

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

23

Міністерство освіти і науки України



ВІСНИК

**ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Збірник наукових праць

ВИПУСК 23

Заснований у 1998 році

Одеса – 2007

Вісник Одеського національного морського університету: Збірник наукових праць. – Випуск 23. – Одеса: ОНМУ, 2007. – 215 с. Українською, російською та англійською мовами.

Збірник містить роботи по актуальним проблемам теорії корабля, проектування, сучасних та перспективних типів суден та їх силового устаткування, морським шляхам і портам, питанням управління роботою морського транспорту у сучасних умовах.

Сборник содержит работы по актуальным проблемам теории корабля, проектирования современных и перспективных типов судов и их силовых установок, морским путям и портам, вопросам управления работой морского транспорта в современных условиях.

The issue holds the collection of works on up-dated problems of: theory of ships, designing of modern and forthcoming types of vessels, ship machinery, sea routes and seaport, actual problems of merchant marine maintenance under existing economical condition.

Редакційна колегія:

д-р техн. наук, проф. **Ю.Л. Воробйов** – відп. редактор,
д-р техн. наук, проф. **Шумлянський І.Ф.** – заст. відп. редактора,
д-р техн. наук, проф. **Ананьїна В.З.**, д-р техн. наук, проф. **Вассерман О.А.**,
д-р техн. наук, проф. **Гришин В.О.**, д-р техн. наук, проф. **Дубровський М.П.**,
д-р техн. наук, проф. **Євдокімов В.Д.**, д-р техн. наук, проф. **Івановський В.Г.**,
д-р техн. наук, проф. **Клованич С.Ф.**, д-р техн. наук, проф. **Козляков В.В.**,
д-р техн. наук, проф. **Козірев В.К.**, д-р екон. наук, проф. **Лапкіна І.О.**,
д-р екон. наук, проф. **Махуренко Г.С.**, д-р екон. наук, проф. **Морозова І. В.**,
д-р екон. наук, проф. **Постан М.Я.**, д-р техн. наук, проф. **Сизов В.Г.**,
д-р екон. наук, проф. **Якушенко В.Г.**, д-р техн. наук, проф. **Яровенко В.О.**,
д-р физ.-мат. наук **Андронов І.Л.**, **Силакова Г.І.** – відп. секретар.

Друкується за ухвалою Вченої ради
Одеського національного морського університету
від 28.11.2007 р. (протокол № 3)

ВЛАДИМИР ПЛАТОНОВИЧ ЦЕСЕВИЧ –
Выдающийся ученый, педагог, организатор науки
и ее популяризатор



В.П. Цесевич (1907-1983) возглавлял одесскую астрономию в 1944-1983 гг. Под его руководством Астрономическая обсерватория (АО) ОГУ стала одним из ведущих астрономических центров. В 1948-1950 гг. его талант организатора и руководителя проявляется и при руководстве Главной Астрономической обсерваторией Академии Наук Украины. В 1948 году его избирают членом-корреспондентом АН УССР. В 1952-1953 и 1962-1967 гг. он также одновременно профессор и заведующий кафедрой высшей математики ОИИМФ (ныне ОНМУ).

В нашей памяти оставили глубокий след огромная энергия и энтузиазм В.П. Цесевича, который был не только выдающимся ученым и организатором науки, основателем школы исследователей переменных звезд, но и блестящим лектором и популяризатором астрономии. Неполный (как оказалось) список его публикаций насчитывает 753 названия, в том числе более чем десяток монографий. На английский язык были переведены только две – «Затменные звезды» и «Звезды типа RR Лиры», заграничные коллеги до сих пор вспоминают их и даже считают «настоящими книгами». Под его руководством, астрономическая обсерватория становится одним из ведущих научных центров страны, расширяется ее тематика и наблюдательные базы, создаются метеорный патруль и «Служба неба» – Одесская стеклотека, которая по количеству полученных снимков звездного неба занимает третье место в мире после Гарварда (США) и Зоннеберга (Германия).

Математическое моделирование результатов наблюдений звезд позволяет исследовать детали их строения и эволюции и исследовать физические процессы в экстремальных космических условиях, недостижимых для земных лабораторий.

Популярная книга «Что и как наблюдать на небе» была издана 6 раз и сразу же становилась библиографическим раритетом. Она инициировала занятия наукой (и не только астрономией) многих читателей нескольких поколений. Пусть не все читатели стали астрономами, но эту книжку, также как и его талантливые и эмоциональные профессиональные и публичные лекции, помнят и до сих пор.

Количество сделанных Владимиром Платоновичем наблюдений переменных звезд разных типов превышает рекордные 250 тысяч. Важная часть наблюдений была сделана в Кембриджском университете. Американский астроном Уильям Лиллер вспоминал Владимира Платоновича, его энергию, трудоспособность и чувство юмора. В начале 90-х гг., на международных конференциях, когда кто-либо говорил, что он из Одессы, то у зарубежных коллег с нашим городом возникала ассоциация: фильм «Броненосец Потемкин» и профессор Владимир Платонович Цесевич.

Его лекции были чарующими. Он с увлечением читал сложные математические курсы, в частности «Дополнительные главы математической физики» и два семестра «Релятивистской астрофизики» он излагал так, как будто читал поэму. Звонков на перерыв для Владимира Платоновича не существовало – он выводил многочисленные формулы без «шпаргалок» – и потому заканчивал тогда, когда сложный математический вывод в несколько страниц завершался. Таким образом, он утверждал процесс творчества и возможности самостоятельного решения сложных задач.

Для студентов астрономического отделения физического факультета по инициативе Владимира Платоновича добавлялись различные математические курсы – методы вычислений, дополнительные главы теории вероятностей, специальные функции, методы математической физики, теория случайных процессов, теория размерностей и подобия, планирование эксперимента и др. В большем объеме читались тензорный анализ и дифференциальная геометрия в курсе релятивистской астрофизики.

Ряд воспоминаний и интервью «его и о нем» приведен на сайте <http://ibs2007.pochta.ru>.

13-18 августа 2007 г. в память о Владимире Платоновиче Цесевиче в г. Одессе работала международная конференция «Современные проблемы астрономии», на которую было представлено 225 докладов из многих стран (<http://astro-observatory.odessa.ua>). Работало 10 секций по различным направлениям его научных интересов.

11 октября, в день его рождения, в Одесском национальном морском университете прошла однодневная конференция «Математическое моделирование объектов и процессов», а потом в Одесском Доме Ученых состоялся вечер памяти В.П. Цесевича, организованный Одесским Астрономическим Обществом.

Просматривая личное дело Владимира Платоновича, хранящееся в архиве Одесского национального морского университета (N 3670), трудно не обратить внимание на высокий уровень ежегодных разрешений, приходящих из министерства, на работу в ОИИМФ по совместительству. Владимир Платонович настолько зарекомендовал себя разносторонней личностью с глубокими знаниями в различных областях, что, например, в телеграмме из Министерства морского флота от 9 августа 1952 года написано «зачисление Цесевича полставки профессора любой кафедры разрешаю».

В пункте 34 анкеты перечисляются «Места службы с начала самостоятельной работы». В ней 8 записей, начиная с аспирантуры Ленинградского государственного университета (1927), и заканчивая Одесским государственным университетом (1944). Эта запись в трудовой книжке была последней, несмотря на то, что анкета заполнялась 2 октября 1952 года. С той поры было преподавание в Одесских вузах, в том числе работа в 1952-1953 и 1962-1967 гг в Одесском институте инженеров морского флота (ОИИМФ) профессором и заведующим кафедрой высшей математики. Отметим, что в последующие годы на кафедре высшей математики ОИИМФ преподавали и ученики В.П. Цесевича: Олег Ефимович Мандель (впоследствии доцент Одесского политехнического института) и Юрий Дмитриевич Руссо (впоследствии старший научный сотрудник астрономической обсерватории). Впрочем, великолепные лекции Владимира Платоновича, читавшиеся на физико-математическом факультете университета, вспоминают и ветераны ОНМУ Николай Спиридонович Сторожук и Владимир Николаевич Дреков.

Несмотря на то, что основные научные интересы В.П. Цесевича были связаны с астрофизикой переменных звезд разных типов, его докторская диссертация базировалась на результатах математического моделирования кривых блеска затменных двойных звезд. В 30-е годы расчеты проводились на арифмометрах и поэтому привычное сейчас компьютерное моделирование кривых блеска с перебором множества комбинаций параметров было невозможно. Основной упор делался на составление детальных таблиц, определение предварительных значений модельных параметров и последующее их уточнение методом дифференциальных поправок. Оптимизация алгоритмов вычислений, использование специальных функций требовали высочайшего уровня математической культуры. Особо запомнились примеры определения периодов переменных звезд в условиях немногочисленности наблюдений, которые

сочетали в себе математическую точность с мастерством факира (или, как сейчас говорят, «гуру»), выбирающего из множества возможностей оптимальную.

Впрочем, он запомнился не только блистательными лекциями от самых математизированных до популярных, не только серией монографий и учебников, не только эффективным руководством вверенными ему подразделениями, где бы они ни находились; не только сочетанием твердости и доступности. Владимир Платонович находил время для общения не только в высоких кабинетах Академии Наук, Министерства, городских и областных Советов, но и на телескопе, в планетарии и др. И было совершенно естественным его присутствие и в жюри первых передач «Клуба веселых и находчивых», и на заседаниях студенческого клуба «КВА-КВА» (Клуб веселых астрономов, клуб веселых астрономок), как, впрочем, и его личное участие в субботниках.

Я познакомился с Владимиром Платоновичем лично еще в школе. В планетарии он читал лекцию для юных астрономов – членов кружка – а потом пригласил нас, школьников, к себе в обсерваторию. На всю жизнь запомнил как он, выдающийся ученый, «сам» автор книги «Что и как наблюдать на небе», ведет себя со школьниками как с равными, как с коллегами.

«... Останься тверд, беседуя с царями,

Останься прост, беседуя с толпой ...»

как написал когда-то автор «Маугли» Р. Киплинг. А мы тем временем обсерваторию рассматривали, даже к некоторым приборам притронуться отважились. Он очень понятно и экспансивно о волшебной астрономии нам говорил. Впрочем, мы еще раз встретились с ним вечером, и он показал нам телескоп Кука, который до сих пор привлекает многих для наблюдений небесных тел. Первое, что мы увидели – были кольца Сатурна. Конечно, сейчас на компьютере можно увидеть его значительно большее и красивое изображение. Но непосредственное «общение с небом» не забывается. Сейчас, перечитывая его последнее интервью, кажется, что это кольцо Сатурна было как его талисман, который он хотел отдать следующим поколениям. Со временем было и прохождение планеты Меркурий по диску Солнца, и я снова его увидел вблизи. А через два года я стал студентом, и был весьма горд тем, что Владимир Платонович взял меня – сначала студента, а потом аспиранта – под свое руководство. Как оказалось, последнее в его жизни.

А вообще под его руководством защитили диссертации около 40 кандидатов наук, многие из которых впоследствии стали докторами физико-математических наук.

С той поры прошла четверть столетия, и активно идет научная работа не только его «научных детей», но и «научных внуков и правнуков». В.П. Цесевич был одним из основателей советской научной

школы исследователей переменных звезд, и основателем этой научной школы в Украине.

