [\xi(nh) \cos(\omega_1 nh) - \hat{a}_1 \cos^2(\omega_1 nh) - \hat{a}_2 \cos(\omega_2 nh) \cos(\omega_1 nh)], \end{aligned}$$

$$\frac{\partial F(\hat{a}_1, \hat{a}_2)}{\partial \hat{a}_2} = -2 \sum_{n=0}^{K-1} [\xi(nh) \cos(\omega_2 nh) - \hat{a}_2 \cos^2(\omega_2 nh) - \hat{a}_1 \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_2 nh)],$$

то система уравнений, решениями которой являются оценки  $\hat{a}_1, \hat{a}_2$ , имеет вид

$$\begin{cases} \hat{a}_1 \tilde{c}_{11} + \hat{a}_2 \tilde{c}_{12} = \tilde{m}_1 \\ \hat{a}_1 \tilde{c}_{21} + \hat{a}_2 \tilde{c}_{22} = \tilde{m}_2 \end{cases} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{c}_{11} &= \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \cos^2 \omega_1 nh = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \cos 2\omega_1 nh \right) = \\ &= \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{1}{2} [S_K(2\omega_1 nh) + S_K(-2\omega_1 nh)] \right], \\ \tilde{c}_{12} = \tilde{c}_{21} &= \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \cos \omega_1 nh \cos \omega_2 nh = \\ &= \frac{1}{4} \left[ S_K((\omega_1 + \omega_2)nh) + S_K(-(\omega_1 + \omega_2)nh) + \right. \\ &\quad \left. + S_K((\omega_1 - \omega_2)nh) + S_K(-(\omega_1 - \omega_2)nh) \right], \\ \tilde{c}_{22} &= \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \cos^2 \omega_2 nh = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \cos 2\omega_2 nh \right) = \\ &= \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{1}{2} [S_K(2\omega_2 nh) + S_K(-2\omega_2 nh)] \right], \end{aligned}$$

а также

$$\begin{aligned} \tilde{m}_1 &= \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \eta(nh) \cos \omega_1 nh, \\ \tilde{m}_2 &= \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \eta(nh) \cos \omega_2 nh, \end{aligned}$$

Определитель системы уравнений (5)

$$D = \tilde{c}_{11} \tilde{c}_{22} - \tilde{c}_{12}^2.$$

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Если  $D \neq 0$ , то (5) является системой уравнений Крамера и имеет только одно решение. Выше приведено, что условие отсутствия наложения является достаточным для того, чтобы  $D \neq 0$ . Тогда

$$\hat{a}_1 = \frac{1}{D} [\tilde{m}_1 \tilde{c}_{22} - \tilde{m}_2 \tilde{c}_{12}] \quad (6)$$

$$\hat{a}_2 = \frac{1}{D} [\tilde{m}_2 \tilde{c}_{11} - \tilde{m}_1 \tilde{c}_{12}]. \quad (7)$$

Для математических ожиданий оценок (6) – (7) находим

$$E\hat{a}_1 = \frac{1}{D} [\tilde{c}_{22}(a_1 \tilde{c}_{11} + a_2 \tilde{c}_{12}) - \tilde{c}_{12}(a_1 \tilde{c}_{12} + a_2 \tilde{c}_{22})] = a_1,$$

$$E\hat{a}_2 = \frac{1}{D} [\tilde{c}_{11}(a_1 \tilde{c}_{12} + a_2 \tilde{c}_{22}) - \tilde{c}_{12}(a_1 \tilde{c}_{11} + a_2 \tilde{c}_{12})] = a_2.$$

Таким образом, оценки (6) – (7), как в непрерывном случае, являются несмещенными. Вычислим теперь их дисперсии. Имеем

$$\begin{aligned} D\hat{a}_1 &= \frac{1}{D^2} E |(\tilde{m}_1 - E\tilde{m}_1)\tilde{c}_{22} - (\tilde{m}_2 - E\tilde{m}_2)\tilde{c}_{12}|^2 = \\ &= \frac{1}{D^2} E \left| \frac{\tilde{c}_{22}}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) \cos \omega_1 nh - \frac{\tilde{c}_{12}}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) \cos \omega_2 nh \right|^2 = \\ &= \frac{1}{D^2} E \left| \tilde{c}_{22}^2 D_{\tilde{m}_1} - 2R_{\tilde{m}_1 \tilde{m}_2} \tilde{c}_{22} \tilde{c}_{12} + \tilde{c}_{12}^2 D_{\tilde{m}_2} \right|^2, \\ D\hat{a}_2 &= \frac{1}{D^2} E |(\tilde{m}_2 - E\tilde{m}_2)\tilde{c}_{11} - (\tilde{m}_1 - E\tilde{m}_1)\tilde{c}_{12}|^2 = \\ &= \frac{1}{D^2} E \left| \frac{\tilde{c}_{11}}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) \cos \omega_2 nh - \frac{\tilde{c}_{12}}{K} \sum_{n=0}^{K-1} \xi(nh) \cos \omega_1 nh \right|^2 = \\ &= \frac{1}{D^2} E \left| \tilde{c}_{11}^2 D_{\tilde{m}_2} - 2R_{\tilde{m}_1 \tilde{m}_2} \tilde{c}_{11} \tilde{c}_{12} + \tilde{c}_{12}^2 D_{\tilde{m}_1} \right|^2, \end{aligned}$$

где

$$D_{\tilde{m}_1} = \frac{1}{K^2} \sum_{m,n=0}^{K-1} b(nh, (m-n)h) \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_1 mh),$$

$$D_{\tilde{m}_2} = \frac{1}{K^2} \sum_{m,n=0}^{K-1} b(nh, (m-n)h) \cos(\omega_2 nh) \cos(\omega_2 mh),$$

$$R_{\tilde{m}_1 \tilde{m}_2} = \frac{1}{K^2} \sum_{m,n=0}^{K-1} b(nh, (m-n)h) \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_2 mh).$$

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

---

Для дисперсии  $D_{\tilde{m}_1}$  после замены  $r = m - n$  и изменения порядка суммирования получаем

$$\begin{aligned} D_{\tilde{m}_1} &= \frac{1}{K^2} \sum_{n=0}^{K-1} \sum_{r=-n}^{K-n-1} b(nh, rh) \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_1 [r+n]h) = \\ &= \frac{1}{K^2} \sum_{r=-K+1}^0 \sum_{n=-r}^{K-1} b(nh, rh) \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_1 [r+n]h) + \\ &+ \frac{1}{K^2} \sum_{r=1}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-n-1} b(nh, rh) \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_1 [r+n]h). \end{aligned} \quad (8)$$

Первую составляющую этого выражения, используя свойство  $b(nh, -rh) = b((n-r)h, rh)$ , перепишем в виде

$$\begin{aligned} &\sum_{r=-K+1}^0 \sum_{n=-r}^{K-1} b(nh, rh) \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_1 [r+n]h) = \\ &= \sum_{r=-K+1}^0 \sum_{n=r}^{K-1} b(nh, -rh) \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_1 [r-n]h) = \\ &= \sum_{r=0}^{K-1} \sum_{n=r}^{K-1} b((n-r)h, rh) \cos(\omega_1 nh) \cos(\omega_1 [r-n]h) = \\ &= \sum_{r=0}^{K-1} \sum_{p=0}^{K-1} b(ph, rh) \cos(\omega_1 (p+r)h) \cos(\omega_1 ph). \end{aligned}$$

Таким образом, первая сумма соотношения (8), если изъять из нее составляющую с индексом, совпадает со второй суммой. Поэтому

$$\begin{aligned} D_{\tilde{m}_1} &= \frac{1}{K^2} \sum_{n=0}^{K-1} b(nh, 0) \cos^2 \omega_1 nh + \\ &+ \frac{2}{K^2} \sum_{r=1}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-r-1} b(nh, rh) \cos \omega_1 nh \cos \omega_1 (n+r)h = \\ &= \frac{1}{2K^2} \left[ \sum_{n=0}^{K-1} b(nh, 0) (1 + \cos 2\omega_1 nh) + \right. \\ &\left. + 2 \sum_{r=1}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-r-1} b(nh, rh) [\cos 2\omega_1 rh + \cos \omega_1 (2n+r)h] \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Аналогично

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

---

$$D_{\tilde{m}_2} = \frac{1}{2K^2} \left[ \sum_{n=0}^{K-1} b(nh, 0)(1 + \cos 2\omega_2 nh) + \right. \\ \left. + 2 \sum_{r=1}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-r-1} b(nh, rh) [\cos 2\omega_2 rh + \cos \omega_2 (2n+r)h] \right]. \quad (10)$$

Превратив подобным способом выражение для корреляции  $R_{\tilde{m}_1 \tilde{m}_2}$ , получаем

$$R_{\tilde{m}_1 \tilde{m}_2} = \frac{1}{K^2} \sum_{n=0}^{K-1} \sum_{r=-n}^{K-n-1} b(nh, rh) \cos \omega_1 rh \cos \omega_2 (n+r)h = \\ = \frac{1}{K^2} \sum_{r=-K+1}^0 \sum_{n=-r}^{K-1} b(nh, rh) \cos \omega_1 nh \cos \omega_2 (n+r)h + \\ + \frac{1}{K^2} \sum_{r=1}^{K-1} \sum_{n=-r}^{K-r-1} b(nh, rh) \cos \omega_1 nh \cos \omega_2 (n+r)h = \quad (11) \\ = \frac{1}{K^2} \sum_{n=0}^{K-1} b(nh, 0) \cos \omega_1 nh \cos \omega_2 nh + \\ + \frac{1}{K^2} \sum_{r=1}^{K-1} \sum_{n=-r}^{K-r-1} b(nh, rh) [\cos \omega_1 (n+r)h \cos \omega_2 nh + \cos \omega_1 nh \cos \omega_2 (n+r)h]$$

Легко видеть, что при  $\theta \rightarrow 0$ ,  $K \rightarrow \infty$  и

$$h \rightarrow 0, D \rightarrow \frac{1}{4}, \tilde{c}_{11} \rightarrow \frac{1}{2}, \tilde{c}_{22} \rightarrow \frac{1}{2}, \tilde{c}_{12} \rightarrow 0, \tilde{c}_{21} \rightarrow 0,$$

вытекает, что в асимптотике  $D\hat{a}_1 = 4D_{\tilde{m}_1}$ ,  $D\hat{a}_2 = 4D_{\tilde{m}_2}$ . Выражения (9) (11) значительно упрощаются, если  $\eta(t)$  – стационарный случайный процесс.

Тогда  $b(nh, rh) = R_\eta(rh)$  и

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

$$\begin{aligned}
 D_{\bar{m}_1} &= \frac{1}{2K^2} \left[ \sum_{n=0}^{K-1} R_{\eta}(0)(1 + \cos 2\omega_1 nh) + \right. \\
 &+ 2 \sum_{r=1}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-r-1} R_{\eta}(rh) [\cos \omega_1 rh + \cos \omega_1 (2n+r)h] = \\
 &= \frac{1}{2K} \left[ R_{\eta}(0) \left[ 1 + \frac{1}{2} (S_K(2\omega_1 h) + S_K(-2\omega_1 h)) \right] + 2 \sum_{r=1}^{K-1} \left[ \left( 1 - \frac{r}{K} \right) R_{\eta}(rh) \cos \omega_1 rh + \right. \right. \\
 &+ \left. \left. R_{\eta}(rh) [\cos(\omega_1 rh) \tilde{f}_{2\omega_1}^c(0, K-r-1) + \sin(\omega_1 rh) \tilde{f}_{2\omega_1}^s(0, K-r-1)] \right] \right]
 \end{aligned} \tag{12}$$

Где

$$\begin{aligned}
 \tilde{f}_{2\omega_1}^c(0, K-r-1) &= \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-r-1} \cos 2\omega_1 nh, \\
 \tilde{f}_{2\omega_1}^s(0, K-r-1) &= \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{K-r-1} \sin 2\omega_1 nh.
 \end{aligned} \tag{13}$$

Таким образом

$$\begin{aligned}
 D_{\bar{m}_2} &= \frac{1}{2K} \left[ R_{\eta}(0) \left[ 1 + \frac{1}{2} (S_K(2\omega_2 h) + S_K(-2\omega_2 h)) \right] + 2 \sum_{r=1}^{K-1} \left[ \left( 1 - \frac{r}{K} \right) R_{\eta}(rh) \cos \omega_2 rh + \right. \right. \\
 &+ \left. \left. R_{\eta}(rh) [\cos(\omega_2 rh) \tilde{f}_{2\omega_2}^c(0, K-r-1) + \sin(\omega_2 rh) \tilde{f}_{2\omega_2}^s(0, K-r-1)] \right] \right]
 \end{aligned}$$

Для корреляций  $R_{\bar{m}_1, \bar{m}_2}$  на основе соотношения (11) находим

$$\begin{aligned}
 R_{\bar{m}_1, \bar{m}_2} &= \frac{1}{2K^2} \left\{ \sum_{n=0}^{K-1} R_{\eta}(0) \cos \omega_1 nh \cos \omega_2 nh + \right. \\
 &+ \left. \sum_{r=1}^{K-1} \sum_{n=-r}^{K-r-1} R_{\eta}(rh) \left[ \begin{aligned} &\cos((\omega_1 + \omega_2)nh + \omega_1 rh) + \cos((\omega_1 - \omega_2)nh + \omega_1 rh) + \\ &+ \cos((\omega_1 + \omega_2)nh + \omega_2 rh) + \cos((\omega_2 - \omega_1)nh + \omega_2 rh) \end{aligned} \right] \right\} = \\
 &= \frac{1}{2K} \left\{ \frac{R_{\eta}(0)}{2} \left[ S_K((\omega_1 + \omega_2)h) + S_K(-(\omega_1 + \omega_2)h) + \right. \right. \\
 &\left. \left. + S_K((\omega_1 - \omega_2)h) + S_K((\omega_2 + \omega_1)h) \right] + \right. \\
 &+ \left. \sum_{r=1}^{K-1} R_{\eta}(rh) \left[ \begin{aligned} &(\cos \omega_1 rh + \cos \omega_2 rh) \tilde{f}_{\omega_1 + \omega_2}^c(0, K-r-1) + \\ &+ (\cos \omega_1 rh + \cos \omega_2 rh) \tilde{f}_{\omega_1 - \omega_2}^c(0, K-r-1) + \\ &+ (\sin \omega_1 rh - \sin \omega_2 rh) \tilde{f}_{\omega_2 - \omega_1}^s(0, K-r-1) - \\ &- (\sin \omega_1 rh + \sin \omega_2 rh) \tilde{f}_{\omega_1 + \omega_2}^s(0, K-r-1) \end{aligned} \right] \right\}.
 \end{aligned} \tag{14}$$

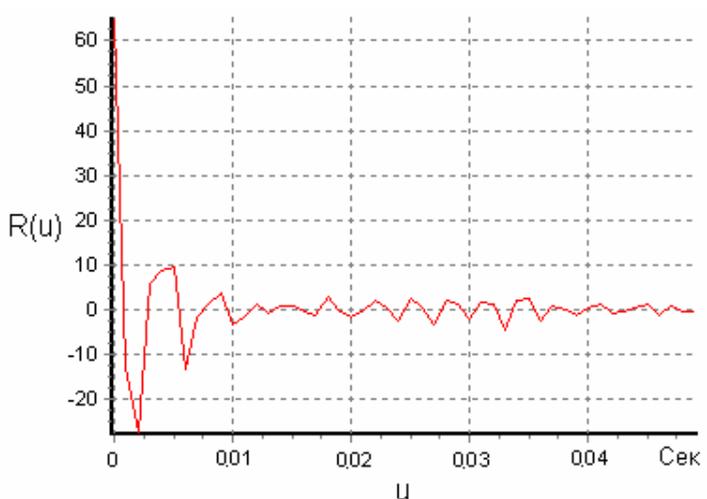
**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Формулы (12)-(14) являются основой для выбора величины шага дискретизации. Проводя вычисление для конкретных аппроксимаций  $R_\eta(u)$ , и сравнивая их с результатами оценки непрерывного сигнала, следует подбирать такой шаг  $h$ , при котором погрешности при дискретном и непрерывном оценивании будут мало отличаться, и в то же время такой шаг не будет приводить к значительному увеличению времени вычисления оценок.

Проведем вычисление величин (12)-(14) для тестового сигнала с корреляционной функцией случайной составляющей в форме

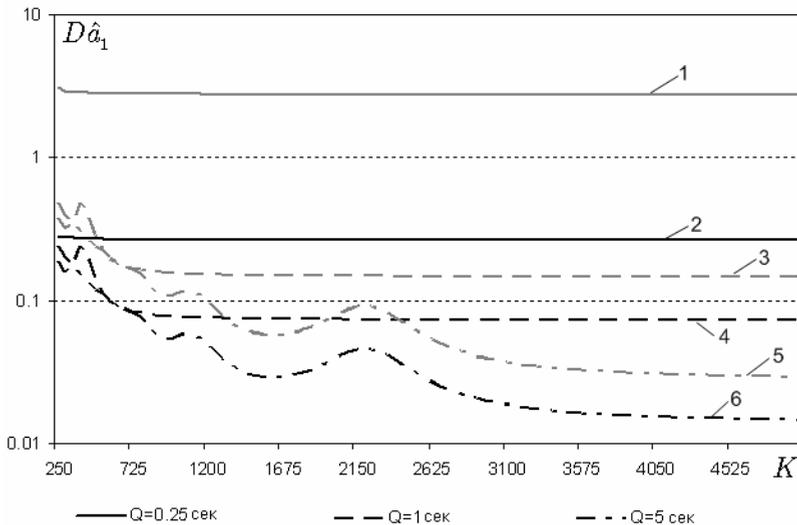
$$R_\eta(u) = De^{-\alpha|u|} \cos(\beta u).$$

Выберем параметры корреляционной функции случайного остатка такими что  $D = 60$ ,  $\alpha = 420 \text{сек}^{-1}$ ,  $\beta = 0,26 \text{сек}^{-1}$ . Именно такие параметры имеет корреляционная функция (рис. 3.) вибрационного сигнала редуктора портового крана “Сокол” [3]. В качестве тестовых частот выберем следующие  $\omega_1 = 185,1 \text{ Гц}$ ,  $m_1 = 3,2$  и  $\omega_2 = 185,6 \text{ Гц}$ ,  $m_2 = 4,9$ , которые присутствуют в регулярной составляющей процесса, и являются соседними.



*Рис. 3. Оценка корреляционной функции в стационарном приближении случайной составляющей вибрационного сигнала редуктора портового крана “Сокол”*

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**



*Рис. 4. Дисперсия оценки компонент математического ожидания тестового сигнала в зависимости от длины процесса и количества точек дискретизации*

На рис. 4 изображены дисперсии оценок компонент математического ожидания для тестового сигнала в зависимости от длины процесса и количества точек разбиения. Кривые 1, 3, 5 показывают поведение дисперсий оценок компонент, вычисленных с помощью метода наименьших квадратов, а кривые 2, 4, 6 показывают поведение дисперсий оценок компонент, вычисленных с помощью компонентного метода. Как видно из графиков, дисперсия компонент математического ожидания уменьшается с ростом длины реализации, и с ростом количества точек дискретизации. При этом, дисперсия компонент в случае оценки, полученной с помощью метода наименьших квадратов, больше дисперсии, полученной при оценивании компонентным методом. При длине реализации  $\theta = 5$  сек. и количестве точек дискретизации  $K = 5000$ , что отвечает частоте дискретизации  $\omega_d = 1000$  Гц, и дисперсия компонент, полученных двумя методами, меньше 5%. А это значит, что при такой длине метод наименьших квадратов и компонентный метод, дают оценки математического ожидания, которые с вероятностью 95% лежат в пределах  $\pm 0,67$  от оцененных величин.

Анализ методов выделения регулярной составляющей непрерывного и дискретного вибрационных сигналов позволяет сделать следующие выводы.

1. Увеличение частоты дискретизации при фиксированной длине реализации не приводит к асимптотическому уменьшению дисперсий

**ВЫДЕЛЕНИЕ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
ДИСКРЕТНОГО ВИБРАЦИОННОГО СИГНАЛА  
ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

---

оценок до нуля, а это значит, что при коротких длинах реализации невозможно значительно уменьшить погрешность оценивания за счет разбивки длины реализации на большее количество точек;

2. Результаты оценки непрерывного и дискретного вибрационных сигналов имеют дисперсию компонент меньше 5%, при этом:

- дисперсия оценок, полученных с помощью метода наименьших квадратов, больше дисперсии компонентных оценок;

- метод наименьших квадратов дает несмещенную оценку, тогда как оценка, полученная с помощью компонентного метода, имеет значительное смещение.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов П.А. Анализ ошибок при выделении регулярной составляющей вибрационного сигнала механизма подъема портального крана «Сокол»// Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Вип. 26. – Одеса: ОНМУ, 2009. – С.132-146.
2. Яворський І.М., Заболотний О.В., Михайлишин В.Ю. Оцінка математичного сподівання поліритмічних часових рядів за методом найменших квадратів // Відбір і обробка інформації. – 2002. – Вип. № 17 (93). – С. 20-27.
3. Семенов П.А. Методика виділення гармонічних складових акустичного сигналу при діагностуванні механізмів портальних кранів по параметрам вібрації// Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – Вип. 25. – Одеса: ОНМУ, 2008. – С.108-123.

Надійшла 10.10.09

**ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ  
НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА**

*Описаны методика и результаты исследования изменения давления управляющей жидкости над иглой в форсунках с гидравлическим управлением. Доказано существенное изменение этого давления в период впрыскивания топлива. Установлено, что давление управляющей жидкости не оказывает влияния на конец впрыскивания.*

*Описано методіку і результати дослідження зміни тиску керуючої рідини над голкою у форсунках з гідравлічним керуванням. Доведено суттєві зміни цього тиску в період впорскування пального. Встановлено, що тиск керуючої рідини не впливає на закінчення впорскування.*

*The methodology and results of the research of the control liquid pressure change above the needle in injectors with hydraulic control are described. The considerable change of this pressure during fuel injection period is proved. It is determined that the needle control method does not influence the injection ending.*

**Ключевые слова:** дизели, форсунки, гидравлическое управление.

При обосновании преимуществ гидравлического управления иглой перед механическим в основу положено допущение о постоянстве давления управляющей жидкости в момент движения иглы [см., например, 1, 2 и др.]. В связи с этим принято считать, что при гидравлическом управлении иглой обеспечивается более высокая скорость подъема и посадки иглы, тогда как в механической форсунке усилие пружины при подъеме иглы возрастает, а при посадке уменьшается. Вследствие этого в форсунке с гидравлическим управлением иглой снижается дросселирование потока топлива в седле распылителя, уменьшается время начала и конца впрыскивания, т. е. время, когда игла неполностью открыта. В конечном счете это приводит к улучшению качества распыливания топлива в отмеченные периоды, а следовательно, способствует повышению экономичности двигателя.

Однако данное допущение до сих пор не проверено несмотря на его сомнительность. Поэтому целью данной статьи является проверка указанного допущения, которая необходима еще и потому, что во всех исследованиях, за исключением лишь испытаний на дизеле 3Д100 [2], давление управляющей жидкости записывалось на значительном удалении от полости над иглой (при входе в форсунку). Изменение этого давления, воздействующего на иглу сверху, следует определить более точно, установив датчик давления как можно ближе к игле.

Экспериментальная проверка допущения о постоянстве давления управляющей жидкости над иглой была выполнена на топливной аппара-

### ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА

туре судового дизеля Ч32/48 (NVD-48). Был изготовлен новый корпус форсунки, позволивший установить указанный датчик непосредственно над иглой (рис. 1).

Опыты проводились при различных объемах форсунки над иглой, заполненных управляющей жидкостью: при  $V_f = 3,5$  и  $70 \text{ см}^3$ , причем во втором случае к корпусу 3 сбоку присоединялся штатный корпус форсунки.

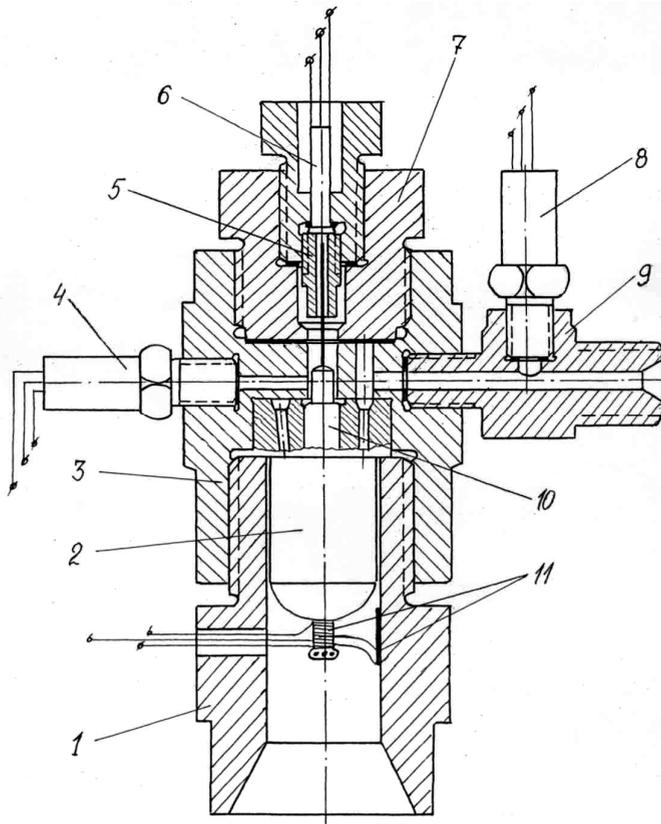


Рис. 1. Схема расположения датчиков на опытной форсунке:  
 1 – нажимная втулка; 2 – распылитель; 3 – корпус форсунки;  
 4 – датчик давления управляющей жидкости;  
 5 и 6 – катушка и корпус датчика перемещения иглы;  
 7 – прижимная гайка; 8 – датчик давления топлива;  
 9 – штуцер подвода топлива; 10 – игла;  
 11 – датчик давления топлива перед сопловыми отверстиями

### ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА

Давление управляющей жидкости регистрировалось тензодатчиком 4, а перемещение иглы – индуктивным датчиком 5. Кроме того, с помощью тензодатчиков 11 и 8 регистрировалось давление топлива перед сопловыми отверстиями и перед распылителем. Давление топлива перед сопловыми отверстиями фиксировалось тензометрическим датчиком, наклеенным на проточенную нижнюю часть распылителя.

Осциллографирование работы топливной системы на разных режимах показало, что в период подъема иглы давление управляющей жидкости  $p'_r$  над иглой существенно повышается. После остановки иглы у упора это давление снижается до статического  $p_r$ . В момент посадки иглы происходит снижение давления  $p'_r$ . Изменение кривых давления управляющей жидкости над иглой во время впрыскивания при разных значениях статического давления жидкости (-----  $p_r = 10,0$  МПа; —  $p_r = 20,9$  МПа; —•—  $p_r = 28,0$  МПа) наглядно иллюстрируется совмещенными по началу подъема иглы осциллограммами процесса впрыскивания, которые приведены на рис. 2, а.