Требовательный к себе, он был требовательным и к другим. Он находил время следить за многочисленными новостями в астрономии и ставить наиболее актуальные задачи. Последним его научным увлечением стала магнитная катаклизмическая двойная звезда А.М. Геркулеса, которая была интерпретирована беспрецедентным влиянием магнитного поля сверхплотной звезды – белого карлика – на аккрецию плазмы, Владимир Платонович организовал ее регулярные наблюдения, даже сам перемерял блеск по полученным другими негативам. На вопрос – «зачем проводить регулярные наблюдения, если эту звезду наблюдали на больших телескопах?», он очень метко ответил: «Если камень падает возле окна, и мы его фотографируем, то потом можно наивно удивляться – что это за сила, которая поддерживает его в воздухе! Но, если мы сравниваем несколько снимков, то видим динамику процесса, и едва ли сделаем ошибочный вывод. И пусть в программе наблюдений телескопа будет только эта звезда!» Дальнейшие исследования доказали, насколько он был прав, и сколь интересные наблюдательные результаты были получены, давшие основание для построения сложных математических моделей астрофизических процессов. Но это совсем другая история.

Владимир Платонович Цесевич был очень разнообразным, как и звезды, которые он исследовал. С большой Буквы – дотошный Ученый и блистательный Педагог, тщательный Автор и доходчиво объясняющий Популяризатор, настойчивый Организатор и веселый Шутник – настоящий Профессор и Учитель.

И.Л. Андронов,
доктор физико-математических наук, профессор,
лауреат премии НАН Украины,
декан факультета довузовской подготовки молодежи,
и.о. зав. кафедрой «Высшая и прикладная математика» ОНМУ

ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС И ПРОБЛЕМЫ ОБНОВЛЕНИЯ ПАРКА ПОРТОВЫХ КРАНОВ МОРСКИХ ПОРТОВ УКРАИНЫ

Приведена структура и анализ состояния портов Украины, предложены основные направления для разработки Программы обновления парка портовых кранов морских портов Украины.

Ключевые слова: *портальные краны, Реестр, остаточный ресурс, программа обновления.*

В морских портах Украины до 70% грузов перерабатывается перегрузочными комплексами с крановой схемой механизации.

Парк порталных кранов отрасли представлен зарубежными краностроительными корпорациями Германии, Венгрии, Финляндии, Италии, России (рис. 1). Распределение парка кранов по типам машин приведено на рис. 2.

В морские порты Украины централизованные плановые поставки порталных кранов прекратились в начале 90-х годов. За последние 17 лет структура их парка в отрасли изменилась незначительно.

Эксплуатационный ресурс порталных кранов заканчивается, требуется проведения работ по обновлению основных фондов портовой механизации в отрасли, поскольку степень износа парка кранов превышает 95%.

В табл. 1 даны основные показатели парка кранов отрасли, а также отмечен характер изменения структуры. Как видим, за указанный период количество кранов в отрасли увеличилось с 588 до 591 единицы, средний возраст вырос с 25,6 до 27,8 лет, средний коэффициент использования с 0,3 до 0,31, а средняя производительность на один кран – с 91,7 до 130 т/ч.

Обновление парка кранов осуществляется преимущественно в крупных портах, таких как Одесский, Южный, Мариупольский. Остальные порты пополняются в основном кранами старыми, бывшими в употреблении, что еще больше наполняет основные фонды изношенным оборудованием. Модернизация имеющихся кранов является наиболее выгодным и одним из наиболее экономичных способов продления их эксплуатационного ресурса. Однако планы модернизации кранов по отрасли не выполняются.

Вопрос выполнения планово-предупредительных ремонтов кранов в портах является одним из наиболее проблематичных. Недостаточные

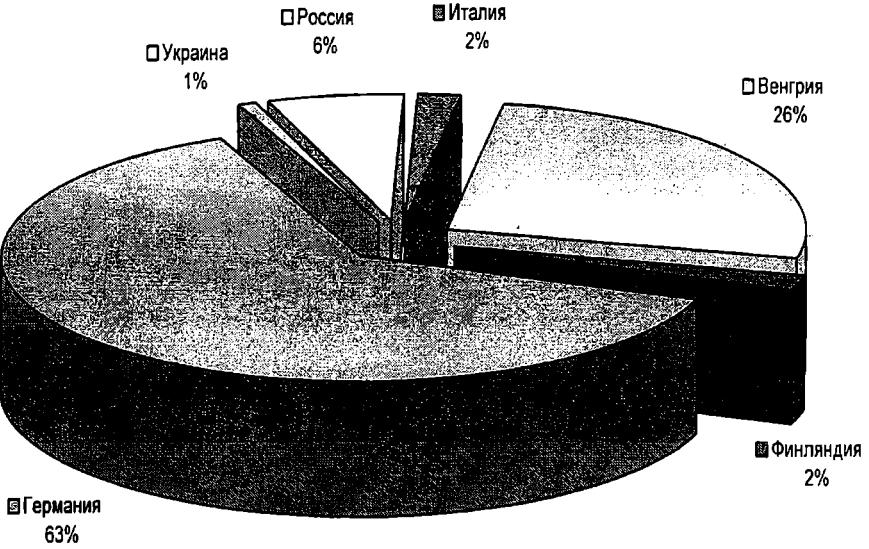


Рис. 1. Структура парка порталных кранов Украины по странам-изготовителям

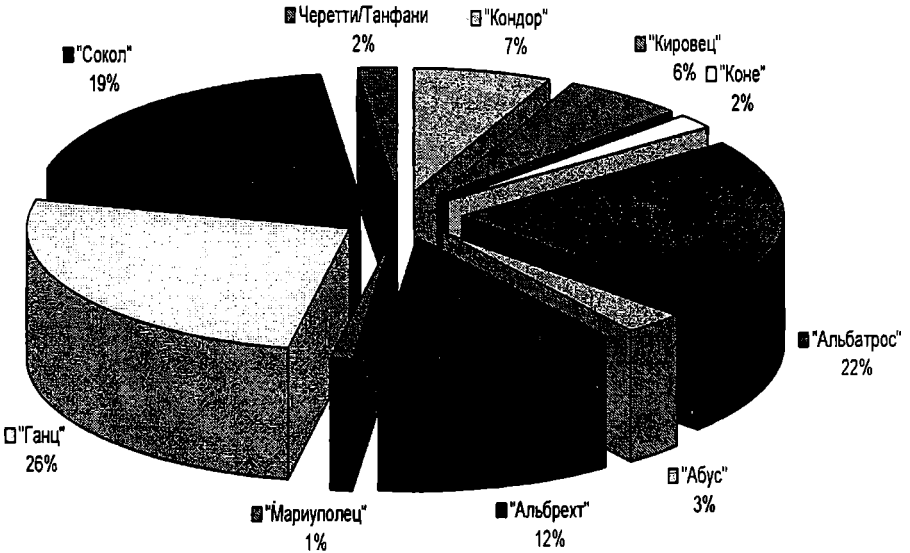


Рис. 2. Структура парка порталных кранов Украины по типам машин

Оборудование и эксплуатация морских портов

Таблица 1

Основные показатели парка портальных кранов портов за 2002-2006 гг.

№ п/п	Порты	Кол-во кранов						Средний возраст (лет)						Средний коэффициент использования парка кранов			
		По Реестру		2003	2004	2005	2006	По Реестру	2003	2004	2005	2006	2003	2004	2005	2006	
		24	34	23	35	35	22	27,0	26,4	27,4	28,1	29,3	0,21	0,25	0,28	0,29	
1	Б. - Днестровский	4	4	1	1	23,5	23,5	25,0	26,0	27,0	-	-	-	-	-	-	
2	Бердянский	5	5	4	4	23,6	23,6	24,3	25,3	26,3	-	0,28	0,38	0,36	0,36	0,36	
3	Генгический	54	53	53	53	26,3	26,1	27,1	28,1	29,1	0,32	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	
4	Евпаторийский	109	109	107	105	31,9	31,9	32,7	33,3	34,3	0,31	0,27	0,24	0,24	0,24	0,24	
5	Измаильский	30	31	34	34	27,5	27,5	27,9	28,9	29,9	0,20	0,41	0,38	0,45	0,45	0,45	
6	Ильичевский	55	57	57	58	22,8	22,0	23,0	22,9	23,5	0,46	0,40	0,43	0,46	0,46	0,46	
7	Керченский	36	36	36	37	25,4	25,4	26,4	27,4	28,4	0,39	0,37	0,34	0,31	0,31	0,31	
8	Мариупольский	77	79	78	78	25,1	25,0	25,8	26,4	27,1	0,23	0,21	0,23	0,23	0,23	0,23	
9	Николаевский	20	20	20	20	24,6	24,6	25,6	26,6	27,6	0,16	0,10	0,20	0,20	0,20	0,23	
10	Одесский	54	54	54	53	24,1	24,1	25,1	26,1	27,1	0,06	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	
11	Октябрьский	4	4	4	3	20,8	20,8	21,8	23,7	24,7	0,22	0,22	0,20	0,20	0,20	0,26	
12	Ренийский	4	4	4	4	24,5	24,5	25,5	26,5	27,5	0,04	0,07	0,02	0,02	0,02	0,04	
13	Севастопольский	4	4	4	4	22,3	22,3	23,3	24,3	25,3	-	-	-	-	-	-	
14	Скадовский	4	4	4	4	23,6	23,6	24,6	25,3	24,9	0,20	0,25	0,22	0,22	0,22	0,24	
15	Усть-Дунайск	16	16	16	17	26,1	26,4	27,4	28,0	29,0	0,26	0,46	0,48	0,48	0,48	0,41	
16	Феодосийский	18	18	18	17	15,4	15,0	15,6	16,2	17,2	0,48	0,58	0,43	0,43	0,43	0,47	
17	Херсонский	34	35	38	39	15,4	15,0	15,6	16,2	17,2	0,48	0,58	0,43	0,43	0,43	0,47	
18	Южный	6	5	5	5	25,7	24,4	25,4	26,4	27,4	-	0,20	0,79	-	-	-	
19	Ялтинский	588	592	591	591	25,6	25,4	26,3	26,9	27,8	0,30	0,31	0,30	0,31	0,30	0,31	
Итого по отраслям:		588	592	591	591	25,6	25,4	26,3	26,9	27,8	0,30	0,31	0,30	0,31	0,30	0,31	

объемы финансирования ремонтных работ не позволяют обеспечить восстановление работоспособности предельно изношенного перегрузочного оборудования, в связи с чем имеет место тенденция неконтролируемого разрушения парка порталных кранов.

В последние годы значительно увеличились отказы, аварии, в том числе с разрушением металлоконструкций по причине усталостных и коррозионных повреждений, отказов отдельных механизмов и систем.

На рис. 3 приведен пример разрушения стреловой системы порталного крана из-за коррозионно-усталостного разрушения расчетных металлоконструкций (Херсонский морской торговый порт, 13.02.2007).

На рис. 4 приведен пример разрушения группы порталных кранов при порыве ветра из-за неисправности противоугольных рельсовых захватов (Белгород-Днестровский морской торговый порт, 16.05.2006)

Следует отметить, что стоимость одного порталного крана превышает 2 млн. евро.

Значительное ухудшение технического состояния кранов имеет место в таких портах как Белгород-Днестровский, Бердянский, Ильичевский, Керченский, Николаевский, Херсонский.

Коэффициент использования кранов на грузовых работах является характеристикой, формирующей основные экономические показатели, которые определяют целесообразность содержания старого или приобретения нового крана.

Анализ использования портовых кранов отрасли показывает, что 105 порталных кранов в отрасли имеют коэффициент использования $K_{исп} = 0,0 - 0,07$, в том числе 52 крана имеют $K_{исп} = 0,00$, а 82 крана – $K_{исп} = 0,0 - 0,03$, т.е. до 20% парка кранов отрасли простаивают.