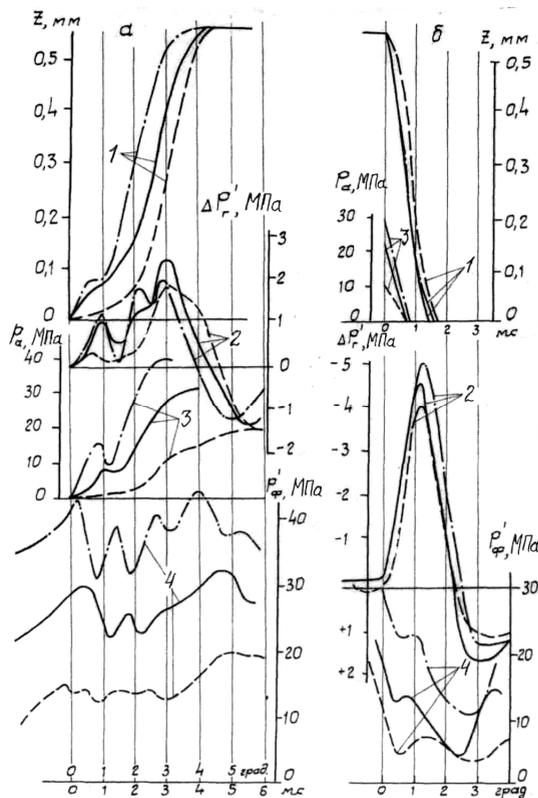


Рис. 2. Совмещенные осциллограммы начала (а) и конца (б) впрыскивания топлива

**ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ  
НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА**

Кроме кривых 2 изменения давления  $p_r'$  (т. е.  $\Delta p_r' = p_r' - p_r$ ), на рисунке также приведены кривые 1 подъема иглы  $z$ , кривые 4 давления топлива перед распылителем  $p_\phi'$  и кривые 3 давления топлива перед сопловыми отверстиями  $p_a$ .

Опыты проводились при  $V_r = 3,5 \text{ см}^3$ , при этом скорость вращения кулачкового вала соответствовала  $n = 170 \text{ мин}^{-1}$ , цикловая подача равнялась 1,46-1,36 г/цикл.

Обработка осциллограмм дала следующие величины максимального повышения давления  $p_r'$  в период подъема иглы ( $\Delta p_{r' \max}$ ) и наибольшего снижения этого давления в период посадки иглы ( $\Delta p_{r' \min}$ ):

статическое давление гидросмеси, МПа	0	15,0	20,9	28,0
изменение давления гидросмеси, МПа				
$\Delta p_{r' \max}$	1,83	2,4	2,4	1,93
$\Delta p_{r' \min}$	4,0	4,6	4,6	5,1

Следовательно, в периоды подъема и посадки иглы давление жидкости над иглой изменяется в очень широких пределах: во время посадки иглы — до 40 % при  $p_r = 10,0 \text{ МПа}$  и до 22 % при  $p_r = 20,9 \text{ МПа}$  (давление  $p_r = 20,9 \text{ МПа}$  соответствует штатному значению давления топлива в распылителе в момент начала подъема иглы, равному 30,0 МПа).

Сравним полученное изменение усилия, которое воздействует на иглу сверху, с изменением усилия штатной форсуночной пружины.

Так как площадь поперечного сечения иглы равняется  $f_{и} = 0,516 \text{ см}^2$ , то изменение действующего усилия управляющей жидкости составило 94; 123; 123 и 99 Н при  $p_r = 10,0; 15,0; 20,9$  и 28,0 МПа. При посадке иглы изменение действующего усилия соответственно равнялось 205; 237; 237 и 262 Н.

В связи с тем, что максимальный подъем иглы равен  $z_{\max} = 0,55 \text{ мм}$ , а жесткость пружины  $c_{и} = 230 \text{ Н/мм}$ , изменение усилия пружины при подъеме и посадке иглы составляет 126 Н.

Следовательно, при подъеме иглы изменение усилия со стороны управляющей жидкости находится в тех же пределах, что и изменение усилия пружины. Что же касается периода посадки иглы, то изменение действующего усилия на иглу при гидравлическом управлении иглой в два раза больше, чем при пружинном. Еще более высокое значение изменения усилия, воздействующего на иглу, при ее гидравлическом управлении было получено во время испытаний дизеля 3Д100 [2]. Действительно, при  $f_{и} = 0,385 \text{ см}^2$ ,  $c_{и} = 153 \text{ Н/мм}$ ,  $z_{\max} = 0,5 \text{ мм}$  и  $\Delta p_{r' \max} = 8,0 \text{ МПа}$  изменение усилия, приложенного к игле со стороны управляющей жидкости, составило 309 Н, тогда как усилие пружины изменилось всего на 76 Н.

Как показала обработка осциллограмм процесса впрыскивания топлива при гидравлическом управлении иглой, изменение давления управляющей жидкости, перемещение иглы и давление топлива в распылителе взаимно связаны. Повышение давления топлива в кольцевой

**ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ  
НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА**

камере приводит к увеличению скорости движения иглы, а, следовательно, и к возрастанию давления управляющей жидкости над иглой. Но вслед за этим происходит замедление движения иглы, если не будет увеличена секундная подача топлива из топливопровода в кольцевую камеру, так как в ней упадет давление из-за повышения насосного эффекта иглы и расхода топлива через сопловые отверстия. В конечном счете время подъема иглы зависит не столько от усилия, воздействующего на иглу сверху, сколько от количества подаваемого топлива в это время из топливопровода в распылитель (при неизменном сечении сопловых отверстий).

Указанный вывод полностью подтверждается кривыми топливоподачи, приведенными на рис. 2, а. С увеличением давления  $p_r$  повышается давление начала подъема иглы, в результате чего подъем иглы начинается позднее, т. е. он будет проходить при большей подаче топлива в распылитель, так как движение плунжера происходит при возрастании его скорости. Поэтому несмотря на существенное повышение давления управляющей жидкости, время подъема, иглы уменьшается с  $t_{\text{под}} = 5,7$  с при  $p_r = 10,0$  МПа до  $t_{\text{под}} = 3,6$  с при  $p_r = 28,0$  МПа, т. е. оно снижается в 1,6 раза.

Изменение давления управляющей жидкости  $\Delta p_r'$  над иглой в начале подъема иглы растет быстрее при  $p_r = 28,0$  МПа (из-за большей скорости движения иглы). В дальнейшем скорость движения иглы практически одинакова (кривые идут приблизительно эквидистантно), а поэтому и значения  $\Delta p_r'_{\text{max}}$  во всех трех случаях различаются сравнительно мало.

Анализ конца процесса впрыскивания проведем по осциллограммам (рис.2,б), которые совмещены по моменту начала посадки иглы. Прежде всего обращает на себя внимание то, что время посадки иглы и конца впрыскивания (от момента начала посадки иглы до момента, когда  $p_a = 0$ ) практически не зависит от статического давления управляющей жидкости, которое в опытах изменялось в 2,8 раза. Следовательно, неизменной осталась и средняя скорость посадки иглы. Изменение величины  $\Delta p_r'_{\text{min}}$ , как видно из рис. 2, б, также очень мало зависит от давления  $p_r$ .

Таким образом, и при посадке иглы происходит «саморегулирование» значений давления  $p_r'$ ,  $p'_\phi$  и  $p_a$  и перемещения иглы  $z$ , а скорость посадки иглы при неизменном эффективном сечении распылителя в неизменных условиях отсечки подачи топлива насосом мало зависит от усилия, воздействующего на иглу сверху.

Результаты исследования влияния статического давления управляющей жидкости  $p_r$  на основные характеристики топливоподачи, на время подъема и посадки иглы, а также на время конца процесса впрыскивания приведены в табл. 1.

**ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ  
НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА**

Таблица 1

*Влияние статического давления управляющей жидкости  $p_2$  на основные характеристики топливоподачи*

Объем $V_2$ , см <sup>3</sup>	Статическое давление жидкости над иглой, МПа	Давление начала подъема иглы, МПа	Цикловая подача топлива, г/цикл	Угол опережения впрыскивания, град	Продолжительность впрыскивания, град	Остаточное давление, МПа	Максимальное давление топлива, МПа		Время, мс		
							перед распылителем	перед сопловыми отверстиями	подъема иглы	посадки иглы	конца впрыскивания
3,5	10,0	15,2	1,48	9	17,2	5,0	31,5	28,0	5,7	1,7	0,85
3,5	15,0	21,0	1,45	6,4	14,9	8,0	31,5	30,5	3,8	1,7	0,85
3,5	20,9	30,5	1,42	5	13	10,0	33,0	31,5	4,1	1,5	0,8
3,5	28,0	39,5	1,36	4	11,1	15,5	40,0	39,5	3,6	1,7	1,0
70	10,0	14,7	1,47	8,8	16,9	5,5	29,0	27,0	4,6	1,8	0,9
70	20,9	29,0	1,45	5	13,2	10,5	33,5	29,5	3,5	1,6	0,9
70	24,5	35,7	1,40	4,2	12	13,0	35,0	32,5	3,0	1,6	0,85

### ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА

С увеличением давления  $p_r$  повышается остаточное давление в нагнетательном топливопроводе, максимальное давление топлива перед распылителем и перед сопловыми отверстиями, при этом уменьшается угол опережения и продолжительность впрыскивания. Следовательно, зависимость перечисленных характеристик процесса впрыскивания от давления начала подъема иглы такая же, как и при пружинном управлении иглой.

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод, что время посадки иглы и время конца впрыскивания практически не зависят от давления управляющей жидкости при его изменении в широких пределах.

Если обратиться к данным табл. 1, то также можно сделать вывод, что величина объема  $V_r$  не оказала заметного влияния на все рассмотренные характеристики топливоподачи, за исключением лишь времени подъема иглы до упора, которое несколько меньше при большем объеме.

Как показывает анализ осциллограмм (рис. 3), основной причиной снижения скорости подъема иглы при резком уменьшении объема  $V_r$  (----- $V_r = 3,5 \text{ см}^3$ ; ———  $V_r = 70 \text{ см}^3$ ) является существенное увеличение давления 4 жидкости над иглой в момент подъема иглы 1 ( $\Delta p'_{r \max} = 0,48 \text{ МПа}$  при  $V_r = 3,5 \text{ см}^3$ ,  $\Delta p'_{r \max} = 2,4 \text{ МПа}$  при  $V_r = 70 \text{ см}^3$ ). Следовательно, объем  $V_r$  выполняет роль аккумулятора, снижающего давление управляющей жидкости, повышение которого обусловлено подъемом иглы.

Однако снижение скорости подъема иглы на 20 % при уменьшении объема  $V_r$  в 20 раз не оказало заметного влияния на качество распыливания топлива, что подтверждается кривыми давления 3 топлива перед сопловыми отверстиями  $p_a$ . Малое изменение давления  $p_a$  при большем подъеме иглы в данном случае обусловлено влиянием насосного эффекта иглы при подъеме. В случае более быстрого ее подъема ( $V_r = 70 \text{ см}^3$ ) давление 2 топлива в распылителе  $p'_f$  снижается сильнее, а поэтому расход топлива через иглу, несмотря на увеличение проходного сечения, изменяется очень мало.

При исследовании влияния объема  $V_r$  на процесс впрыскивания топлива регистрировалось также давление 5 управляющей жидкости  $p''_r$  при входе в форсунку.

Значения  $\Delta p'_r$  (над иглой) и  $\Delta p''_r$  (при входе в форсунку) в периоды подъема и посадки иглы приведены в табл. 2.

Следовательно, из-за демпфирующего эффекта объема  $V_r$  максимальное значение амплитуд кривой давления управляющей жидкости над иглой в 1,3-1,7 раза выше, чем при входе в форсунку.

**ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ  
НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА**

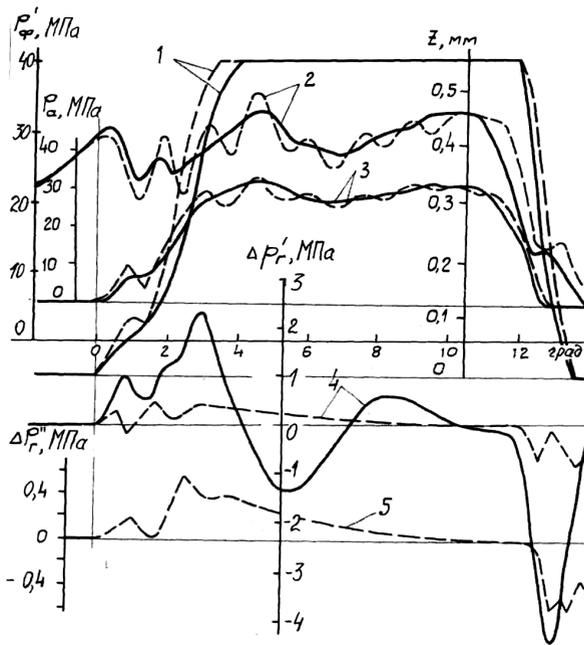


Рис. 3. Совмещенные осциллограммы  
процесса впрыскивания топлива

Таблица 2

Влияние давления управляющей жидкости над иглой  
на перепады давлений в периоды подъема и посадки иглы

Давление $p_r$ , МПа	$\Delta p'_{r, \max}$	$\Delta p''_{r, \max}$	$\Delta p'_{r, \min}$	$\Delta p''_{r, \min}$
10,0	0,6	0,41	-0,78	-0,52
20,9	0,48	0,51	- 1,02	-0,6
24,5	0,75	0,53	-0,66	-0,49

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. В периоды подъема и посадки иглы форсунки давление управляющей жидкости, воздействующее на иглу сверху, существенно изменяется, при этом изменение приложенного к игле усилия находится в тех же пределах, что и изменение усилия пружины в механической форсунке.

2. Время посадки иглы не зависит от давления управляющей жидкости, т. е. от усилия, приложенного к игле сверху. Во время посадки иглы, как и при ее подъеме, происходит «саморегулирование» давления топлива в полостях распылителя под иглой, давления управляющей жидкости над иглой и подъема иглы.

**ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В ФОРСУНКАХ  
НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА**

---

---

3. Объем форсунки над иглой, заполненный управляющей жидкостью, не оказывает заметного влияния на основные характеристики процесса впрыскивания топлива, т. е. на цикловую подачу, угол опережения, угол продолжительности впрыскивания и на давление топлива в системе впрыскивания, в том числе и перед сопловыми отверстиями. Однако при резком уменьшении объема  $V_r$  происходит существенное повышение давления управляющей жидкости в момент подъема иглы, что обуславливает некоторое снижение скорости движения иглы.

4. Максимальное значение амплитуды колебания давления управляющей жидкости над иглой значительно выше, чем соответствующее значение амплитуды кривой давления этой жидкости, зарегистрированной на входе в форсунку.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Карпов Л.Н., Рыбаков М. Г. Исследование работы гидромеханических форсунок // Тр. ЦНИИМФ. – 1967. – Вып. 86. – С. 75-86.
2. Шишлов Г. Н. и др. Гидрозапорная топливная аппаратура судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1970. – 136 с.

Надійшла 20.03.09

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

*Рассмотрена сущность концепции проектной экономики, исходя из подхода «управление на основе проектов», показаны специфические моменты, которые нужно учитывать при такой трактовке, в частности, наличие отраслей и производств, не задействованных в проектах региональной важности, а также государственного сектора, выявлены показатели отбора и разработан алгоритм формирования регионального портфеля проектов.*

*Розглянуто сутність концепції проектної економіки, використовуючи підхід «управління на основі проектів», показані специфічні фрагменти, які необхідно враховувати при такій трактовці, отже, наявність галузей та виробництв, не задіяних в проектах регіональної важливості, а також державного сектора, виявлені показники відбору та розроблений алгоритм формування регіонального портфелю проектів та програм.*

*The essence of project economy concept is considered, it is based on the “management by projects” principle, also there are shown specific issues, which must be taken into account while explaining the essence of project economy, they are: existing of branches and enterprises, which can't be involved into regional significant projects, and governmental sector also, there are determined characteristics of choosing projects into regional portfolio, as well as special algorithm of regional portfolio forming is elaborated there.*

**Ключевые слова:** проектная экономика, портфельный подход, отрасли, госсектор, алгоритм, мотивация, показатели отбора.

В последнее время в странах СНГ, в т.ч. в России и на Украине, все чаще в устах ведущих политиков, экономистов звучит ранее не фигурировавший термин – «проектная экономика». Это словосочетание возникло в связи с общепризнанной тупиковостью существующих подходов и методов преодоления экономического кризиса, привлечению в экономику масштабных инвестиций, достижению стабильного и существенного экономического роста (в т.ч. удвоение, утроение ВВП и т.п.). Ранее на повестке дня в этой связи фигурировал другой термин «инновационная экономика», да он и сейчас еще продолжает звучать, но уже не так часто, в первую очередь в связи с наступлением сильного экономического кризиса. Кроме того, в последнее время к ведущим фигурантам политики и экономики приходит все большее понимание того, что переход на т.н. «инновационные рельсы» развития экономики невозможен без широко-масштабного применения проектного подхода – т.е. без уже упомянутой «проектной экономики». При этом стоит отметить, что ни по инновационной экономике, ни, тем более, по проектной экономике, нет ясной картины того, что и как надо перестраивать в экономике, какими должны быть переходные процессы для достижения значимого результата.

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

В то же время следует отметить, что для методологии и концепции управления проектами переход механизма функционирования экономики на проектную основу может дать сильный толчок дальнейшему развитию и поднять их на новый уровень и без преувеличения сделать инструментарий управления проектами главным инструментарием в управлении экономикой. Это подтверждает актуальность поднятой темы исследования.

Цель исследования заключается в выявлении закономерностей формирования проектной экономики с помощью портфельного подхода. Для ее достижения поставлены следующие задачи:

- выявить сущность и специфику проектной экономики, базовые подходы к ее описанию, а также отличия от других концепций в экономике и управлении;
- разработать алгоритм формирования портфеля региональных проектов.

Прежде всего следует разобраться в сути термина «проектная экономика», т.к. с определением его ни в книжных, ни в интернет – источниках встретиться не удалось. Очевидно, что в данной ситуации придется начать с аналогии. Аналогия касается управления деятельностью крупных корпораций на основе известного подхода «management by projects», т.е. управления с помощью проектов [1-4]. Согласно с этим подходом деятельность компании разбивается на ряд проектов и управление осуществляется всей совокупностью этих проектов, которая представляет собой не что иное, как портфель проектов. За неимением альтернативы будем опираться именно на эту аналогию при трактовке и понимании смысла термина «проектная экономика». Однако государство весьма сильно отличается от пусть даже самой крупной корпорации как целями функционирования, так и своей структурой. Отсюда следует, что должны различаться и в реальности различаются применяемые инструменты управления. Это обязательно следует учесть при трактовке термина «проектная экономика» с помощью упомянутой выше аналогии «management by projects».

Первый вопрос, который сразу возникает при попытке опереться на аналогию «management by projects» при трактовке термина «проектная экономика», – как проектный подход к функционированию экономики и ее развитию сочетается с применяемой на сегодняшний день концепцией государственных программ социально-экономического развития. Проблеме адекватности и эффективности подобных программ пока оставим в стороне. Для начала следует отметить, что программы социально-экономического развития, отраслевого или регионального, гораздо ближе к инструментам экономического планирования, чем к инструментам управления проектами. Это следует из того, что в программах социально-экономического развития объектом управления является не проект, а экономика региона или отдельно взятая отрасль, с упором на целевые по-

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

казатели развития и описание процессов, необходимых для достижения этих целей [5].

Большинство существующих сегодня в странах СНГ, в т.ч. в России и Украине программ социально-экономического развития нельзя назвать проектами в полном смысле этого базового термина. С одной стороны, практически у каждой программы развития есть бюджет, приняты общие сроки реализации, в приложениях приводятся временные графики реализации входящих в программу мероприятий, назначаются ответственные. С другой стороны, есть весьма существенный изъян: для реализации программ социально-экономического развития не создается отдельной структуры. Считать таковой, например, Министерство Экономического Развития и торговли России (МЭРТ РФ), или Министерство Регионального Развития России, или Министерство Экономики Украины нельзя. Во-первых, структура одна, а реализуемых ею программ, как минимум, десяток. Во-вторых, у каждого отраслевого министерства, что в России, что в Украине, есть несколько своих отраслевых программ. Одних программ развития сельского хозяйства насчитывается не менее пяти – шести в каждой стране. Кроме того, программы развития, как правило, не содержат составных проектов, как положено классической программе в терминах управления проектами. Получается, что государственные программы развития не являются программами, в классическом для управления проектами понимании этого базового термина. Таким образом, термин «проектная экономика» и соответствующая ему концепция «management by projects» никак не подменяет концепцию государственных программ социально-экономического развития.

Следующий важный вопрос применения концепции «management by projects» к функционированию экономики, «проектной экономики», заключается в способах формирования и отбора портфеля проектов. Для уровня корпорации в источниках по этому вопросу приведены различные основания для отбора проектов, такие как достижение стратегического единства по целям, оптимизация соотношения «риск – доходность» согласно портфельной теории Г. Марковица, концепция полного финансового плана компании, ресурсные и бюджетные ограничения и др. [1, 2]. Однако для макроуровня этого перечня оснований совершенно недостаточно, т.к. на нем возникают вопросы, которые бессмысленны на микроуровне. Так, первый вопрос из этой серии – по какому признаку следовало бы отбирать проекты для организационной и финансовой поддержки в регионе. К признакам – претендентам, на наш взгляд, можно отнести: важность отрасли осуществления проекта для региона, размер (масштаб, стоимость) проекта, длительность проекта, срок его окупаемости и рентабельность, реалистичность и глубина проработки обоснования проекта. Последний признак фигурирует здесь из практических соображений, т.к. по-прежнему, многие бизнес-планы и ТЭО отечественных проектов изобилуют совершенно нереальными предположениями, структурными изъ-

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

янами и субъективизмом раскрытия основных вопросов, касающихся жизнеспособности будущего проекта, в первую очередь коммерческой реализуемости [6]. Также в бизнес-планах отечественных проектов редко представлен полный и адекватный внешней среде проекта перечень проектных рисков и способов их минимизации.

Рассмотрим более подробно каждый из этих признаков в отдельности. Начнем с важности отрасли осуществления проекта для региона. Во-первых, как показывает практика, важность проекта для региона, или его экономическая эффективность, часто не совпадает с коммерческой, или финансовой эффективностью для инвестора. Под экономической эффективностью обычно понимают влияние на рост валового регионального продукта, налоговых поступлений, занятости местного населения и т.п. Коммерческая и финансовая эффективность проекта выражена в его прибыльности. Поиск компромисса между финансовой и экономической эффективностью для выбора наиболее важных и значимых для региона отраслей осуществления проектов окончательно может быть найден, по нашему мнению, только при разрешении последующих вопросов по рассматриваемому признаку. Следующий вопрос – по сколько проектов одновременно возможно реализовывать в каждой из выбранных отраслей? Ответ на этот вопрос определяется в зависимости от возможности привлечения средств в регион, которая может быть оценена только экспертным путем. На первый взгляд, все достаточно просто – при известной оценке возможностей привлечения средств в регион и ранжированию по важности отраслей потенциального осуществления проектов возможно распределить средства на проекты между отраслями. Однако это не совсем так.

Первая серьезная поправка, которую необходимо внести, – это наличие взаимосвязей между разными отраслями, которые могут найти свое отражение во взаимосвязи между проектами. Взаимосвязь между отраслями может быть выражена в виде технологической цепочки, а также кластера, что несколько шире. В любом из этих двух случаев необходимо планировать реализацию проектов в первую очередь именно в подобных тесно взаимосвязанных отраслях, т.к. это может дать синергетический эффект. Но и это еще не все. Взаимосвязь между отраслями может быть выражена и иным образом – с помощью корреляции объемов продаж основных видов продукции по этим отраслям. Такая связь позволяет регулировать совокупный риск портфеля проектов, конечно, в сторону его снижения, что требует, безусловно, диверсификации отраслей реализации проектов. Получается, что эти два совершенно разные по своей сути вида возможной зависимости между отраслями реализации проектов существенно противоречат друг другу. Окончательное снятие этого противоречия считаем целесообразным отложить до разрешения последующих вопросов. Кроме того, не следует забывать о существовании конкуренции между проектами, реализуемыми в одной и той же отрасли. Эта конку-

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

ренция может произвести эффект обратный синергетическому и снизить прибыльность каждого проекта.

Определение размера (масштаба, стоимости) проектов для включения в их региональный портфель позволяет, по нашему мнению, уточнить рассмотренные выше вопросы по предыдущему признаку, в частности, количества проектов по каждой из отраслей с учетом взаимосвязей между ними. Целесообразно учесть то, что присущая каждой отрасли специфика определяет границы возможных масштабов проектов и их количество в одном регионе. Например, вряд ли в одном регионе будет целесообразно строить сразу два металлургических комбината (с учетом цен на металл). В то же время рассмотреть проведение одновременной модернизации на двух заводах возможно, однако лишь в том случае, если это не будет тотальной модернизацией – т.е. полной сменой технологии (мартемовской на конвертерную), т.к. по стоимости это вполне сопоставимо со строительством новых заводов. В данном случае модернизация может проводиться в направлении внедрения энергосберегающих технологий. Эти же соображения можно применить и к машиностроительным заводам, особенно в сфере тяжелого машиностроения. Здесь помимо выше приведенных аргументов появляются также такие как ограниченность сбыта машиностроительной продукции отечественных предприятий на мировом рынке в силу разнообразных факторов (геополитических, финансовых и т.п.), необходимость значительных инвестиций в проведение обширных научных исследований помимо капиталовложений в строительство заводов [6]. Для сферы туризма и рекреационной отрасли определяющим фактором будет объем оказанных в регионе рекреационных услуг, а также привлекательность для туристов в сопоставлении с регионами – конкурентами. Строительная индустрия имеет своим ограничителем количества возможных к продаже квадратных метров жилой площади платежеспособность населения, строительства дорог – сравнительную привлекательность региона, сооружение коммерческой недвижимости (офисных площадей) – объем оказанных в регионе услуг. Все ограничения снизу и сверху на масштабы региональных проектов в различных отраслях реального сектора экономики сведены нами ниже, в табл.1.

Как видно из табл.1, первые шесть факторов характеризуют ограничение снизу на масштаб инвестиционных проектов в регионе (т.е. минимально возможный размер проекта), последние два – ограничение сверху (т.е. максимально возможный размер проекта). Такие данные по ограничениям на масштаб проектов снизу и сверху могут «оставить за бортом» многие амбициозные по требуемым объемам инвестиций региональные проекты, особенно в том случае, когда ограничение снизу получается больше, чем ограничение сверху. Такая ситуация будет иметь место, если оценка возможностей привлечения инвестиций в регион окажется меньше, чем минимальный объем финансирования для строи-

**ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД  
К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ**

Таблица 1

*Отраслевые ограничения на масштабы инвестиционных проектов*

Ограничения	Металлур- гия, Энергетика	Машино- строение	Хим. пром., фармако- лог.	Рекреа- ция и туризм	Стр-во жилья, дорог, офисов
1. Мин. стоим- ность завода (комплекса оборудов-я).	+	+	+	-----	-----
2. Ограничен- ность сбыта на мировом рынке.	+	+	+	-----	-----
3. Инвестиции в НИОКР.	-----	+	+	-----	-----
4. Объем ус- луг в регионе.	-----	-----	-----	+	+
5. Привлекат- сть региона и конкурентов.	-----	-----	-----	+	+
6. Платеже- способность населения.	-----	-----	-----	+	+
7. Экологиче- ский ущерб.	+	-----	+	-----	-----
8. Возможности привлече- ния инвести- ций в регион.	+	+	+	+	+

тельства одного завода или приобретения комплекса оборудования. Многие регионы Украины имеют очень низкий инвестиционный рейтинг и вытекающие из него возможности привлечения инвестиций в эти регионы [7]. Поэтому описанная выше ситуация не исключение. Если после отсева проектов, заведомо неприемлемых по ограничениям на масштаб снизу и сверху, не осталось проектов, связанных технологической цепочкой, или образующих кластер, т.е. связанных синергетическим эффектом, то описанное выше противоречие между двумя разными видами связи между проектами (отраслями) можно считать снятым. В противном случае оно будет разрешаться подобным образом при определении последующих характеристик.