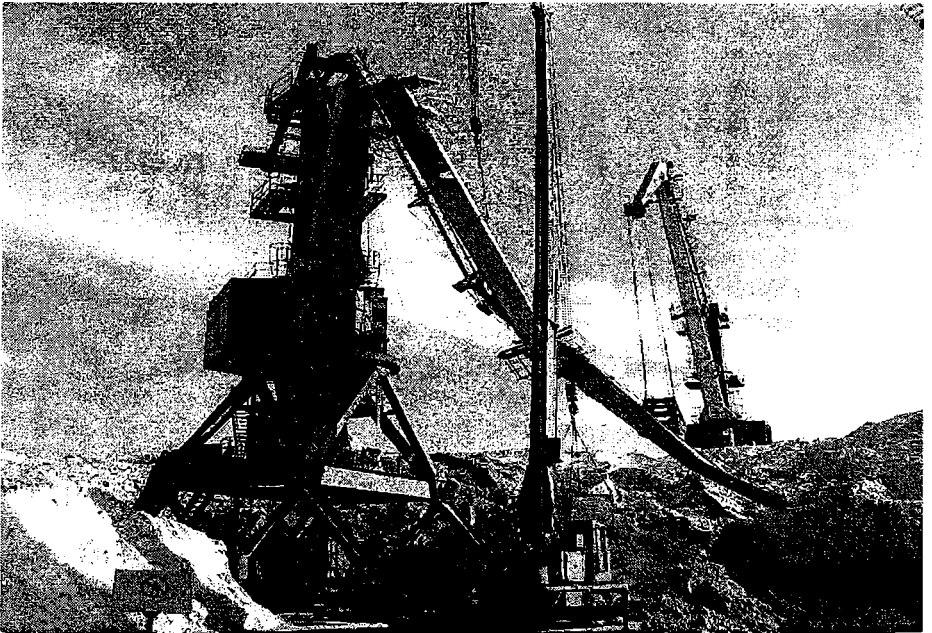
По данным Реестра парка кранов отрасли построена расчетная кривая снижения остаточного ресурса порталных кранов отрасли (рис.5).

Расчеты показывают, что, если не принять срочные меры по обновлению основных фондов, существующие темпы снижения эксплуатационного ресурса портовых кранов отрасли приведут к снижению технической возможности парка кранов выполнять перегрузочный процесс уже в 2007-2008 гг. с переходом в критическую стадию в 2009-2010 гг.

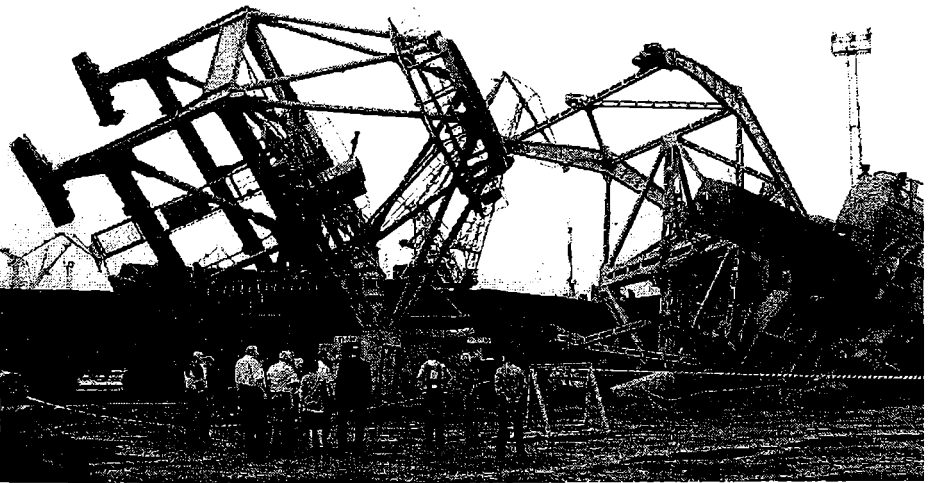
Например, уже сегодня имеет место критическое состояние эксплуатационного ресурса порталных кранов в Ильичевском морском порту (рис. 6). Степень износа порталных кранов превышает интенсивность обновления парка. Отдельные краны по сроку эксплуатации достигают 50 лет, что в 2-3 раза превышает нормативные сроки эксплуатации.

Анализ состояния парка портовых кранов отрасли показывает, что необходимо создание Программы обновления портовых кранов. При формировании такой Программы необходимо учитывать следующее:

1. Анализ технической оснащенности передовых зарубежных портов показывает, что порталные краны с шарнирно-сочлененной стреловой системой является морально устаревшей конструкцией, обладаю-



*Рис. 3. Аварийное разрушение стреловой системы портального крана
(Херсонский МТП)*



*Рис. 4. Аварийное разрушение группы портальных кранов
(Белгород-Днестровский МТП)*

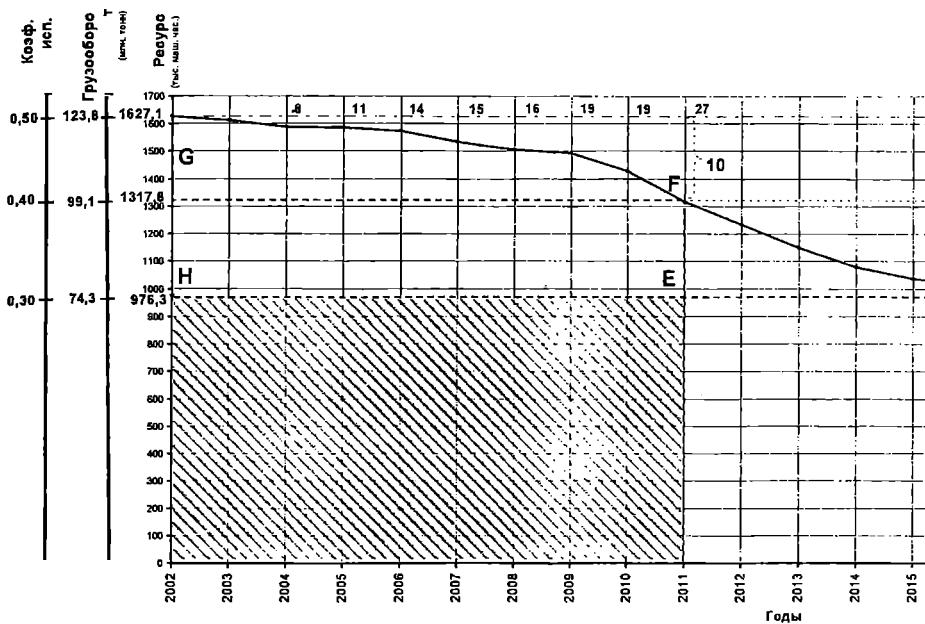


Рис. 5. Характер снижения эксплуатационного ресурса портальных кранов отрасли

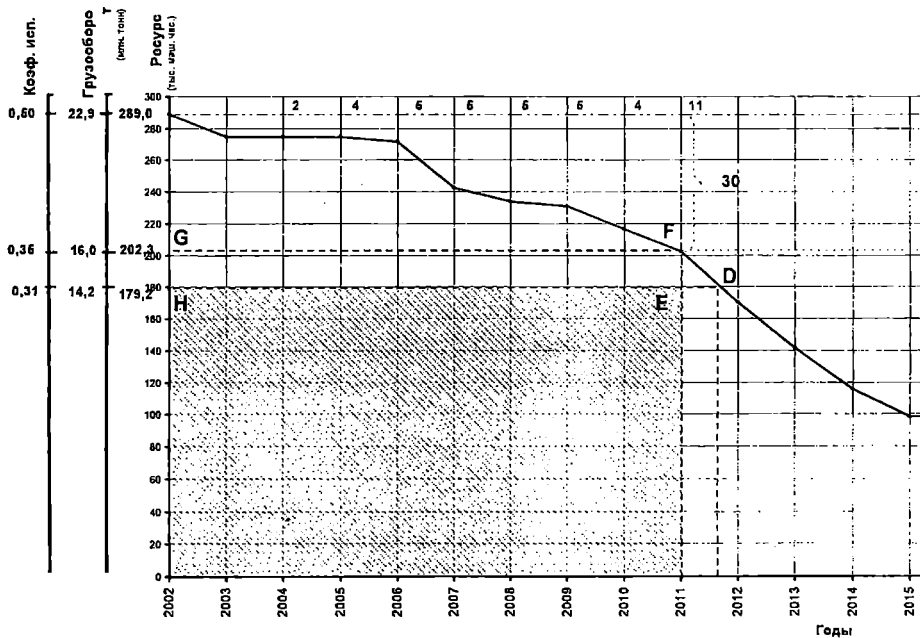


Рис. 6. Характер снижения эксплуатационного ресурса портальных кранов Ильичевского порта

щей высокой металлоемкостью, энергоемкостью, стоимостью, ограниченной мобильностью, эта конструкция требует больших затрат на обслуживание и ремонт. Принципы конструирования таких машин сформированы в 40-х г. прошлого столетия. Сегодня эти машины интенсивно вытесняются кранами с принципиально новыми конструктивно-технологическими решениями.

2. Сформировавшееся направление по пополнению отрасли новыми порталными кранами за счет их изготовления на отечественных заводах («Азовмаш», «Новокраматорский», «КонеУкраина» и др.) требует анализа и обоснования экономической целесообразности.

Известно, что на отработку качественной технологии изготовления портового крана требуются десятки лет. Наполнение отрасли морально устаревшими конструкциями порталных кранов неопределенного качества может оказаться экономически убыточным для портов и отрасли.

Выборочный контроль качества кранов, изготовленных, например, Азовмашем (кран «Азовмаш» для порта Южный, кран «Азовец» для порта Мариуполь), дает крайне неудовлетворительные результаты.

3. Поставку новых кранов рекомендуется проводить под существующие грузопотоки для обеспечения высоких коэффициентов использования новых кранов (не хуже $K_{исп} = 0,7$). Расчеты показывают, что при высоком $K_{исп}$ (0,6-0,8) окупаемость затрат на приобретение нового крана не превышает одного года. Это позволяет формировать краткосрочные кредитные линии (лизинг) с быстрой окупаемостью.

4. При поставках новых кранов в крупные порты высвобождающиеся краны, бывшие в употреблении, рекомендуется передавать в малобюджетные порты (если поставка новых кранов не связана с формированием новых причалов или грузопотоков). При таком подходе в отрасли формируются современные высокопроизводительные порты, оснащенные современным перегрузочным оборудованием, и усиливается парк кранов малых и средних малобюджетных портов, которые не могут самостоятельно покупать новые краны.

5. Рекомендуется разработать график массового списания морально устаревших, физически изношенных, экономически убыточных кранов. Остаточная стоимость таких кранов, как правило, завышена в связи с накоплением значительных затрат на ремонты, вызванных большими сроками эксплуатации и большим износом кранов. В некоторых портах затраты на ремонты старых кранов соизмеримы с затратами на приобретение новых.

Для оперативного списания старых кранов с завышенной остаточной стоимостью требуется пересмотр нормативных документов по списанию основных средств.

6. При разработке технологии грузовых работ в портах следует планировать загрузку портовых кранов, которая обеспечивает высокий

коэффициент их использования. Зарубежный опыт, в том числе опыт российских портов, показывает, что высокий коэффициент использования портовых кранов достигается при применении мобильных кранов и порталных мобильных кранов.

Расчеты показывают, что повышение $K_{исп}$ с 0,3 (средний по отрасли) до 0,7 обеспечивает значительное повышение экономических показателей: окупаемость – в 3,5 раза; годовую прибыль – в 2,5 раза; фондотдачу – в 3,5 раза; стоимость основных фондов снижается в 2,7 раза; количество кранов в отрасли снижается более чем в 2 раза.

7. Современные тенденции в мировой портовой практике, в том числе в передовых портах России (Санкт-Петербург, Новороссийск, Туапсе, Ванино, Находка, Восточный и др.), ориентированы на оснащение парка перегрузочных машин кранами нового поколения – мобильными и портално-мобильными. По конструктивным особенностям и эксплуатационным характеристикам такие краны имеют значительные преимущества перед традиционными конструкциями порталных кранов.

Компоненты электрогидростатического привода по отношению к компонентам электропривода обеспечивают снижение плотности мощности примерно в десять раз, что позволяет снизить энергоемкость приводов механизмов и общую массу крана.

В сотни раз снижаются моменты инерции приводов механизмов, значительно уменьшаются динамические нагрузки на металлоконструкцию. При равных параметрах по грузоподъемности у мобильных кранов в 1,5 раза меньше масса крана, меньше нагрузка на причал, энергопотребление на 30% ниже, чем у порталных кранов, запасные части имеют в несколько раз меньше габариты, размеры и вес.

Крупные плановые ремонты (текущие, капитальные) для таких кранов не планируются в связи с тем, что в период технического обслуживания осуществляется последовательная плановая замена запасных частей согласно расчетному сроку эксплуатации.

8. В мировой практике развивается тенденция внедрения в портах специализированных перегрузочных комплексов. Следовательно, при наличии устойчивых грузопотоков на отдельных причалах, где стоят предельно изношенные краны, целесообразна замена крановых схем механизации на высокопроизводительные специализированные перегрузочные комплексы, в том числе для навалочных грузов, что позволит снизить капитальные затраты на приобретение основных средств при значительном увеличении производительности грузовых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пустовой В.Н. *Металлоконструкции грузоподъемных машин. Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса.* – Одесса: ТЭС, 2007. – 256 с.
2. Махутов Н.А. *Проблемы разрушения, ресурса и безопасности технических систем: Сб. научн. трудов.* – Красноярск: Ассоциация КОДАС-СибЭРА, 1997. – 520 с.
3. Андрейкив А.Е. *Пространственные задачи теории трещин.* К.: Наукова Думка, 1982. – 348 с.
4. Пустовой В.Н. *Портальные краны отрасли: мониторинг технического состояния // Порты Украины.* – № 1 (63). – 2007. – С. 54-58.

Надійшла 10.10.07

НАГРУЗКИ НА ШПАЛЬНО-БАЛЛАСТНОЕ ОСНОВАНИЕ РЕЛЬСОВЫХ ПУТЕЙ ТЯЖЕЛЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Предложен способ определения нагрузок на шпально-балластное основание рельсовых путей тяжелых грузоподъемных кранов, исходя из расчетной схемы в виде неразрезной балки на упругоподатливых опорах.

Ключевые слова: полушпала, грузоподъемный кран, рельсовый путь, неразрезная балка, упругоподатливая опора, линия влияния.

При установке современного перегрузочного оборудования в портах необходима, как правило, реконструкция рельсовых путей, в том числе на участках со шпально-балластным основанием. При этом требования к эксплуатационным характеристикам и долговечности рельсовых путей повышаются, поскольку ненормативное их техническое состояние приводит впоследствии к дорогостоящим ремонтам грузоподъемных кранов.

Одним из экономичных решений является применение железобетонных полушпал, которые менее металлоемки относительно железобетонных балок и плит. Однако, нормативных документов, регламентирующих проектирование и расчет рельсовых путей с таким конструктивным решением в Украине нет.

В Белоруссии были проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния фрагмента рельсового пути по железобетонным полушпалам [1], на основе которых с помощью уточненной конечно-элементной модели рельсового пути разработана упрощенная методика определения нагрузки на полушпалу с применением графических зависимостей распределения единичной нагрузки от колеса крана между отдельными полушпалами. Однако графики представлены только для средней части рельса, что недостаточно, поскольку максимальные нагрузки возникают в полушпалах, близких к скреплениям рельс.

Для исследования распределения единичной нагрузки от колеса на полушпалу рельсовых путей тяжелых грузоподъемных кранов можно воспользоваться методом сил, что позволит также определить нагрузки на полушпалы вблизи скреплений рельс.

Передача нагрузок от кранов осуществляется колесами балансирной тележки через рельс на полушпалы и далее по подошве полушпал на балластное основание.

Расчетная схема системы «колеса тележки крана – рельс – полушпала – балластное основание» принята в виде неразрезной балки (рельса) на упругоподатливых опорах (полушпала на балластном основании).

Коэффициент податливости опор определяется в зависимости от величины коэффициента постели основания ($c = 50 \dots 100 \text{ Н/см}^3$ [2]) и площади подошвы полушпалы

$$c_n = \frac{1}{C \cdot S}. \quad (1)$$

Жесткость неразрезной балки соответствует жесткости рельса [3].

Внешняя нагрузка принимается подвижной в виде системы связанных сосредоточенных сил, равных по величине максимальному давлению колеса крана на рельсовый путь и расположенных в соответствии с паспортной схемой размещения колес в балансирной тележке (рис. 1).

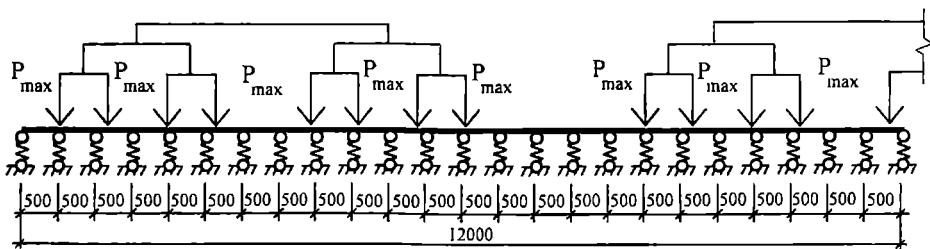


Рис. 1. Расчетная схема рельсового пути

Расчет неразрезной балки выполняется при помощи уравнения пяти моментов. Общее количество уравнений – 25. Алгоритм расчета включает построение линий влияния опорных реакций (сил, передаваемых на полушпалу) и далее определения величин опорных реакций при последовательных расположениях системы связанных сил с шагом 5 см и с учетом максимально возможного сближения кранов (принято минимальное расстояние между осями крайних колес сближенных тележек кранов 2,5 м [4]).

Длина балки (рельса) составляет 12 м; шаг опор принят 0,5 м. Неразрезная балка регулярна, содержит 24 равных пролета. Коэффициент податливости опор рассчитан исходя из размеров подошвы полушпалы 0,3×1,25 м (КШ-27).

Линии влияния для характерных опор приведены на рис. 2. Для наглядности графики условно не показаны в той части балки (рельса), где их ординаты близки к нулю. В расчете используется линии влияния по всей длине балки.

Сравнение линий влияния для средней опоры (рис. 2 а), построенной расчетным путем (схема в виде неразрезной балки) и полученной на

базе экспериментальных исследований [1], показывает их незначительное расхождение, которое обусловлено тем, что в эксперименте грунт балласта принимался песчаным, а в расчете – щебеночным.

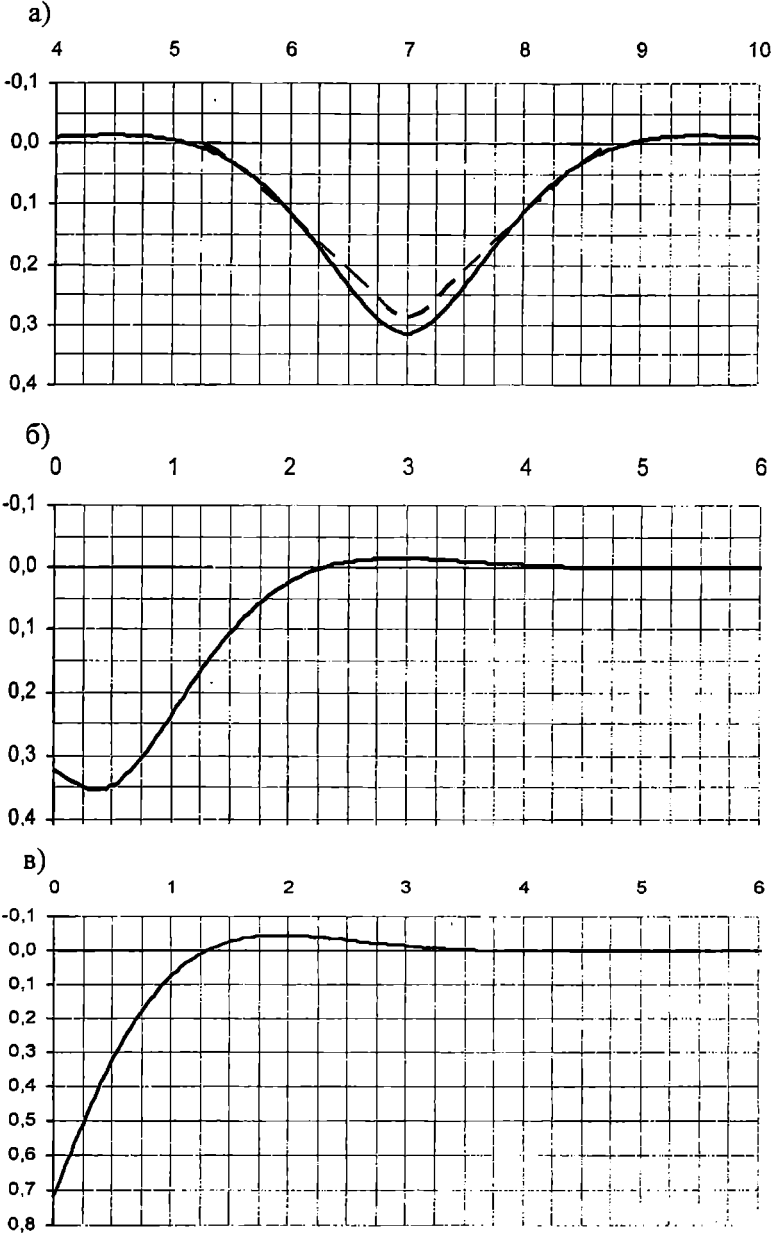


Рис. 2. Линии влияния опорных реакций (нагрузок на полушпалы)

а) л.в. R_7 ; б) л.в. R_1 ; в) л.в. R_0

— — — — — расчетные значения ординат линий влияния

- - - - - ординаты линии влияния на базе экспериментов [1].

Максимальное значение ординат линий влияния для опор в средней части рельса составило 0,314; для предпоследних опор – 0,353; для крайних опор – 0,715. Эти значения зависят от шага (размещения) опор, жесткости рельса, податливости балласта и площади подошвы полушпалы. Выраженный краевой эффект линий влияния крайних опор связан с тем, что в расчете не учтены рельсовые скрепления. Расчетные ординаты линий влияния опорных реакций крайних опор в зонах, близких к скреплениям, должны корректироваться введением поправочного коэффициента.

С помощью расчетных линий влияния произведен анализ нагрузок на полушпалы от тяжелых порталных кранов МАРК-45 и Кондор для случая регулярного размещения опор с шагом 0,5 м. Максимальные давления колеса кранов на рельс составляют: для МАРК-45 – 262,4 кН; для Кондор – 302,8 кН. Количество колес в тележках обоих кранов – 8. Размещение колес в балансирных тележках приведены на рис. 3. Подкрановый рельс - Р65. Балластное основание – уплотненная щебеночная призма.