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

Что касается следующих признаков – длительности, срока окупаемости и рентабельности проектов, то может быть проведено простое ранжирование проектов в порядке убывания по каждому из этих признаков. Итоговый, интегральный ранг по этим трем признакам возможно получить оптимизацией по Парето или по Борда [4]. После этого целесообразно перейти к нахождению компромисса между важностью проекта для региона и для инвестора, или по-другому, между экономической и финансовой эффективностью. При этом будем подразумевать, что первоначальные оценки важности отраслей для региона, исходя из показателей экономической эффективности, скорректированы на наличие рассмотренных ранее видов взаимосвязей между отраслями, на размер ограничений снизу и сверху на масштабы инвестиционных проектов по отраслям их осуществления. Также должно быть учтено негативное влияние чрезмерной конкуренции между проектами, планируемыми к реализации в одной и той же отрасли. Методически такое влияние возможно, на наш взгляд, определить путем сопоставления текущего среза тренда по динамике отраслевого регионального объема продаж продукции (услуг) и совокупного объема продаж продукции (услуг) по планируемым проектам, с последующей корректировкой на расчет ценовой эластичности спроса на продукцию таких проектов. Последнее означает, что если ценовая эластичность спроса высокая, то возможно увеличение отраслевого регионального объема продаж продукции (услуг) по сравнению с объемом, рассчитанным на основе тренда по ежегодной динамике. В противном случае подобный рост невозможен.

Перейдем к последнему признаку отбора проектов в региональный портфель – реалистичность и глубина проработки проекта. Одна из проблем, связанных с данным признаком, заключается в субъективности оценок реалистичности. Каждый специалист, эксперт, может иметь свои собственные суждения по поводу реалистичности проекта, как в целом, так и по отдельным компонентам. В данном случае отмеченную субъективность оценок можно устранять общепринятыми приемами, например, использованием метода «Дельфи», заключающегося в изолированном опросе экспертов и последующей сверке их мнений и оценок [3, 4]. Однако при повторении процедур изолированных оценок для достижения большей их согласованности по методу «Дельфи», когда каждый эксперт видит мнение своих коллег на предыдущем этапе, есть опасность того, что возобладает мнение меньшей части экспертов, доводы которых оказались более убедительными. Поэтому при оценке реалистичности проектов, претендующих на включение в региональный портфель, целесообразно ограничиться одним туром опроса экспертов.

Если по результатам такого опроса выясняется существенный разброс мнений экспертов по большинству вопросов, касающихся оценки реалистичности одного и того же проекта, то это, по нашему мнению, может свидетельствовать о низкой степени реализуемости такого проекта.

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

Такой проект, безусловно, должен быть отправлен на доработку его авторам. Если разброс оценок небольшой, и большинство экспертов высказывается о сомнительной реализуемости проекта, то такая оценка принимается за окончательную. Если разброс оценок небольшой, но большинство экспертов положительно оценивают проект, то проект будет считаться реализуемым. Здесь появляется проблема сопоставления и ранжирования первого и второго варианта из трех вышеприведенных: сильного разброса оценок и преобладающего негативного мнения о реализуемости проекта. Очевидно, что для сравнения надо привести разброс оценок к единой оценке  $X_{ед.}$  с помощью методов математической статистики. Следует отметить, что поскольку картина разброса мнений может быть совершенно разной – частично сгруппированной у одного или другого края диапазона оценок, смещенной к обоим краям диапазона, или вообще «размазанной» без наличия какой-либо скученности, то применение усредненной оценки совершенно недопустимо. В данном случае целесообразно исходить из числа повторов оценок в определенном их диапазоне  $n_{max}$ ,  $n_{min}$ , общего количества оценок  $N_{общ.}$ , а также усредненных на соответствующих диапазонах значений  $X_{max}$ ,  $X_{min}$ . Путем логических рассуждений была получена следующая формула (1) единой оценки  $X_{ед.}$ :

$$X_{ед.} = \begin{cases} \bar{X} + [((\bar{X} - X_{max}) - (\bar{X} - X_{min})) / 2] * (n_{max} - n_{min}) / N_{общ.}, & \text{если } X_{min} \notin (X_{max} - \bar{X}); \\ \bar{X} + [((\bar{X} - X_{max}) + (\bar{X} - X_{min})) / 2] * (n_{max} - n_{min}) / N_{общ.}, & \text{если } X_{min} \in (X_{max} - \bar{X}), \end{cases} \quad (1)$$

К сожалению, в формуле (1) не удалось прописать то, что, по нашему мнению, ее следует применять многократно, т.е. сначала для диапазонов максимальных и минимальных количеств повторов оценок, что и показано в формуле (1), затем для диапазонов, следующих по мере уменьшения от максимальных и увеличения от минимальных количеств повторов, и так до диапазонов, соседних по количествам повторов оценок. После этого рассчитывается средняя из получившейся совокупности  $X_{ед.}$ . Это итоговое значение и есть то, которое можно сопоставлять с усредненными негативными оценками в случае малого разброса мнений экспертов.

Что касается глубины проработки проекта, то здесь возможно пойти более или менее стандартным путем: учитывать наличие / отсутствие основных вопросов, которые должны найти отражение в бизнес-плане / ТЭО [4, 6]:

- от каких реальных (объективных) предпосылок отталкиваются авторы проекта при разработке идеи проекта и обосновании ее жизнеспособности, и насколько эти предпосылки подвержены изменению во времени;

- каковы результаты маркетинговых исследований, непосредственно относящихся к заявляемому проекту, желательно проведенных са-

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

мостоятельно или сторонней консалтинговой компанией именно для этого проекта;

- реализован ли подробный учет в обосновании объемов продаж продукции проектов стандартов качества серии ISO, наличие сертификатов качества;

- имеются ли варианты проработки денежных потоков проекта, исходя из нескольких (не менее трех) сценариев развития рыночной ситуации по проекту (объемы продаж и цены на основную продукцию проекта, цены на сырье, материалы и комплектующие, изменение уровня конкуренции в отрасли);

- выполнены ли варианты проработки хода освоения инвестиций (инвестиционной фазы) по срокам выполнения работ и размерам бюджета;

- произведено ли описание и учет всех возможных рисков при освоении инвестиций, влияющих на сроки и бюджет проекта, и на фазе эксплуатации проекта, влияющих на размер денежных потоков по проекту;

- разработаны ли мероприятия по оперативному реагированию на отклонения по денежным потокам проекта и в ходе освоения инвестиций (на инвестиционной фазе) по срокам и бюджету проекта.

Перечисленные выше вопросы являются более или менее общими, они выбраны в соответствии с нашей позицией по этой проблеме. В каждом конкретном проекте могут появляться свои индивидуальные вопросы, которые целесообразно поставить в соответствие одному из перечисленных выше, для избежания путаницы и обеспечения возможности сопоставления оценок, полученных по разным проектам. Что касается оценок, то здесь вполне возможно применить балльные оценки по стандартизированной шкале. Количество частных вопросов к каждому основному из приведенных выше целесообразно сделать одинаковым для каждого проекта для избежания рассогласованности оценок.

В итоге разработан следующий обобщенный алгоритм формирования портфеля проектов для региона, показанный на рис.1. Те проекты, которые были исключены из регионального портфеля проектов на различных этапах алгоритма на рис.1, могут претендовать на включение во вторичный портфель проектов, формируемый после того, как первичный портфель проектов покажет свою состоятельность, т.е. начнет приносить ожидаемую прибыль. При этом отбор во вторичный портфель будет производиться также по алгоритму рис.1. Следует отметить, что в алгоритм, изображенный на рис.1, не включены дополнительные детали, которые также отличают формирование портфеля проектов в регионе от формирования портфеля проектов в крупной корпорации. Первая из таких дополнительных деталей – наличие в любом регионе целого ряда отраслей и производств, которые успешно функционируют и их владельцы не изъявляют желания инициировать какие-либо проекты [5]. К таким отраслям можно отнести торговлю, большую часть сферы услуг (юридические кон-

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

сультации, агентства недвижимости, ремонтный сервис, прокат оборудования, транспортные услуги), а также все фирмы, функционирующие на фондовом рынке. Роль банковской сферы в проектной экономике будет рассмотрена после предприятий реального сектора и сферы услуг.

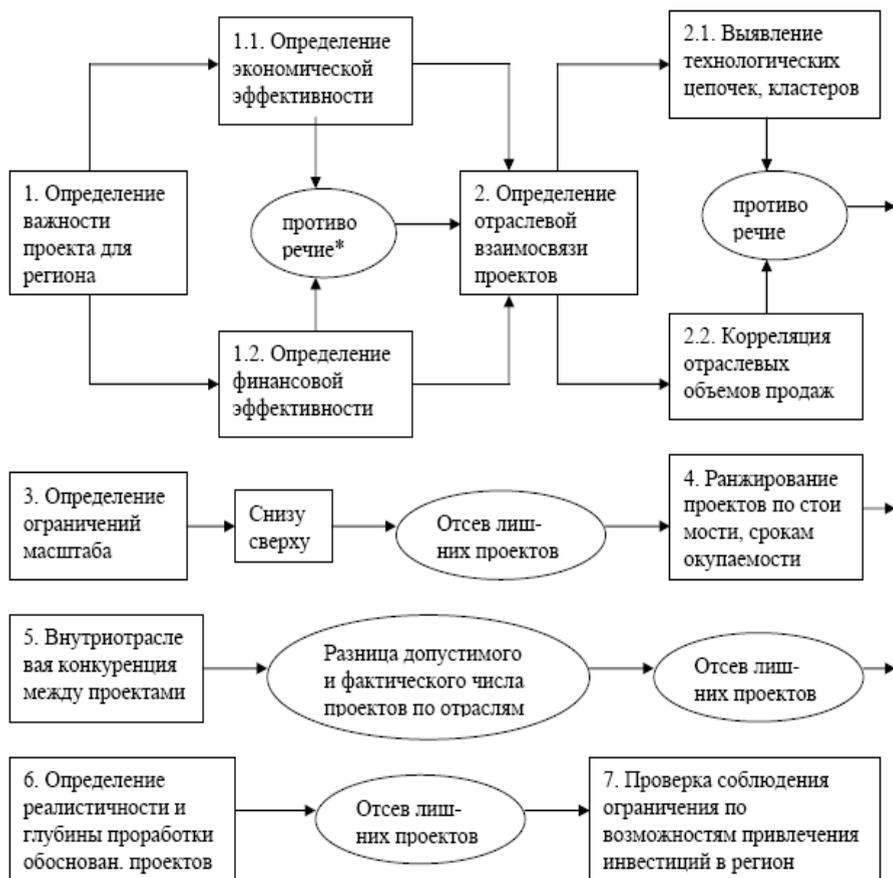


Рис.1. Алгоритм формирования регионального портфеля проектов

Следующая дополнительная деталь формирования регионального портфеля проектов – наличие армии, флота, парламента, министерств и ведомств, полиции, налоговой службы, таможни, прокуратуры, судебных органов, школ, вузов, больниц, иных государственных учреждений, которые ни при каких обстоятельствах не могут стать ни инициаторами, ни исполнителями инвестиционных проектов. Что касается армии и флота, то непосредственно в этих структурах, в силу их специфики, никаких проектов не может быть реализовано. Планы сокращения численности вооруженных сил не в счет.

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

Разработка новых видов вооружений и модернизация существующих осуществляются специализированными закрытыми НИИ и КБ оборонного комплекса, которые функционируют отдельно от армии и флота, также финансируются государством, но их разработки могут найти эффективное гражданское применение [5]. Реализация таких инновационных проектов и формирование их портфеля должны рассматриваться, по нашему мнению, отдельно от инвестиционных проектов и их регионального портфеля в силу своей крайне резко отличающейся специфики. Эта специфика неизбежно вызывает необходимость разработки своей отдельной методологии формирования портфеля подобных проектов, которая не рассмотрена в данной статье в силу ограниченности объема.

В остальных перечисленных организациях, за исключением школ, ВУЗов и больниц, теоретически могут быть инициированы и осуществлены организационные проекты, направленные на улучшение эффективности работы этих структур и административную и организационную поддержку реализации портфеля региональных инвестиционных и инновационных проектов. В первую очередь подобные организационные проекты на Украине и в других странах СНГ необходимы в парламенте, отраслевых министерствах и ведомствах, милиции, налоговой службе, таможне, прокуратуре и судебных органах, а также в таких службах как земельные кадастры, управления земельных ресурсов, бюро технической инвентаризации, комитеты по архитектуре и градостроительству, другие разрешительные органы (СЭС, МЧС, ГНОТ, Укринвестэкспертиза). Основные цели подобных организационных, а вернее реорганизационных проектов должны быть следующими:

- создание специализированных структур по институциональной поддержке и сопровождению регионального портфеля проектов, включающих представителей разных ветвей и органов власти, как в центре, так и в регионах;

- снижение количества требуемых по законам и иным нормативным документам бюрократических процедур и их длительности при регистрации бизнеса и приобретении новой собственности (обычно в источниках это относится к сфере улучшения регионального инвестиционного климата) для регионального портфеля проектов (такая фокусировка значительно сокращает время, необходимое для реализации подобных масштабных изменений);

- разработка системы налоговых, финансовых, таможенных и иных стимулов для вовлечения всех отраслей региональной экономики в реализацию регионального портфеля проектов.

В результате проведенного нами в данной статье исследования сделаны следующие выводы.

Термин «проектная экономика» с одной стороны должен трактоваться с позиций концепции «management by projects». С другой стороны, здесь обязательно должна быть учтена специфика государства, отличаю-

## ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ

---

шая его от любой крупной корпорации. Во-первых, эта специфика раскрывается в наборе показателей для отбора проектов – претендентов в их региональный портфель. В их число предложено включить важность проекта для региона, а также реалистичность и глубину проработки обоснования проекта. При этом важность проекта для региона должна быть компромиссом между экономической эффективностью для региона и финансовой эффективностью для инвестора.

При проработке содержания и взаимодействия показателей отбора проектов в региональный портфель попутно вскрыты и изучены вопросы взаимосвязи между проектами из разных отраслей экономики.

При отборе проектов предложено учитывать два вида такой взаимосвязи: в виде кластера или технологической цепочки, а также в виде диверсификации по временной динамике продаж, т.е. по рыночным рискам.

Выявлены восемь ограничений на масштаб реализуемых в регионе инвестиционных проектов, в зависимости от отрасли осуществления проекта (см. табл.1). Из них шесть ограничений «снизу», т.е. на минимальный масштаб проекта, а два – «сверху», т.е. на максимальный масштаб проекта.