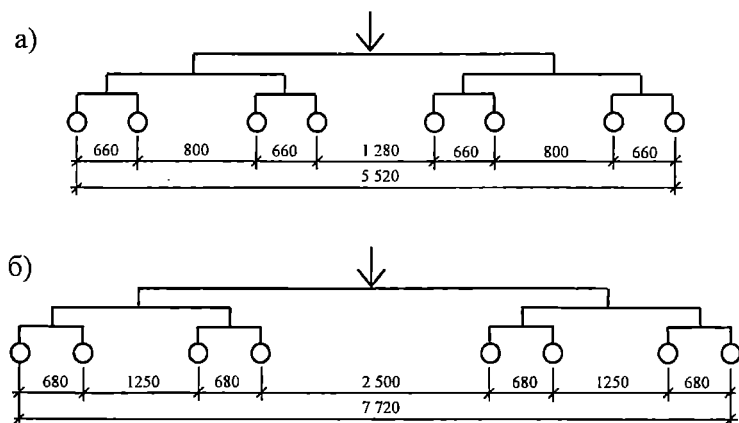


Рис. 3. Схема размещения колес в тележках кранов
а) МАРК-45; б) КОНДОР

Количество рассмотренных загрузений – 240 для каждого из вариантов сочетания порталных кранов МАРК-45 и Кондор. Максимальные расчетные значения величин опорных реакций (нагрузок на полушпалы) приведены в табл. 1 без применения поправочного коэффициента к нагрузкам на крайние опоры.

Граница между средним и крайними участками балки установлена исходя из допустимого среднего давления под подошвой полушпал на основание (уплотненная щебеночная призма), равного 5 кг/см².

Максимальные расчетные значения нагрузок на полушпалы

Показатель	МАРК 45 + МАРК 45	КОНДОР + КОНДОР	МАРК 45 + КОНДОР	Объемлю- щие значения
1	2	3	4	5
Максимальная реакция в опорах среднего участка балки, кН (тс)	184,2 (18,80)	174,9 (17,85)	183,9 (18,77)	184,2 (18,80)
Максимальная реакция в опорах крайних участков балки, кН (тс)	205,2 (20,94)	199,1 (20,32)	205,1 (20,93)	205,2 (20,94)
Максимальная реакция в крайних опорах балки, кН (тс)	246,6 (25,16)	276,5 (28,21)	277,0 (28,26)	277,0 (28,26)

В соответствии с результатами расчета для оговоренных исходных данных, средним является участок балки (рельса) длиной 7 м, крайними – участки длиной по 2,5 м.

На среднем участке при заданном шаге полушпал (0,5 м) обеспечено значение среднего давления на грунт под подошвой полушпалы не более 5 кг/см^2 ; на крайних участках для обеспечения условия, ограничивающего среднее давление $p_{cp} \leq 5 \text{ кг/см}^2$, необходимо уменьшение шага полушпал до 0,4-0,45 м либо (и) установка развитых железобетонных плит в зонах скреплений рельс.

Распределение усилий по длине шпалы определяется исходя из расчетной схемы – балка на упругом основании (гипотеза Винклера) с сосредоточенной силой, приложенной в середине.

Подбор поперечного сечения или проверка прочности заданных железобетонных полушпал выполняется обычным способом согласно СНиП [5; 6].

В результате выполненного исследования, можно сделать следующие выводы.

Сравнение расчетных и экспериментальных линий влияния показывает, что принятая расчетная схема рельсового пути в виде неразрезной балки на упругоподатливых опорах дает результат с достаточной для инженерного расчета точностью.

Предлагаемый алгоритм определения нагрузок на полушпалы рельсовых путей легко осуществим на любом современном ПК, в том числе в программе EXCEL.

Реализованный алгоритм позволяет выполнить расчетный анализ нагрузок на полушпалы при любых исходных данных (размещение полушпал, в том числе нерегулярное, площадь подошвы полушпалы, коэффициент постели основания) для различных вариантов перегрузочного оборудования.

В результате многовариантного расчетного анализа возможно разработать практические рекомендации по надежному и экономичному конструктивному решению рельсовых путей под заданные грузоподъемные краны.

Применение изложенного алгоритма расчета также позволяет сделать вывод о возможности использования полушпал определенной марки для рельсовых путей под перегрузочное оборудование [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаев А.Н., Шепелевич Н.И. Исследование взаимодействия рельсового пути из железобетонных полушпал с основанием // *Механіка ґрунтів, геотехніка, фундаментобудування: Зб. наук. праць. Вип. 6. Т. 1.* Київ: НДІБК. – С. 256-263.
2. СНиП 2.02.01-83. Основания и фундаменты // *Госстрой СССР.* – М.: Стройиздат, 1981. – 8 с.
3. ГОСТ 8161-75* Рельсы железнодорожные для дорог широкой колеи Р 65 // *Госстрой СССР.* – М.: Госстандарт, 1981. – 8 с.
4. РД 31.3.01.01-93. Руководство по технологическому проектированию морских портов. Ч. 1. М.: СоюзморНИИпроект, 1993. – 276 с.
5. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции // *Госстрой СССР.* – М.: ЦИТП Госстроя СССР. – 1985. – 79 с.
6. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов (к СНиП 2.03.01-84) // *Госстрой СССР.* – М.: ЦИТП Госстроя СССР. – 1986. – 312 с.
7. Заключение о возможности использования полушпал КШ-27 при капитальных ремонтах рельсовых путей портальных кранов. *Арх. № 1730.* Одесса: МАГВТ, 2007. – 16 с.

Надійшла 05.10.07

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВ

Обсуждается обоснование комплекса взаимосвязанных параметров и характеристик процесса планирования загрузки-разгрузки судов и формального представления их с использованием понятийного аппарата теории множеств и математической логики, что необходимо для корректной постановки и моделирования задач внутрипортового оперативного планирования.

Ключевые слова: *процесс обслуживания судов (ПОС), системообразующие элементы ПОС, множество параметров и характеристик ПОС, их дискретное представление.*

Исследование задачи, вынесенной в название данной статьи, наиболее активно и плодотворно проводилось в 60-70-е годы минувшего столетия. Именно в тот период была разработана в системной постановке методология оптимального управления процессом обслуживания судов (ПОС) в портах, а в ее контексте проблема оперативного планирования ПОС. Полученные при этом теоретические результаты оказались адекватными не только своему времени, но и, как показано в [1], сохраняют свою актуальность и на современном этапе.

Стержневая идея представленной в [1] концепции оперативного планирования ПОС заключается в разбиении (декомпозиции) этой процедуры на два взаимосвязанных этапа – распределения перегрузочных ресурсов порта между судами и использования ресурсов на судах в процессе их загрузки-разгрузки.

Представляется уместным во избежание разночтений определиться четко с понятиями «распределение» и «использование» ресурсов. Сделать это тем более необходимо, что в публикациях по управлению ПОС часто одну и ту же операцию с ресурсами иногда называют распределением, а иногда использованием.

Разграничение указанных понятий основывается на следующем простом факте [2]. Если использование ресурсов понимать как действие (акт), то в случае систем сложной структуры необходимо учитывать его (акта) двойственный аспект. Дело в том, что когда система-потребитель ресурсов рассматривается в целом, то процесс использования ресурсов в ней можно представить в виде двух последовательных этапов – распределения ресурсов между потребляющими их объектами системы и исполь-

зования ресурсов на отдельных объектах. В свою очередь, этап использования ресурсов на отдельных объектах можно снова расчленить на этапы распределения и использования в рамках каждого объекта. И этот процесс, очевидно, можно продолжить до тех пор, пока не будет достигнут уровень «элементарных» систем (объектов), в которых поступившие ресурсы уже не распределяются, а однозначно используются.

В случае ПОС перегрузочные ресурсы порта распределяются между судами, а затем используются при обслуживании отдельных судов. При этом этап использования ресурсов на каждом судне начинается с распределения ресурсов между грузовыми отсеками (люками) судна, после чего ресурсы используются при обработке отсеков.

Восприняв изложенную точку зрения, отметим, что она в полной мере реализована в [1; 2] с четкой локализацией этапов распределения и использования ресурсов при оперативном планировании ПОС. Между тем логика подсказывает (и это признается в [1]), что решение задачи распределения и использования ресурсов при управлении ПОС должно осуществляться в единстве, ибо только такой подход является ключевой предпосылкой системной оптимизации ПОС и разработки безупречных в теоретическом отношении методов оперативного планирования ПОС и его составных элементов.

Попытка устранить отмеченный пробел в теории управления ПОС является основной целью данной статьи, обобщающей важнейшие предпосылки разработки экономико-математической модели оперативного планирования ПОС на основе параллельного решения задач распределения и использования ТЛ порта при обслуживании судов.

Предварительно отметим, что к перегрузочным ресурсам порта (ПРП) принято относить причалы, складские емкости и площади, средства механизации, рабочую силу и другие элементы портового производственного потенциала. При исследовании ПОС каждый из перечисленных видов ресурсов допустимо рассматривать в отдельности. Вместе с тем можно некоторые из них объединять в комплексы. Обычно такой прием используется для формирования технологических линий (ТЛ) в виде совокупности некоторого набора перегрузочных машин и бригады докеров. Вместе с тем в качестве оперативного комплекса ПРП удобно, как будет показано ниже, рассматривать причал в единстве с функционирующими на нем ТЛ. Последний вариант комплексирования ПРП, отличный от принятого в [1; 2] и в других публикациях (например, в [3; 4]), принимается к рассмотрению в данной статье.

Следуя [1], будем трактовать ПОС в качестве динамической системы, краеугольными (системообразующими) элементами которой являются суда, грузы и ПРП. Очевидно, что состояние этой системы в любой момент времени (на протяжении любого отрезка времени) характеризуется текущими значениями параметров ее системообразующих элементов. Отсюда следует, что для моделирования ПОС

необходимо прежде всего выявить ключевые параметры элементов системы и зафиксировать взаимосвязи между ними.

Приступая к решению этого вопроса, отметим, что в упоминающихся выше публикациях в качестве единицы модельного времени используется один час, что связано с возможностью конструирования линейных моделей. Между тем ПОС как производственный процесс отличается достаточно высокой стабильностью и инертностью, в силу чего можно вполне свободно оперировать «единичными» отрезками времени большей длительности. Примем в качестве единицы модельного времени четырехчасовой интервал, которому, кстати сказать, по опыту многих портов мира соответствует одна рабочая смена минимальной продолжительности.

Далее будем именовать принятую единицу модельного времени сменой и присвоим ей шифр (номер) $\gamma, \gamma = 1, \sigma$. При таком условии интервал планирования (управления) ПОС будет включать в себя σ смен, а моменты его начала и окончания будут совпадать соответственно с первой ($\gamma = 1$) и последней ($\gamma = \sigma$) сменой.

Вначале определимся с параметрами рассматриваемой совокупности судов в единстве с характеристиками перевозимых ими грузов. Из анализа содержания ПОС с очевидностью вытекает, что к числу наиболее существенных относятся следующие параметры:

- момент (номер смены) прибытия в порт (τ_K^n);
- момент (номер смены) готовности к началу обслуживания в соответствии с нотисом (τ_K);
- количество грузовых люков (отсеков) судна ($m_K, i = \overline{1, m_K}$);
- весовая загрузка судна с указанием наименования грузов (q_{iK}^h);
- множество (перечень) наименований грузов (h), которое предстоит погрузить на судно или выгрузить из него ($H_K, h \in H_K$);
- технический предел концентрации ТЛ на судне (r) и его люках (r_i);
- сталийное время судна (T_K);
- расчетная сменная производительность ТЛ, дифференцируемая по наименованиям грузов (P_K^h);
- расчетная численность бригады докеров, входящей в состав ТЛ (W_K).