Получена формула перехода от разброса мнений экспертов к единой оценке реалистичности проекта, без повтора оценочных туров, необходимого по методу Дельфи. Здесь учтены предпосылки того, что первоначальный разброс мнений экспертов уже сам по себе негативно характеризует жизнеспособность проекта. В итоге, нами получен алгоритм формирования регионального портфеля проектов, показанный на рис.1.

Направления дальнейших исследований, связанных с данной темой, можно определить так:

- специфика отраслей и предприятий, которые не могут быть включены в региональный портфель проектов;
- механизм формирования портфеля региональных инновационных проектов;
- механизм формирования портфеля организационных проектов в региональных органах власти для обеспечения административной поддержки региональному портфелю инвестиционных проектов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бенко К., Мак-Фарлан Ф. *Управление портфелем проектов/ Пер. с англ.* – М., 2007.
2. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. *Модели и методы управления портфелями проектов.* – М., 2005. – 206 с.
3. Орр А. Д. *Управление проектами. / Пер. с англ.* – Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2006. – 210 с.

**ПОРТФЕЛЬНЫЙ ПОДХОД  
К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЭКОНОМИКИ**

---

4. Мазур И. И., Шапиро В. Д. *Управление проектами.* – М.: ВШ, 2003. – 850 с.
5. Нехаев С.А. *Формирование программ социально-экономического развития регионов // Экономика Украины.* -2004. – № 4. – С.141-151.
6. Шапошников Д. *Общэкономическая оценка инвестиционных программ и проектов // Экономист.* – 2001. – № 5. – С.24-32.
7. Блинов А., Ковалева В. *Инвестиции в регионы // Эксперт-Украина.* – 2006. – № 47. – С.76-84.

Надійшла 20.05.09

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

---

*На основании анализа особенностей проектов государственно-частного партнерства в статье разработаны методологические основы управления проектами данного класса.*

*На підставі аналізу особливостей проектів державно-приватного партнерства у статті розроблено методологічні основи управління проектами даного класу.*

*On the basis of analysis of features of projects of public-private partnerships methodological the projects of this class bases are developed in the article.*

**Ключевые слова:** *государственно-частное партнерство, жизненный цикл проекта, критерий минимаксного риска, распределение рисков.*

В последние годы в большинстве стран мира развитие экономики характеризуется расширением сферы государственно-частного партнерства (ГЧП) – формы взаимодействия государственного и частного секторов, которая предусматривает полную или частичную передачу субъектам частного сектора ответственности за оказание услуг на условиях адекватного распределения между его участниками рисков, ответственности и выгод, а также при сохранении контроля со стороны государства. С учетом имеющихся в мире тенденций, когда ГЧП возведено в ранг одной из наиболее приоритетных государственных задач, Украина не может и не должна дистанцироваться от разработки и внедрения соответствующих проектов. К сожалению, до сегодняшнего дня в нашей стране остались нерешенными вопросы определения рамок государственно-частного партнерства, отсутствует системный подход к развитию ГЧП в Украине. В этой связи на данный момент назрела необходимость по дальнейшему совершенствованию научной, правовой и институциональной баз для внедрения и развития ГЧП.

ГЧП подразумевает партнерство государства и частного сектора не только в ресурсном обеспечении реализации проекта, но и в разделении выгод и рисков. Преимуществами для каждой из заинтересованных сторон будут:

- для государственного сектора: обеспечение развития инфраструктуры ускоренными темпами; возможность предоставления более качественных услуг; привлечение средств и опыта частного сектора в области инвестиционного менеджмента; передача технологий и ноу-хау; передача части рисков частному сектору; эффективное управление объектом частного сектора; оптимальное распределение бюджетных средств; развитие локальных рынков капитала и банковской индустрии; привлечение частных и международных инвестиций; контроль за управлением ка-

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

---

чеством инфраструктуры; возможность проецирования опыта частных компаний в сфере создания объектов инфраструктуры на другие объекты, предполагающие финансирование из государственных источников;

- для частного бизнеса: открытие рынка, ранее принадлежащего государственному сектору; новые инвестиционные возможности и соответственно новые источники дохода; разделение рисков с государством; возможность забалансового ведения операций; возможность получения приемлемой нормы прибыли; приобретение опыта управления большими проектами; рост имиджа на рынке;

- для потребителей: обеспечение оптимального соотношения «цена – качество» для потребителей; лучшее распределение налоговых поступлений; лучшее качество и лучшее управление проектом; возможность получения положительного экстерналичного эффекта.

Главная проблема состоит в том, чтобы разработать такую методологию управления проектами с учетом особенностей проектов ГЧП, результат выполнения которых был бы в равной степени полезным и актуальным для всех заинтересованных сторон (властные структуры, бизнес, общество, потребитель) [1].

Целью настоящей статьи является разработка методологических основ управления проектами ГЧП с учетом особенностей данного типа проектов.

В рамках методологии проектного менеджмента [2, 3] в последние десятилетия разработаны множество методов, моделей и методик, направленных на повышение эффективности управления проектами в различных отраслях экономики – строительстве, инженерии, образовании и т.д. ГЧП с каждым годом также охватывает все больше сфер деятельности (см. табл.1) [4]. Для разработки основных методологических принципов управления проектами ГЧП проанализируем особенности этих проектов.

1. Жизненный цикл проекта. В соответствии с классическим определением: «Проект – это временное предприятие, предназначенное для создания уникальных продуктов, услуг или результатов» [2]. Термин "временное" означает, что у любого проекта во времени есть четкое начало и четкое завершение. Завершение наступает, когда достигнуты цели проекта; или осознано, что цели проекта не будут или не могут быть достигнуты, либо исчезла необходимость в проекте и он прекращается. На рис. 1 представлена стандартная структура жизненного цикла проекта, в соответствии с которой по окончании проекта начинается операционная деятельность, в результате которой и производится изъятие капиталовложений, то есть заказчик возвращает инвестиции, затраченные в ходе реализации проекта уже вне его жизненного цикла.

В проектах ГЧП продолжительность проекта определяется договором, при этом жизненный цикл включает в себя не только стадии строительства и ввода объекта в эксплуатацию, но и процесс извлечения прибыли инвестором за счет удовлетворения потребностей общества в продуктах проекта.

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ  
ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА**

2. Участники проекта, команда проекта. Участники проекта – это лица или организации, либо активно участвующие в проекте, либо на чьи интересы могут повлиять результаты исполнения или завершения проекта.

Таблица 1

*Степень внедрения ГЧП в экономику развитых стран*

Страна/ объекты	Авто- дороги	Ж/д линии	Водо- обес- пе- чение	Пере- работка и утили- зация	Энер- гетика	Здра- во- охра- нение	Обра- зование	Пени- тенци- арные заве- дения	Обо- рон- ный ком- плекс	Офи- сы
Австралия	V	V	V			V	O	V	V	
Бельгия	V	O	V	V		V	O			
Канада	V	V	V	V		O	O	V	O	V
Финляндия	V	O				V	O			V
Франция	V		V						O	
Германия	V	O	V	O					O	
Греция	V	V				O	O			
Голландия	V	O	O							
Ирландия	V	O	V	O	V		O	V		V
Италия	O	V	O	V						
Португалия	V	O	V			O			O	
Южная Африка	V		V			O	O	V		
Испания	V	V	V			V				
Великобри- тания	V	V	V	V		V	V	V	V	V
США	V		V					V	O	

**Примечание** - V – заключенные, O – объявленные сделки

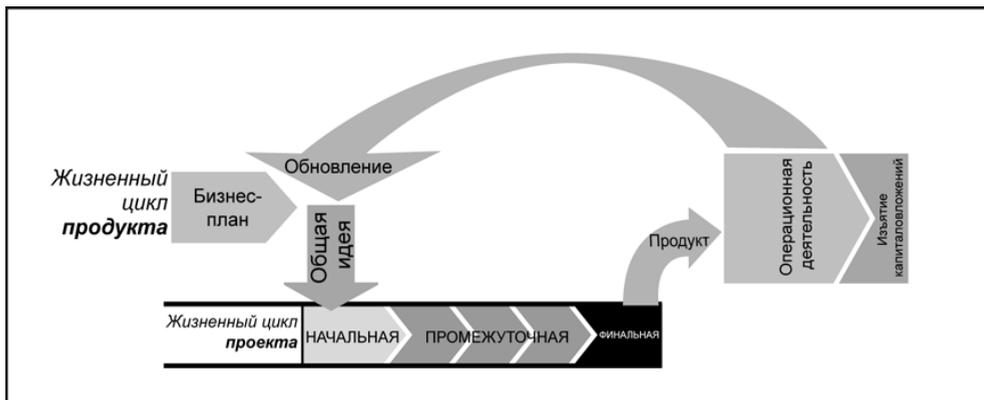
К ключевым участникам любого проекта относятся:

- менеджер проекта – лицо, ответственное за управление проектом;
- заказчик/пользователь – лицо или организация, которые будут использовать продукт проекта. Может существовать множество уровней заказчиков. Например, к числу заказчиков нового фармацевтического препарата могут относиться врачи, назначающие данный препарат, пациенты, которые его принимают, страховщики, которые его оплачивают. В некоторых областях понятия и пользователь совпадают, в то время как в других под заказчиком подразумевается юридическое лицо, получающее продукты проекта, а под пользователями – тех, кто будет непосредственно использовать продукт проекта;

- исполняющая организация – предприятие, чьи сотрудники непосредственно участвуют в исполнении проекта;

- члены команды проекта – группа, выполняющая работы по проекту;

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА



*Рис. 1. Взаимосвязь жизненных циклов проекта и продукта*

- команда управления проектом – члены команды проекта, непосредственно занятые в управлении его операциями;
- спонсор – лицо или группа лиц, предоставляющая финансовые ресурсы;
- источники влияния – лица или группы, которые напрямую не связаны с получением или использованием продукта проекта, но которые, в связи с их положением в организации-заказчике или исполняющей организации, могут положительно или отрицательно повлиять на ход выполнения проекта.

Особенностью проектов ГЧП является более тесная связь между их участниками, совмещение различных функций управления. Так, органы государственной власти и местного самоуправления в проектах ГЧП выступают не только источниками влияния, но и заказчиками, и спонсорами, и членами команды управления проектом.

Участники могут оказывать положительное или отрицательное влияние на проект. Положительно влияющие участники – это обычно те, кому выгодно успешное завершение проекта, тогда как отрицательно влияющим участникам успешное завершение проекта представляется нежелательным. Например, деловые круги общества, которое выиграет от проекта индустриального развития, могут быть положительно влияющими участниками, так как они видят экономическую пользу успешного проекта для общества. Наоборот, группы по защите окружающей среды могут быть отрицательными участниками, если они считают, что проект вредит природе. В интересах положительно влияющих участников будет помощь осуществлению проекта, например, в получении необходимых разрешений. Действия отрицательно влияющих участников могут заключаться в препятствовании осуществлению проекта путем требования более тщательных экологических инспекций. Команда проекта часто не об-

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

---

ращает внимания на отрицательно влияющих участников, рискуя провалить проект.

3. Миссия (цель) проекта. Одним из основных признаков проекта, отмеченным в его определении является его ограниченность во времени, то есть, проект завершается после достижения его цели. Следовательно, точное и четкое определение цели проекта является ключевым фактором для успешного управления его реализацией. Известный в теории управления проектами треугольник «стоимость – сроки – качество» доказывает, что в качестве целевой функции в проектах могут выступать параметры экономической эффективности, временные характеристики или критерии, определяющие уровень качества. В [4] при оценке экономической эффективности проектов предлагается использовать следующие характеристики:

- чистый доход (Net Value – NV);
- чистый дисконтированный доход (Net Present Value – NPV);
- внутреннюю норма доходности (Internal Rate of Return – IRR);
- индексы доходности затрат и инвестиций;
- дисконтированный срок окупаемости (Payback Period – PP).

В основе управления сроками проектов лежит сетевое моделирование, использование PERT или GERT-сетей. Не всегда удается определить формализованную функцию цели в проектах, нацеленных на повышение качества (окружающей среды, жизни, образования и пр). В работе [5] предлагается в подобных проектах введение параметра – интегрированный коэффициент качества и разработана методика его определения.

В проектах государственно-частного партнерства разные участники преследуют в ходе реализации проекта свои зачастую несовпадающие цели. Например, частный бизнес может быть заинтересован в минимизации капитальных вложений в проект, государственные органы – в сроке ввода объекта в эксплуатацию, а потребитель – в качестве продуктов проекта. В таких случаях представляется целесообразным рассматривать цели государственных органов, общественных организаций и потребителей как дополнительные ограничения, а миссию частного инвестора, участвующего в проекте, считать целевой функцией задачи оптимизации основных параметров проекта.

Основным недостатком большинства математических моделей, используемых в настоящее время, является нереальное предположение о строгой достоверности и однозначности всей используемой исходной информации и, следовательно, о строгой однозначности получаемых решений независимо от продолжительности расчетного периода. В то же время турбулентное окружение оказывает очень существенное влияние на ход реализации проекта и точность полученных на стадии планирования решений. Особенно сильно такое влияние будет проявляться в проектах ГЧП, поскольку их продолжительность измеряется годами, а зачастую и десятилетиями. За это время значения параметров принятой модели могут измениться настолько, что в запланированные цели и задачи проекта по-

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ  
ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА**

требуется внесение коррективов. Для повышения достоверности результатов планирования необходимо проведение дополнительного анализа устойчивости полученных решений.

Пусть область допустимых решений включает  $D$  вариантов реализации проекта ( $B_1, B_2, \dots, B_d, \dots, B_D$ ). Каждому варианту соответствует оптимальное решение, состоящее из массива значений переменных  $X_k$ ,  $k = 1, \dots, K$  и значения целевой функции  $E_{kd}$ . Сведем полученные результаты в матрицу возможных решений (рис. 2). Столбцы этой матрицы соответствуют отобранным совокупностям исходных данных  $B_d$ , а строки – возможным совокупностям оптимизируемых параметров  $X_k$ . По главной диагонали матрицы расположатся оптимальные значения целевой функции для каждой совокупности значений исходных данных ( $E_{11}, \dots, E_{kd}, \dots, E_{KD}$ ).