Отметим, что конкретные значения показателей, соответствующих перечисленным параметрам, должны быть определены к началу планового периода.

Обсудим теперь наиболее важные параметры перегрузочных ресурсов порта совместно с характеристиками грузов. Будем считать, что обслуживание судов может быть организовано на ρ технологически обособленных терминалах ($\delta = \overline{1, \rho}$), каждый из которых состоит из группы (множества) взаимозаменяемых причалов, специализированных по роду груза или направлениям перевозок. Пусть при этом для каждого терминала установлено расчетное количество одновременно обрабатываемых судов S_δ из условия $S_\delta \leq B_\delta$, $\delta = \overline{1, \rho}$, где B_δ количество причалов δ -го терминала.

Перечень охарактеризованных параметров портовых ресурсов необходимо дополнить еще двумя параметрами. Первому из них соответствует технический предел концентрации ТЛ на одном причале δ -го терминала (r_δ), а второму – численность контингента докеров, которые могут использоваться на судовых работах в γ -ю смену (W_γ).

Следующий этап исследования задачи состоит в преобразовании некоторых из охарактеризованных выше параметров ПОС и формирования их взаимосвязей, что необходимо для моделирования задачи.

Для определенности будем считать, что суда принимаются к обслуживанию в порту по правилу «Первым заявил дату прихода – первым принимаешься к обслуживанию», либо по другим правилам. Тогда суда могут быть пронумерованы в соответствии с принятым правилом, т.е. для любых $k, k^* \in S$, таких что $k < k^*$, справедливо $\tau_k \leq \tau_{k^*}$.

При указанном условии множество уже прибывших в порт судов $S_{\gamma\delta}$ к началу γ -й смены и готовых к загрузке-разгрузке на δ -м терминале считается упорядоченным в соответствии с установленной дисциплиной (очередностью) обслуживания, т.е.

$$S_{\gamma\delta} = \{k_r : k_r \in S, \delta_{kr} = \delta, \tau_{kr}^0 \leq \gamma, Q_{kr1}^\gamma > 0, k_r < k_{r+1}\}, \quad \delta = \overline{1, \rho}.$$

Обратим внимание на то, что в заявках на обслуживание судов загрузка их люков по наименованиям грузов q_{ik}^h указывается в весовых единицах. Между тем, как показано в [2], при моделировании ПОС удобнее оперировать загрузкой люков, измеряемой в единицах трудоемкости, (E_{ik}), определяемой по формуле

$$E_{ik} = \sum_{ik} q_{ik}^h / \rho_k^h, \quad i = \overline{1, m_k}, \quad k = \overline{1, s}.$$

В соответствии с принятым вариантом дискретного представления модельного времени перейдем к целочисленным значениям трудоемкости обработки судов (θ_k) и их люков (θ_{ik}). Примем

$$\theta_{ik} = \left[\sum_{i=1}^m \theta_{ik} + 0,5 \right], \quad k = \overline{1, s}.$$

Целочисленные значения параметра θ_{ik} определим по схеме минимизации погрешности за счет округлений. С этой целью перенумеруем люки каждого судна по убыванию (невозрастанию) трудоемкости, т.е. положим, что

$$\theta_{ik} \geq \theta_{(i+1)k}, \quad i = \overline{1, m_k}; \quad k = \overline{1, s}.$$

Очевидно, что между целочисленными и истинными значениями трудоемкости загрузки-разгрузки судов возможны соотношения вида «<», «=», «>». В каждом из этих случаев значения параметра θ_{ik} находятся по определенному правилу.

Так, если для некоторого судна К $\theta_k > \sum [\theta_{ik} + 0,5]$, то величина θ_{ik} вычисляется рекуррентно в порядке возрастания номеров люков этого судна по формуле

$$\theta_{ik} = [\theta_{ik} + 0,5] + \Delta_{ik}, \quad i = \overline{1, m_k},$$

где

$$\Delta_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } (\theta_k > \sum_{l \in m_{k-2}} \theta_{lk} + \sum_{l=i}^{m_k} [\theta_{lk} + 0,5]) \wedge ([\theta_{lk} + 0,5] < q_{ik}); \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В случае, если $\theta_k = \sum_{i=1}^{m_k} [\theta_{ik} + 0,5]$, значения θ_{ik} находятся из

соотношения

$$\theta_{ik} = [\theta_{ik} + 0,5], \quad i = \overline{1, m_k}.$$

Если же $\theta_k < \sum_{i=1}^m [\theta_{ik} + 0,5]$, то величина θ_{ik} вычисляются

рекуррентно в порядке убывания номеров люков судна по формуле

$$\theta_{(m_k - z)k} = [\theta_{(m_k - z)k} + 0,5] + \Delta_{(mk - z)k}, \quad z = 0; \quad m_k = 1,$$

где

$$\Delta_{(m_k - z)k} = \begin{cases} -1, & \text{если } (\theta_k < \sum_{l \in m_{k-z}} \theta_{lk} + \sum_{l=1}^m [\theta_{lk} + 0,5]) \wedge [\theta_{(m_k - z)k} + 0,5] > \theta_{(m_k - z)k}; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Обобщая вышеизложенное, отметим, что для значений параметров θ_{ik} и θ_k справедливы следующие соотношения:

$$\theta_{ik} \geq \theta_{(i+1)k} \geq 0, \quad i = \overline{1, m_k - 1}; \quad k = \overline{1, s};$$

$$\theta_k = \sum_{i=1}^{m_k} \theta_{ik}, \quad k = \overline{1, s}.$$

Рассмотрим теперь параметр ПОС, которому соответствует множество прибывших в порт судов $S = \{1, 2, \dots, k, \dots, s\}$. Выделим в нем переменные подмножества, формируемые в соответствии с действующей в порту дисциплиной принятия судов к обслуживанию.

Вначале определим подмножество судов, обслуживание которых возможно в течении γ -й смены $\gamma = \overline{1, \sigma}$ на причалах δ -го терминала ($D_{\gamma\delta} \subseteq S$) в соответствии с установленной очередностью, т.е.

$$D_{\gamma\delta} = \{ \kappa_\varepsilon : \kappa_\varepsilon \in S, \delta_{\kappa_\varepsilon} = \delta, \tau_{\kappa_\varepsilon}^n \leq \gamma, \theta_{\kappa_\varepsilon}^\gamma > 0, \kappa_\varepsilon < \kappa_{\varepsilon+1} \}, \quad \delta = \overline{1, \rho}.$$

Заметим, что при любом γ справедливо $D_{\gamma\delta} \cap D_{\gamma\varphi}$, если $\delta \neq \varphi$, так как каждое судно может быть обслужено только на одном терминале.

Выделим далее упорядоченное подмножество судов, получивших причал в γ -ю смену на δ -м терминале ($F_{\gamma\delta} \subseteq D_{\gamma\delta}$). Очевидно, что если все суда получили причалы, то $F_{\gamma\delta} = D_{\gamma\delta}$. В противном случае подмножество судов $F_{\gamma\delta}$ составляет лишь часть подмножества $D_{\gamma\delta}$ и равняется количеству причалов δ -го терминала (n_δ), т.е.

$$F_{\gamma\delta} = \{ \kappa_\varepsilon : \kappa_\varepsilon \in D_{\gamma\delta}, v \leq \min(|D_{\gamma\delta}|, n_\delta), \kappa_\varepsilon < \kappa_{\varepsilon+1} \}, \delta = \overline{1, \rho}.$$

Зафиксируем теперь подмножество судов, обслуживание которых должно осуществляться в γ -ю смену на δ -м терминале ($G_{\gamma\delta} \subseteq F_{\gamma\delta}$) в соответствии с регламентирующими ПОС условиями. Если при этом на все суда могут быть выделены ТЛ, то $G_{\gamma\delta} = F_{\gamma\delta}$. В противном случае в подмножество включаются суда подмножества $F_{\gamma\delta}$ лишь частично ($\kappa = \overline{1, \rho_\delta}, P_\delta < S$), т.е.

$$G_{\gamma\delta} = \{ \kappa_\varepsilon : \kappa_\varepsilon \in F_{\gamma\delta}, v \leq \min(|F_{\gamma\delta}|, P_\delta) \}, \delta = \overline{1, \rho}.$$

Определим подмножество судов для δ -го терминала, обслуживание которых в соответствии с поданным порту нотисом возможно в γ -ю смену ($R_{\gamma\delta} \subseteq F_{\gamma\delta}$)

$$R_{\gamma\delta} = \{ \kappa_\varepsilon : \kappa_\varepsilon \in F_{\gamma\delta}, \tau_\kappa^2 \leq \gamma \}, \delta = \overline{1, \rho}.$$

И, наконец, выделим подмножество судов, обслуживаемых на δ -м терминале в γ -ю смену и по которым идет счет сталийного времени ($V_{\gamma\delta}$)

$$V_{\gamma\delta} = G_{\gamma\delta} \cap R_{\gamma\delta}, \delta = \overline{1, \rho}.$$

Выполненная операция по определению перечисленных подмножеств судов позволяет ранжировать суда по их приоритету на первоочередное обслуживание, который убывает в последовательности $R_{\gamma\delta}, G_{\gamma\delta}, F_{\gamma\delta}, D_{\gamma\delta}$. Наличие такого правила позволяет также формировать очередности обслуживания судов, названные в [2], «вертикальными» (к отдельным причалам) и «горизонтальными» (по первоочередным судам каждого терминала).

Определившись с параметрами системы «суда-грузы-ПРП», перейдем к рассмотрению характеристик (переменных величин) ПОС при

условии задания их целочисленными значениями. Из содержательной сути ПОС следует, что его основными характеристиками являются:

- трудоемкость обслуживания судов перед каждым началом смены

$$\theta_{k\gamma} = \sum_{i=1}^m \theta_{ik\gamma}, \quad k = \overline{1, s}; \quad \gamma = \overline{1, \sigma}, \quad \text{причем } \theta_{ik1} = \theta_{ik};$$

$$\theta_{ik1} \geq 0, \quad i = \overline{1, m_k}; \quad \theta_{ik\gamma} \geq \theta_{(i+1)k\gamma}, \quad i = \overline{1, m_k - 1};$$

- остаток сталийного времени судна к началу γ -й смены – $T_{k\gamma}^o$,

причем

$$T_{k1} = T_k, T_{k\gamma} \geq 0;$$

- минимальное количество ТЛ, которое необходимо выделить на k -ое судно в γ -ю смену для своевременного (в сроки сталийного времени) завершения обслуживания судна

$$n_{k\gamma}, \quad k = \overline{1, s}; \quad \gamma = \overline{1, \delta};$$

- максимально допустимый уровень концентрации ТЛ на k -ом судне в γ -ю смену

$$n_{k\gamma}, \quad k = \overline{1, s}; \quad \gamma = \overline{1, \delta};$$

- плановое количество ТЛ по k -му судну в γ -ю смену

$$x_{k\gamma}, \quad k = \overline{1, s}; \quad \gamma = \overline{1, \sigma};$$

- номер смены, на протяжении которой планируется завершение обслуживания судна $\sigma_{k\gamma}$, $k = \overline{1, s}$.