Оптимальное решение	Варианты исходных условий					
	$B_1$	$B_2$	...	$B_d$	...	$B_D$
$X_1$	$E_{11}$	$E_{12}$	...	$E_{1d}$	...	$E_{1D}$
$X_2$	$E_{21}$	$E_{22}$	...	$E_{2d}$	...	$E_{2D}$
...	...	...	...	...	...	...
$X_k$	$E_{k1}$	$E_{k2}$	...	$E_{kd}$	...	$E_{kD}$
...	...	...	...	...	...	...
$X_K$	$E_{K1}$	$E_{K2}$	...	$E_{Kd}$	...	$E_{KD}$

*Рис.2. Матрица возможных решений*

Для определения сравнительной эффективности рассматриваемых решений возможно использование одного из трех критериев:

- минимизация (максимизация) среднеарифметического значения целевой функции

$$E_{opt} = \min_k E_{cp} = \min_k \left( \frac{E_{k1} + E_{k2} + \dots + E_{kd} + \dots + E_{kD}}{D} \right) \quad (1)$$

либо

$$E_{opt} = \max_k E_{cp} = \max_k \left( \frac{E_{k1} + E_{k2} + \dots + E_{kd} + \dots + E_{kD}}{D} \right). \quad (2)$$

По существу критерий (1, 2) соответствует критерию минимума (максимума) математического ожидания в предположении, что вероятности отдельных совокупностей исходных данных равны. Если сочетания исходных данных имеют различные вероятности, данный критерий можно использовать в модифицированном виде, используя вместо средне-

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ  
ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА**

---

арифметического средневзвешенное значение  $k$ -ой строки матрицы возможных решений.

- критерий минимаксных затрат (Вальда)

$$E_{opt} = \min_k E_k^{\max} = \min_k \max_d E_{kd} \quad (3)$$

либо

$$E_{opt} = \max_k E_k^{\min} = \max_k \min_d E_{kd} \quad (4)$$

- критерий минимаксного риска (Сэвиджа)

$$E_{opt} = \min_k R_k^{\max} = \min_k \max_d R_{kd} \quad (5)$$

где  $R_{kd} = E_{kd} - \min_k E_{kd}$ ,

либо

$$E_{opt} = \max_k R_k^{\min} = \max_k \min_d R_{kd} \quad (6)$$

где  $R_{kd} = \max_k E_{kd} - E_{kd}$ .

Формулы (1), (3) и (5) используются, если оптимальное решение соответствует значению минимума целевой функции, а формулы (2), (4), (6) – максимуму.

Опыт реализации проектов ГЧП в странах с развитой экономикой показал, что все подобные проекты следует разделить на три большие группы [6]:

- контракты на управление и содержание;
- контракты на эксплуатацию и содержание;
- контракты на проектирование, строительство, финансирование и эксплуатацию (в том числе концессии).

Контракты на управление и содержание предусматривают осуществление субъектом частного сектора функций по управлению и обслуживанию объектов государственной собственности, принятию административных решений по текущей операционной и производственной деятельности. Такие контракты не предполагают внедрение существенных институциональных изменений передаваемого объекта. Основной целью таких контрактов является улучшение внутренней системы управления и операционной деятельности объекта. В этом случае за государственным сектором сохраняется общая ответственность перед потребителями за предоставление услуг, а также ответственность за решение задач по расширению, восстановлению и капитальному ремонту объектов. Такие кон-

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

---

тракты, как правило, заключаются сроком на 3-5 лет. Риски, возлагаемые на частный сектор, – невелики.

Контракты на эксплуатацию и содержание предусматривают аренду частным сектором производственных объектов и выполнение им функций оператора. Частный сектор несет ответственность перед потребителем, как оператор услуг. Цель заключения таких контрактов повышение операционной эффективности и улучшение качества оказываемых услуг, а также привлечение средств из частного сектора для финансирования объекта. Одной из форм данного вида является лизинг. Частный оператор покрывает потребности в оборотном капитале; в некоторых случаях он также финансирует замену и модернизацию части принимаемых активов. Финансирование основных капитальных вложений по восстановлению и расширению объекта и пр. остается обязанностью государственного сектора. Продолжительность таких контрактов 5-10 лет. Риски, возлагаемые на частный сектор, характеризуются, как средние.

Контракты на проектирование, строительство, финансирование и эксплуатацию (в том числе концессии) предусматривают осуществление субъектом частного сектора не только функций по управлению, содержанию и эксплуатации объекта концессии, но также по его финансированию, строительству или реконструкции. Другими словами, в отличие от других видов ГЧП, в рамках концессионных контрактов концессионер может принять на себя капитальные затраты по объекту. Кроме того, в некоторых случаях концессионер принимает себя ответственность за оказание сопутствующих услуг, например, по выставлению счетов на оплату услуг, сбор платежей и управление связями с общественностью. Государственный сектор оставляет за собой лишь функции и права регулятора. Концессионные контракты, как правило, заключаются сроком на 20-30 лет. Степень риска частного сектора высока.

Каждая из групп видов проектов ГЧП в свою очередь имеет различные формы, для каждой из которых следует рассматривать свои модели и методы управления проектами. Представляется целесообразным рассматривать каждую форму ГЧП как программу, которая включает в себя отдельные, но взаимосвязанные проекты (эксплуатация, содержание, функционирование, модернизация и т.д.) и, на основании моделей управления отдельными составными проектами разрабатывать модель управления программой ГЧП.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рач В.А. Методи оцінки альтернативних проектів стратегій регіонального розвитку // Матеріали конференції «Управління проектами: стан та перспективи», Миколаїв, 2009. С. 4-6.
2. Руководство к своду знаний по управлению проектами. Изд. 4-е. Project Management Institute, Inc., 2008. – 479 с.

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ  
ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА**

---

3. *Руководство по управлению инновационными проектами и программами предприятий Р2М. Том 1, Версия 1.2. Японская ассоциация управления проектами.* – К.: Науковий світ, 2009. – 173 с.
4. *Матвеев А.А. Модели и методы управления портфелями проектов.* – М.: ЗАО ПМСОФТ, 2005. – 248 с.
5. *Саванкова Н.Е. Развитие государственно-частного партнерства в новых членах Европейского союза - странах Восточной и Центральной Европы // Экономические науки.* – 2008. – № 45 (август). – С. 14 -22.
6. *Кеслер А.Я. Экономические основы государственно-частного партнерства // Автореф.диссерт. на соискание ученой степени канд. эконом. наук.* – М.: МГУ, 2007. – 24 с.

Надійшла 10.09.09

## ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS

---

*Предложены формальный метод описания структуры работ проекта и обобщенные характеристики структуры. Разработаны количественные методы оценки характеристик WBS с вероятностным и нечетким временем выполнения работ.*

*Запропоновано формальний метод опису структури робіт проекту та узагальнені характеристики структури. Розроблені кількісні методи оцінки характеристик WBS з ймовірним та нечітким часом виконання робіт.*

*A formal description method of project work structure and summarized characteristics are put for word. The quantitative methods of evaluating the WBS characteristics with a probabilistic and indistinct time of work execution.*

**Ключевые слова:** *управление проектом, структура работ, обобщенные характеристики, формализация структуры, вероятностные, нечеткие структуры.*

Ключевой проблемой в области проектирования сегодня и на ближайшую перспективу является эффективное управление проектами с высокой степенью неопределенности.

Решение этой проблемы окажет существенное влияние на развитие методологии управления проектами. Без развития методологии управления проектами в условиях неопределенности относительно целей, результатов, цен, конъюнктуры рынка, информации и т.п. невозможно эффективное управление как предприятием, так и экономикой страны.

Решение проблемы в общем виде требует применения абстрактных методов исследования высокого уровня. Насколько известно, публикации такого характера в настоящее время отсутствуют. Комплекс вопросов, связанных с оценкой рисков инвестиционных проектов рассмотрен в работах Балабанова И. Т., Гранатунова В. М., Недосекина А. О. Отдельные аспекты учета неопределенности в управлении проектами и программами исследованы в работах [1, 5-7], а также отражены в материалах конференций [2-4].

При рассмотрении подходов к решению ключевой проблемы проектирования желательно располагать количественными характеристиками источников неопределенности. Одним из основных из них является WBS. Известно, что WBS определяет все элементы проекта и служит основанием для разработки системы управления проектом. Недетерминированность WBS, порожденная, в частности, неопределенностью сроков выполнения работ и ресурсных затрат, является одним из факторов, вносящих неопределенность в процесс управления проектом. Без формального опи-

## ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS

---

сания *WBS* в этих условиях, изучения их характеристик невозможно осуществлять эффективное управление проектом. Данное обстоятельство обусловило цель настоящего исследования, которое состоит в разработке формального метода описания недетерминированной *WBS*, а также методов оценки характеристик структуры с вероятностными и нечеткими сроками выполнения работ.

Очевидно, что эффективное управление проектами и программами невозможно без их структуризации. Однако, далеко не очевидно, как осуществить наиболее рациональную структуризацию особенно в неопределенных условиях. Структуризация осуществляется с помощью нескольких моделей: дерева целей, дерева решений, дерева работ, организационной схемы исполнителей, структуры используемых ресурсов и издержек, матрицы ответственности, сетевой модели и других.

Среди перечисленных моделей структуризации проектов дерево работ, графически отображающее иерархическую структуру разбиения работ (*WBS – Work Breakdown Structure*) на подпроекты, пакеты работ различного уровня, пакеты детальных работ является основным инструментом формирования системы управления проектом. *WBS* позволяет решать задачи рациональной организации работ, осуществлять обобщение их графиков, стоимости, ресурсных затрат, распределять ответственность и т.д.

Процесс управления проектом практически всегда протекает в условиях неопределенности и рисков, обусловленных неполнотой информации, неточностью и неоднозначностью данных, наличием факторов случайности, субъективности, непредвиденными обстоятельствами и т.д. Все это естественным образом приводит к тому, что детальные работы, пакеты работ любого уровня, подпроекты, т.е. все работы *WBS* по срокам и ресурсным затратам носят вероятностный или нечеткий характер.

Учитывая, что временной фактор является одним из определяющих в процессе управления проектом, рассмотрим структуру работ, оценивая каждый пакет работ с точки зрения совокупных временных характеристик: оптимистического и пессимистического темпа выполнения, интервала продолжительности, функции распределения (для вероятностного случая) и функции принадлежности (для нечёткого), работ, определённых на интервале продолжительности.

Разрабатывая общетеоретический подход к анализу *WBS* с вероятностной и нечёткой структурой работ с целью получения обобщённых количественных характеристик структуры, необходимых для планирования, контроля и коррекции процесса управления проектом на каждой фазе его жизненного цикла, необходимо прежде всего формализовать описание любой структуры работ. С этой целью будем использовать понятие "пакет работ" (*ПР*) в широком смысле для обозначения совокупности взаимосвязанных работ любого уровня от подпроекта до детальных работ. Отметим, что все характеристики *ПР* рассматриваются в дальнейшем применительно лишь к интервалу продолжительности выполнения всего

**ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS**

пакета работ независимо от того, когда пакет работ начал или закончил выполняться. Иначе говоря, горизонтальные связи между *ПР* в данном случае не имеют значения. Необходимость их учета возникает при разработке на основе *WBS* сетевого графика проекта, представляющего собой композицию сетевых графиков *ПР*.

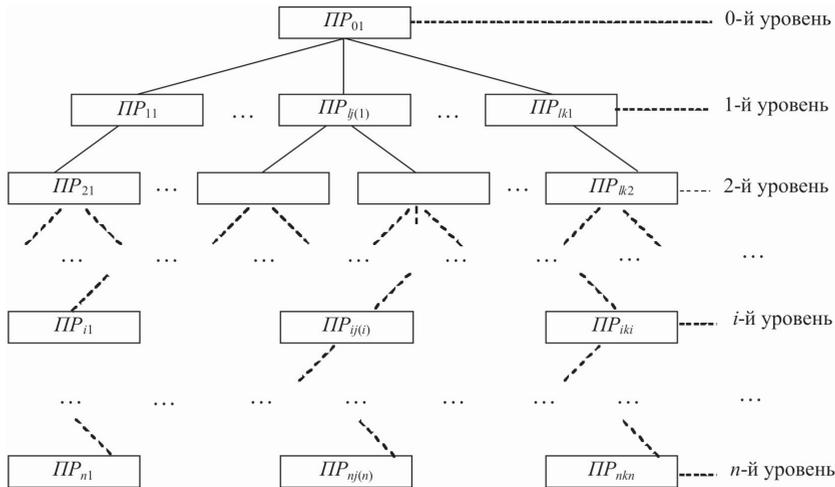


Рис. 1. Формальная структура работ проекта

Обозначим через  $ПР_{01}$  корневую вершину дерева работ (собственно сам проект), а через  $ПР_{j(i)}$  обозначим  $j(i)$ -й пакет работ  $i$ -го уровня, где  $i = \overline{0, n}$ ;  $j(i) = \overline{1, k_i}$  ( $k_0 = 1$ );  $n$  – число уровней (определяет глубину декомпозиции работ проекта), а  $k_j$  – общее число пакетов работ на  $i$ -м уровне (рис.1). Обозначение  $j(i)$  подчеркивает тот факт, что предел изменения этого индекса зависит от уровня  $i$ .

Очевидно, что общее число вершин  $N$  в дереве работ  $N = \sum_{i=0}^n k_i$ .

Образуем матрицу  $B = \{b_{ij}\}$  ( $i, j = \overline{1, N}$ ) строки и столбцы которой однозначно связываются с пакетами работ ( $ПР_{01}, ПР_{11} \dots ПР_{k1}, \dots, ПР_{i1}, \dots, ПР_{iki}, ПР_{n1}, ПР_{nkn}$ ), а значение ее элементов  $b_{ij}$  положим равными единице, если пакет работ, соответствующий  $i$ -ой строке, связан в дереве работ с пакетом работ, соответствующим  $j$ -му столбцу, и равным нулю в противном случае. При этом  $b_{ii} = 0$   $b_{ij} = b_{ji}$ . Фактически матрица  $B$  есть симметрическая матрица смежности графа, вершинами которого являются пакеты работ. Обозначим через  $A = \{ПР_{ij(i)}\}$  множество всех пакетов работ структуры. Тогда совокупность множества  $A$  и матрицы  $B$  есть формальное описание структуры работ

$$WBS = \langle A, B \rangle. \tag{1}$$

## ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS

Формула (1) позволяет не только формально описывать любые структуры работ, но и за счет вариации самих пакетов работ и связей между ними осуществлять поиск оптимальной (по некоторому критерию) структуры. Заметим также, что формула (1) является универсальной, т.к. с ее помощью аналогичным образом можно описать любые модели структуризации проекта.