Полагая, что отмеченные выше множество параметров и характеристик ПОС определены, а план распределения ТЛ между судами $\{x_{k\gamma}^*\}$ может быть найден, рассмотрим этап использования расчетного количества ТЛ на k -ом судне в течение всего периода его обслуживания.

Предположим, что на k -е судно в γ -ю смену выделяются $x_{k\gamma} = \pi$ ТЛ.

Оптимальный план их использования можно найти, используя предложенные в [1; 2] экономико-математические модели. Вместе с тем решение задачи можно найти на основе выработанной практикой эксплуатации портов принципах недопущения возникновения так называемого «лимитирующего» люка.

Суть указанного принципа заключается в следующем. В каждую смену выделяемые для обслуживания судна ТЛ закрепляются за люками в последовательности убывания трудоемкости их обслуживания ($\theta_{ik\gamma}$). При этом люки нумеруются в той же последовательности, что обеспечивает в дальнейшем их упорядоченность по невозрастанию трудоемкости обслуживания. При переходе от γ -й смены к $(\gamma + 1)$ -й смене формальные соотношения для определения компонент векторов трудоемкости $\theta_{ik(\gamma+1)}$, $i = 1, m_k$; $k = 1, s$, можно представить следующим образом:

$$\theta_{ik(\gamma+1)} =$$

$$\begin{cases} \theta_{ik\gamma} - 1 \forall (i, k) : (X_{k\lambda} = \pi > 0) \wedge (i < \underline{\mu}_{i\gamma}) \vee (\underline{\mu}_{i\gamma} + \overline{\mu}_{i\gamma} - \pi \leq i \leq \overline{\mu}_{i\gamma}); \\ \theta_{ik\gamma} \text{ для всех остальных } (i, k), \end{cases}$$

где

$$\underline{\mu}_{i\gamma} = \min (i: \theta_{k\gamma} = \theta_{\lambda k\gamma}), \quad \overline{\mu}_{i\gamma} = \max (i: \theta_{k\gamma} = \theta_{\lambda k\gamma}).$$

Перечисленные характеристики ПОС отражают не только взаимосвязи в системе «суда-грузы-ПРП», но и служат связующим звеном между γ -й и $(\gamma + 1)$ -й сменами планового периода. Эта же связь обеспечивается через показатель, отражающий остаток стальной времени на начало каждой смены, определяемого по следующему правилу:

$$T_{k(\gamma+1)} = \begin{cases} T_{k\gamma} - 1, & \text{если } k \in G_{\gamma\delta}; \\ T_{k\gamma} & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Все изложенное выше позволяет заключить, что совокупность векторов $\theta_{\kappa\gamma}$ ($\kappa = \overline{1, s}$), переменных $T_{\kappa\gamma}$ ($\kappa = \overline{1, s}$) и подмножеств $D_{\gamma\delta}$, $F_{\gamma\delta}$, $G_{\gamma\delta}$, $R_{\gamma\delta}$ ($\gamma = \overline{1, \sigma}$; $\delta = \overline{1, \rho}$) определяет состояние ПОС как системы «суда-грузы-ПРП» перед началом γ -й смены, т.е.

$$C_{\kappa} = \langle \theta_{\kappa\gamma}, T_{\kappa\gamma} (\kappa = \overline{1, s}); D_{\gamma\delta}, F_{\gamma\delta}, G_{\gamma\delta}, R_{\gamma\delta}, \tilde{G}_{\gamma\delta}, (\delta = \overline{1, \rho}) \rangle.$$

При этом вектор $X_{\gamma} = (x_{1\gamma}, \dots, x_{\kappa\gamma}, \dots, x_{s\gamma})$, целочисленные координаты которого находятся в интервале $[\underline{n}_{\kappa\gamma}, \overline{n}_{\kappa\gamma}]$, определяет допустимое (в формальном и содержательном смысле) распределение ТЛ между судами в каждую смену.

Отсюда следует, что множество допустимых вариантов распределения ТЛ между судами в каждую смену $\{x_{\gamma}\}$ определяется состоянием C_{γ} процесса обслуживания судна, т.е. $\{x_{\gamma}\} = \{x_{\gamma}(C_{\kappa})\}$, а переход ПОС из состояния C_{γ} в состояние $C_{\gamma+1}$ при зафиксированном варианте распределения ТЛ между судами описывается выражением

$$C_{\gamma+1} = C_{\gamma+1}(C_{\gamma}, X_{\gamma}) \quad \text{при } \gamma \geq 1.$$

ВЫВОДЫ

Выполненный выше анализ принципиально важных положений задачи планирования обслуживания судов в порту и формальное отображение этих положений во взаимосвязи позволяет обоснованно подойти к разработке адекватной сути ПОС экономико-математической модели, позволяющей решать в единстве вопросы закрепления за судами причалов, распределения ТЛ между судами и использования ТЛ в процессе обслуживания каждого судна, что предполагается впервые.

Реализация предлагаемого подхода, как показывают наши исследования, достигается путем не только усовершенствования существующих моделей и объединения их в комплексы, но и построения моделирующих алгоритмов, сочетающих строгие в математическом смысле операции и корректные эвристические процедуры.

Подчеркнем, что описанный подход к анализу формальной структуры ПОС позволяет реализовать выдвинутую в [2] идею определения величины планового периода осуществления обслуживания судов (T_{κ}) в процессе моделирования ПОС по правилу $T_{\kappa} = \max_k(\delta_{\kappa})$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магамадов А.Р. Система оптимального внутривортового оперативного планирования (концепция ОИИМФ-ОНМУ) // *Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць.* – Одеса: Вид-во ОНМУ, 2005. – Вып. 17. – С. 236-248.
2. Магамадов А.Р. Оптимизация оперативного планирования работы порта. – М.: Транспорт, 1979. – 184 с.
3. Тишкин А.И. Модель оперативного планирования обработки транспортных судов в порту // *Новое в технологии и технике управленческого труда. ЛДНТП*, 1975. – С. 23-27.
4. Махуренко Г.С., Кировский Р.Б. Оптимизация непрерывного плана-графика работы порта // *Экономика и эксплуатация морского транспорта: Сб. научн. трудов ОИИМФ.* – М.: Мортехинформреклама, 1981. – Вып. 14. – С. 73-76.

Надійшла 02.10.07

ПОТЕНЦИАЛ ВОЗМУЩЕННЫХ СКОРОСТЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ПОСТУПАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ СУДНА НА МЕЛКОВОДЬЕ

Предложено новое решение гидродинамической задачи о потенциале возмущенных скоростей жидкости при поступательном движении судна с постоянной скоростью на тихой воде по мелководному фарватеру. Краевая задача для потенциала поставлена в рамках линейной теории волн для тонкого судна. Последовательное применение интегральных преобразований по трем координатам позволило получить выражение для искомого потенциала в замкнутом виде – т.е. в виде интегрального оператора, содержащего уравнение смоченной поверхности корпуса, скорость хода и глубину фарватера.

Ключевые слова: тонкое судно, поступательное движение, потенциал скоростей, мелководье.

Рассмотрим прямолинейное установившееся движение судна со скоростью v на тихой воде по фарватеру ограниченной глубины H . Примем, что жидкость идеальна и несжимаема, ее возмущенное движение потенциально, а судно является тонким телом, ширина которого B мала по сравнению с его длиной L , т.е. $B/L = O(\varepsilon)$, $\varepsilon \ll 1$, и плоскость, касательная к смоченной поверхности судна, составляет малый угол с его диаметрально.

Вопросы волнообразования и волнового сопротивления тонкого судна на глубокой воде и мелководье детально исследованы в известной монографии А.А. Костюкова [1]. Выражения потенциала скоростей возмущенного судном движения жидкости в случае глубокой воды и мелководья имеют такую сложную структуру, что оказываются практически необозримыми и с трудом поддаются алгоритмизации для создания эффективных программ расчета на ЭВМ.

В связанной с судном системе координат $Oxuz$ (Ox – в нос, Oy – вправо, Oz – вертикально вниз) потенциал возмущенных скоростей жидкости $\Phi(x, y, z)$ удовлетворяет следующей дифференциальной системе:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \Phi(x, y, z) = 0; \quad (-\infty < x < \infty; -\infty < y < \infty; 0 \leq z \leq H); \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \Phi(x, y, 0)}{\partial x^2} - \frac{g}{v^2} \frac{\partial \Phi(x, y, 0)}{\partial z} = 0; \quad (-\infty < x < \infty; -\infty < y < \infty); \quad (2)$$

$$\frac{\partial \Phi(x, \pm 0, z)}{\partial y} = \mp v \frac{\partial y(x, z)}{\partial x} = 0; \quad (x, z) \in S; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \Phi(x, y, H)}{\partial z} = 0; \quad (-\infty < x < \infty; -\infty < y < \infty), \quad (4)$$

где $y(x, z)$ – уравнение смоченной поверхности корпуса судна;

S – диаметральный сечения судна внутри его смоченной поверхности.

Поскольку краевая задача (1)-(4) обладает симметрией относительно плоскости Oxz , т.е. по координате y , будем рассматривать далее только полупространство ($y > 0, 0 \leq z \leq H$). Обозначим для краткости

$$v \frac{\partial y(x, z)}{\partial x} = f(x, z) \quad (5)$$

и перепишем граничное условие (3) в виде

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi(x, \pm 0, z)}{\partial y} = -f(x, z), \text{ при } (x, z) \in S; \\ \frac{\partial \Phi(x, \pm 0, z)}{\partial y} = 0, \text{ при } (x, z) \notin S. \end{cases} \quad (6)$$

Введем в рассмотрение пару экспоненциальных преобразований Фурье [2]

$$\Phi^F(q, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(x, y, z) e^{iqx} dx; \quad \Phi(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi^F(q, y, z) e^{-iqx} dq. \quad (7)$$

Для функции $\Phi^F(q, y, z)$ из уравнений (1), (2), (6), (4) получается следующая краевая задача:

$$\left(-q^2 + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)\Phi^F(q, y, z) = 0; \quad (8)$$

$$\left(q^2 + \frac{g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{v^2}\right)\Phi^F(q, y, 0) = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial}{\partial y}\Phi^F(q, 0, z) = -f^F(q, z); \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\Phi^F(q, y, H) = 0. \quad (11)$$

Теперь введем косинус-преобразование Фурье функции $\Phi^F(q, y, z)$ по y [2]

$$\bar{\Phi}^F(q, p, z) = \int_0^{\infty} \Phi^F(q, y, z) \cos p y d y; \quad \Phi^F(q, y, z) = \frac{2}{\pi_0} \int_0^{\infty} \bar{\Phi}^F(q, p, z) \cos p y d p. \quad (12)$$

Очевидно, что

$$\int_0^{\infty} \left[\frac{\partial^2}{\partial y^2} \Phi^F(q, y, z) \right] \cos p y d y = -\frac{\partial \bar{\Phi}^F(q, 0, z)}{\partial y} - p^2 \bar{\Phi}^F(q, p, z). \quad (13)$$

Применяя к краевой задаче (8)-(11) косинус-преобразование (12) с учетом (13), получаем следующую краевую задачу для трансформанты $\bar{\Phi}^F(q, p, z)$:

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial z^2} - (q^2 + p^2) \right] \bar{\Phi}^F(q, p, z) = -f^F(q, z); \quad (14)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + k\right)\bar{\Phi}^F(q, p, 0) = 0; \quad k = \frac{q^2 v^2}{g}; \quad (15)$$

$$\frac{\partial}{\partial z}\bar{\Phi}^F(q, p, H) = 0. \quad (16)$$

Решение краевой задачи (14)-(17) ищем в виде разложения по полной системе ортогональных на отрезке $[0, H]$ функций $Z_s(z)$ $s = 0, 1, 2, \dots$.