С практической точки зрения формальное описание вида (1) для случая вероятностной и нечеткой структур работ целесообразно расширить, дополнив это описание еще одним множеством  $C = \{OХПР_{ij(i)}\}$ , где ОХПР – обобщенные характеристики пакета работ, в частности, степень неопределенности (энтропия) пакета, ожидаемая или наиболее возможная (для нечеткой структуры) продолжительность выполнения работ и другие показатели.

Рассмотрим способы определения указанных характеристик для каждого случая неопределенности работ (вероятностного и нечеткого) отдельно в предположении, что для всех недекомпозируемых пакетов известны объемы работ (в натуральном или стоимостном выражении), а также оптимистический, пессимистический и наиболее вероятный темп их выполнения.

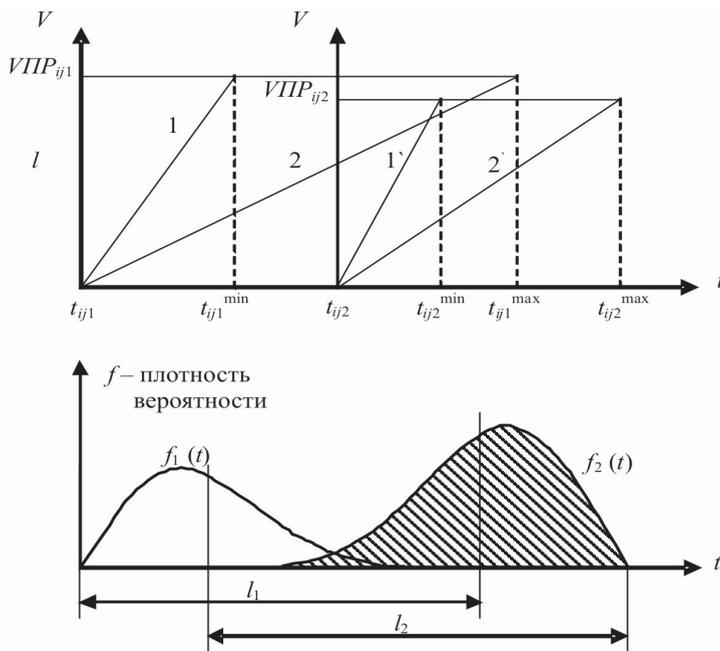
**Вероятностный случай.** Данный случай характеризуется тем, что известны функции распределения вероятностей или их плотности для ПР на интервале продолжительности работ  $I$ . Границы интервала определяются точками пересечения прямых 1(1') и 2(2'), определяющие оптимистический (пессимистический) темп работ, с соответствующими объемами работ  $V_{ПР}$  (рис. 2). Это даёт возможность для каждой вершины дерева работ, т.е. недекомпозируемых пакетов работ, вычислить ожидаемое время выполнения работ  $t_{ож}$ , среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ , вероятность окончания работ в любой момент времени из интервала  $I = [t^{\min}, t^{\max}]$ .

Соответствующие характеристики декомпозируемых пакетов работ последовательно определяются по их составляющим, начиная с "висячих" ПР. Так, например, если какой-либо пакет работ любого уровня разбит на два пакета работ, то, очевидно, его характеристикам следует приписать характеристики составляющего пакета с большим значением правого конца интервала продолжительности  $I$  (рис. 2). Этот принцип сохраняется при любом числе разбиений ПР на составляющие.

Таким образом определяются временные характеристики и функции распределения всех  $ПР_{ij(i)}$ , что даёт возможность оценить меру неопределённости – энтропию каждого пакета, уровня и проекта в целом (при  $i = 0$ ). Действительно, для дискретного распределения, когда моменты окончания работ  $t_q \in I$  заданы соответствующими вероятностями  $P_{ij(i)}(t_q)$ , энтропия произвольного пакета будет определяться формулой

$$H(ПР_{ij(i)}) = - \sum_{q=1}^{I_{ij(i)}} P_{ij(i)}(t_q) \log P_{ij(i)}(t_q), \quad (2)$$

**ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS**



*Рис.2. Вероятностный случай.  
Иллюстрация оценки временных параметров  
декомпозированного пакета работ*

энтропия *i*-го уровня

$$H_i = \max_{1 \leq j(i) \leq k_i} H(PP_{ij(i)}), \quad i = \overline{0, n}. \tag{3}$$

Если же время окончания работ пакета, как случайная величина, непрерывно распределена на интервале продолжительности *I*, то энтропия *PP* может быть с любой степенью точности рассчитана следующим образом. Покроем соответствующий интервал *I*  $\epsilon$ -сетью

$$t_q = t^{\min} + q\epsilon, \quad q = \overline{0, l-1}, \quad l = \frac{t^{\max} - t^{\min}}{\epsilon}.$$

Вероятность того, что работы закончатся в интервале

$$T_q = [t_q, t_q + \epsilon]$$

равна

$$P_{ij(i)}(T_q) = \int_{t_q}^{t_q + \epsilon} f_{ij(i)}(t) dt, \tag{4}$$

## ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS

где  $f_{ij(i)}(t)$  – плотность распределения вероятностей моментов окончания работ пакета  $PP_{ij(i)}$ .

Далее можно воспользоваться формулами (2) и (3).

**Нечёткий случай.** При нечётком описании работ возможные продолжительности работ пакета  $t \in I$  могут быть определены как элементы нечёткого (размытого) множества  $F \subset I$ , являющегося подмножеством интервала работ  $I$ . Принадлежность элемента  $t$  нечёткому множеству  $F$  описывается обычно так называемой нормальной функцией принадлежности (характеристической функцией) со значениями из интервала  $[0, 1]$  т.е.  $\mu_F(t) \in [0, 1]$ . Конкретные значения функций  $\mu_F(t)$  определяются экспертным путём или на основании опытных данных.

Очевидно, что на одном и том же интервале  $I$  нечёткие множества и соответствующие им функции принадлежности могут быть определены не единственным образом, а как совокупности множеств  $\{F_i\}$ . Нечёткие множества совокупности, при этом, как правило, пересекаются. Здесь необходимо для каждого недекомпозированного пакета работ определиться – рассматривать ли моменты окончания работ пакета на пересечении или объединении нечётких множеств  $\{F_i\}$ . Легко видеть, что более жёсткая оценка для нечёткого интервала моментов окончания работ  $F$  будет получена в первом случае, а более мягкая – во втором. При этом в соответствии с правилами операций с нечёткими множествами будут найдены следующие значения для функций принадлежности в первом случае:

$$F = \bigcap_{i=1}^p F_i \neq \emptyset \Rightarrow \mu_F(t) = \min_i \{\mu_{F_i}(t)\},$$

во втором

$$F = \bigcup_{i=1}^p F_i \Rightarrow \mu_F(t) = \max_i \{\mu_{F_i}(t)\}.$$

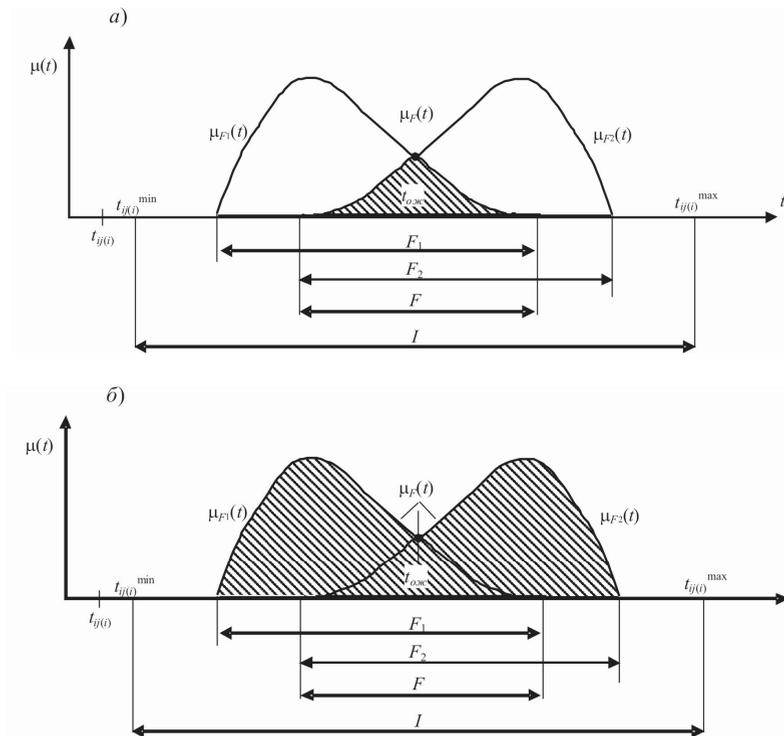
Тогда наиболее ожидаемый момент окончания работ будет равен

$$t_{ож} = \arg \max_t \mu_F(t).$$

На рис. 3 проиллюстрированы оба случая (а – первый, б – второй) при наличии двух размытых множеств  $F_1$  и  $F_2$ ;  $\mu_F(t)$  – огибающая заштрихованной области.

Оценка нечёткого интервала продолжительности работ и соответствующей функции принадлежности для декомпозированного пакета работ осуществляется по такому же принципу, как и для вероятностного случая. А именно, нечёткий интервал (с соответствующей функцией принадлежности) выбирается из условия максимума значений правого конца интервалов тех пакетов работ, на которые разбит данный проект.

**ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS**



*Рис. 3. Нечеткий случай.*

*Графическая иллюстрация определения функции принадлежности на интервале продолжительности работ I*

Для оценки энтропии произвольного пакета работ поступим следующим образом. Если функция принадлежности  $\mu(t) \geq 0$  определена на дискретном множестве точек  $\{t_q\}$ ,  $q = \overline{1, p}$ , следует выполнить операцию нормирования этих значений, вводя новые значения

$$\mu^*(t_q) = \frac{\mu(t_q)}{\sum_{q=1}^p \mu(t_q)}, \quad q = \overline{1, p} \Rightarrow 0 \leq \mu^*(t_q) \leq 1, \quad \sum_{q=1}^p \mu^*(t_q) = 1. \quad (5)$$

Теперь энтропию пакета работ можно определить по формуле аналогичной (2)

$$H(IPP_{ij(i)}) = - \sum_{q=1}^p \mu_{ij(i)}^*(t_q) \log \mu_{ij(i)}(t_q).$$

Это даёт возможность по формуле (3) определить энтропию любого уровня, включая проекта в целом.

## ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS

При непрерывном задании функции принадлежности  $\mu(t)$  оценка энтропии производится аналогично вероятностному случаю с заданной плотностью распределения (см. формулу (4)) с последующим нормированием согласно соотношениям (5).

Рассматривая случай нечетких пакетов работ, нетрудно заметить аналогию с вероятностным случаем. Однако в данном случае имеет место существенное преимущество, которое состоит в том, что нет необходимости обосновывать использование той или иной функции распределения вероятностей, добиваться высокой точности исходных данных и расчетов.

Итак, если образовать множество обобщенных характеристик работ  $C$ , включив в него рассчитанные выше параметры и ряд других, то получим более полное по сравнению с формулой (2) описание структуры в виде

$$WBS = \langle A, B, C \rangle. \quad (6)$$

Здесь множество  $A$  определяет объекты структуры работ; матрица  $B$  – отношения между ними;  $C$  – свойства. Каждый из этих элементов структуры может быть расширен и углублен.

Существующий инструментарий и техника планирования хорошо подходят для управления проектами в условиях четкого определения возможностей и обстоятельств. Предложенный метод описания недетерминированной WBS и ее характеристик позволит более полно учитывать реальные условия, повысить надежность планирования, осуществлять сравнительный анализ различных вариантов проектных решений с точки зрения степени неопределенности.

В плане дальнейших исследований представляет интерес анализ WBS в случае неопределенности связей между работами, соответствующего расширения множества  $C$  и автоматизации расчетов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Арефьев О. Ю. Расчет и оптимизация чистой текущей стоимости инвестиционного проекта в нестабильных экономических условиях / О. Ю. Арефьев, О. В. Афтанюк, Ю. И. Бурименко // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. праць. – 2000. – № 2(1). – С. 57-60.
2. Афтанюк О. В. Описание WBS проекта с вероятностной и нечеткой структурой работ / Афтанюк О. В. // Матеріали IV міжн. наук.-практ. конф. Управління проектами: стан і перспективи, 24-26 вересня 2008 р. – Миколаїв, 2008. – С. 35-37.
3. Афтанюк О. В. Управленческая деятельность по проекту в неопределенной рыночной среде / Афтанюк О. В. // Матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. Економіка та управління в умовах побудови інформаційного суспільства, 21-23 квітня 2009 р. Ч.2. – Одеса, 2009. – С. 57-58.

**ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ WBS**

---

4. Афтанюк О. В. Многокритериальный анализ структур сложных систем с нечеткими связями / Афтанюк О. В. // Матеріали XII Міжн. наук.-практ. конф. ім. М. Кравчука, 15-17 травня 2008 р. – Київ, 2008. – С. 387.
5. Белоконь А. И. Учет неопределенности при планировании и управлении ресурсами / А. И. Белоконь, А. К. Капичин // Вісник академії Наук та інформ. Бюл. / ПДАБ та А. – Дніпропетровськ, 1999. – № 2. – С. 17-26.
6. Белоконь А. И. Учет неопределенности в практике УП / Белоконь А. И. // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. праць. – 2002. – № 1(4). – С. 18-23.
7. Бурименко Ю. И. Оценка надежности проектно-ориентированных программ социально-экономического развития региона / Ю. И. Бурименко, А. В. Тишейкина // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць. – 2006. – Вип. 19. – С. 225-232.

Надійшла 05.08.09