$$Z_0(z) = N_0^{-1/2} \operatorname{ch} \alpha_0 (z - H), \quad N_0 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\operatorname{sh} 2\alpha_0 H}{2\alpha_0 H} \right), \quad (17)$$

где α_0 – действительный положительный корень трансцендентного уравнения

$$\alpha_0 \operatorname{th} \alpha_0 H = k. \quad (18)$$

$$Z_m(z) = N_m^{-1/2} \cos \alpha_m (z - H), \quad N_m = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\sin 2\alpha_m H}{2\alpha_m H} \right), \quad (19)$$

где α_m – совокупность множества действительных положительных корней трансцендентного уравнения

$$\alpha_m \operatorname{tg} \alpha_m H = -k, \quad m = 1, 2, \dots \quad (20)$$

Разложение функции $\bar{\Phi}^F(q, p, z)$ по этой системе имеет вид

$$\bar{\Phi}^F(q, p, z) = \varphi_0(p, q) Z_0(z) + \sum_{m=1}^{\infty} \varphi_m(p, q) Z_m(z), \quad (21)$$

$$\varphi_s(p, q) = \frac{1}{H} \int_0^H \bar{\Phi}^F(q, p, z) Z_s(z) dz, \quad s = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (22)$$

Аналогично

$$f^F(q, z) = f_0(q)Z_0(z) + \sum_{m=1}^{\infty} f_m(q)Z_m(z), \quad (23)$$

$$f_s(q) = \frac{1}{H} \int_0^H f^F(q, z)Z_s(z)dz, \quad s = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (24)$$

Подставим разложения (21) и (23) в дифференциальную систему (14)-(16) и учтем, что

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} Z_0(z) = \alpha_0^2 Z_0(z), \quad \frac{\partial^2}{\partial z^2} Z_m(z) = -\alpha_m^2 Z_m(z), \quad m = 1, 2, \dots \quad (25)$$

Из уравнения (17) следует, что

$$\begin{aligned} \left[\alpha_0^2 - (q^2 + p^2) \right] &= -f_0(q), \\ \left[-\alpha_m^2 - (q^2 + p^2) \right] &= -f_m(q). \end{aligned} \quad (26)$$

Таким образом

$$\varphi_0(p, q) = \frac{f_0(q)}{q^2 + p^2 - \alpha_0^2}, \quad \varphi_m(p, q) = \frac{f_m(q)}{q^2 + p^2 + \alpha_0^2}, \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (27)$$

Подставив функции $\varphi_0(p, q)$ и $\varphi_m(p, q)$ из (27) в (21), находим

$$\bar{\Phi}^F(q, p, z) = \frac{f_0(q)}{q^2 + p^2 - \alpha_0^2} Z_0(z) + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{f_m(q)}{q^2 + p^2 + \alpha_0^2} Z_m(z). \quad (28)$$

Применяя к потенциалу $\bar{\Phi}^F(q, p, z)$ обратное косинус-преобразование Фурье из (12), находим

$$\Phi^F(q, y, z) = \Phi_0^F(q, y)Z_0(z) + \sum_{m=1}^{\infty} \Phi_m^F(q, y)Z_m(z), \quad (29)$$

$$\Phi_0^F(q, y) = \frac{2f_0(q)}{\pi} \int_0^\infty \frac{\cos pydp}{p^2 + (q^2 - \alpha_0^2)}, \quad (30)$$

$$\Phi_m^F(q, y) = \frac{2f_m(q)}{\pi} \int_0^\infty \frac{\cos pydp}{p^2 + (q^2 + \alpha_m^2)}. \quad (31)$$

Интегралы, входящие в (30) и (31), берутся в замкнутом виде. Соответствующие формулы приведены в [2 стр.17 и 18]. В результате находим

$$\Phi^F(q, y, z) = \left\{ \begin{array}{l} -f_0(q) \frac{\sin\left(y\sqrt{\alpha_0^2 - q^2}\right)}{\sqrt{\alpha_0^2 - q^2}} \text{ при } q^2 < \alpha_0^2 \\ f_0(q) \frac{\exp\left(-y\sqrt{q^2 - \alpha_0^2}\right)}{\sqrt{q^2 - \alpha_0^2}} \text{ при } q^2 > \alpha_0^2 \end{array} \right\} Z_0(z) + \\ + \sum_{m=1}^{\infty} f_m(q) \frac{\exp\left(-y\sqrt{q^2 + \alpha_m^2}\right)}{\sqrt{q^2 + \alpha_m^2}} Z_m(z). \quad (32)$$

Теперь остается применить к (32) обратное преобразование Фурье по q (7) и выписать выражение искомого потенциала $\Phi(x, y, z)$. Выполняя в первом слагаемом из (32) интегрирование по переменной q , следует интеграл понимать в смысле главного значения по Коши [3], имея в виду исключение особенностей при $p = \sqrt{q^2 - \alpha_0^2}$ и $p = \sqrt{\alpha_0^2 - q^2}$. Таким образом имеет место принципиально новый результат: потенциал скоростей жидкости, возмущенных движением судна, получен в замкнутом виде, т.е. в виде интегрального оператора, содержащего уравнение смоченной поверхности корпуса и комбинацию глубины, скорости хода и отдельных характеристик судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костюков А.А. Теория корабельных волн и волнового сопротивления. – Л.: Судпромгиз, 1959. – 311 с.
2. Бейтмен Г., Эрдейн А. Таблицы интегральных преобразований. Т. 1. М.: НАУКА, 1969. – 349 с.
3. Гахов Ф.Д. Краевые задачи. – 2-е изд. – М.: ГИФМЛ, 1963. – 639 с.

Надійшла 05.10.07

УДК 532.59; 627.223.6.001.55

В.Ф. Витюк
Е.Р. Георгалина
В.Х. Кириллов
А.С. Чернышев

ДИФРАКЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА ВОЛНОЛОМАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ДНЕ ЛИБО ЧАСТИЧНО ПОГРУЖЕННЫХ В ЖИДКОСТЬ

Проведено теоретическое исследование эффективности демпфирования косонабегающей волны волноломом прямоугольного сечения частично погруженного в жидкость, либо расположенного на дне. Волнолом имеет бесконечную протяженность в направлении оси z (рис. 1, 2). Решение краевой задачи дифракции поверхностных волн проводится модифицированным методом Винера-Хопфа. Получены коэффициенты отражения и прохождения волны.

Ключевые слова: дифракция поверхностных волн, волнолом прямоугольного сечения, метод Винера-Хопфа, проходящие и отраженные волны.

Широкое освоение морского побережья строительством портов, жилых массивов, курортов и промышленных предприятий влечет за собой возведение причалов, берегозащитных и оградительных сооружений различных типов и конструкций, крупных водозаборов и других сооружений. Все это определяет необходимость создания современных эффективных морских гидротехнических сооружений с учетом новых материалов и технологий строительства.

Данная работа посвящена теоретическому исследованию эффективности демпфирования набегающей морской волны волноломом прямоугольного сечения частично погруженного в жидкость, либо расположенного на дне (рис. 1; 2).

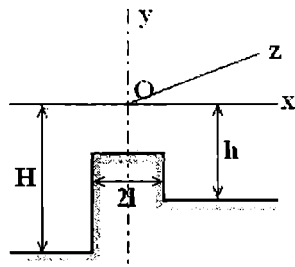
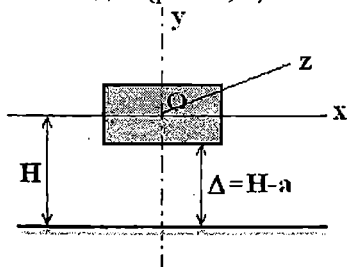


Рис. 1. Волнолом прямоугольного сечения, частично погруженный в воду

Рис. 2. Волнолом прямоугольного сечения расположенный на дне

Каждое из этих гидротехнических сооружений, как показала практика эксплуатации, обладает рядом преимуществ и недостатков. Для волнолома, расположенного на дне (рис. 2), характерны:

- большой объем материала, который приходится укладывать в тело волнолома для обеспечения устойчивости;
- большие трудозатраты по перевозке и монтажу этих материалов;
- нарушение естественного водообмена между морем и прибрежной зоной приводит к опреснению морской воды в береговой зоне, что создает экологические проблемы, связанные с исчезновением биофильтров и увеличением концентрации бактериальных клеток.

Полупогруженные конструкции (рис. 1) лишены этих недостатков, такие конструкции можно назвать демпфирующей платформой. Эти берегозащитные сооружения могут привести к значительному снижению материалоемкости всей конструкции и позволят получить ощутимый экономический эффект. Они обладают наилучшими демпфирующими свойствами, поскольку энергия набегающей волны в основном сосредоточена в области свободной поверхности. Конструктивно такие волноломы представляют собой понтоны или устанавливаются на сваях, однако эти сооружения не являются устойчивыми по отношению к крупным набегающим волнам.

Волновое воздействие на подобного рода прямоугольные препятствия связано с генерированием отраженной и проходящей волн (дифракция падающей волны), по интенсивности которых можно судить о демпфирующей эффективности волнолома. В связи с этим для выявления преимуществ каждого из указанных видов конструкций и при проектировании волноломов необходимо проведение тщательных теоретических исследований по определению распределения волновых давлений по всему контуру прямоугольного препятствия.

В данной статье представлено развитие метода Винера-Хопфа на примере краевой задачи дифракции косонабегающих поверхностных волн на прямоугольном препятствии конечной ширины (бесконечной протяженности в направлении оси z) расположенном на дне, либо частично погруженном в жидкость (рис. 1, 2).

Предположим, что плоскость x, z совпадает со свободной поверхностью в ее невозмущенном состоянии и ось y направлена вертикально вверх, тогда потенциал скоростей $\Phi(x, y, z, t)$ согласно основной теории безвихревых волн малой амплитуды удовлетворяет в области, ограниченной сверху плоскостью $y = 0$, а с других сторон – заданными поверхностями, уравнению Лапласа [1]

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

Условие на свободной поверхности в предположении нулевого давления на ней имеет вид

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} + \frac{1}{g} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0, \quad y = 0. \quad (2)$$

Условие на неподвижных поверхностях состоит в том, что

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0, \quad (x, y, z) \in S. \quad (3)$$

Возвышение свободной поверхности $\eta(x, z, t)$ через потенциал скоростей выражается формулой

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi}{\partial t}(x, 0, z, t). \quad (4)$$

Нужно также задать условие в бесконечности и начальные условия при $t = 0$.

Пусть из «минус бесконечности» ($x \rightarrow -\infty$) набегают под некоторым углом $0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{2}$ к прямоугольному препятствию прогрессивная волна, потенциал скорости которой

$$\Phi_{nao}(x, y, z, t) = A_1 ch m(y + H) \exp i(kz - \omega t + \chi x), \quad (5)$$

где $A_1 = -\frac{i h_1 g}{2 \omega ch m H}$, $m = \frac{2\pi}{\lambda}$, $k = m \cos \psi$, $\chi = m \sin \psi$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – известные параметры набегающей волны.

Решение задачи (1)-(4) ищем в виде прогрессивной волны

$$\Phi(x, y, z, t) = \operatorname{Re} f(x, y) \exp i(kz - \omega t), \quad (6)$$

где k и ω – заданные волновые параметры.

При этом для неизвестной амплитудной функции $f(x, y)$ возникает следующая краевая задача:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} - k^2, f = 0; \\ \frac{\partial f}{\partial y} - \beta, f = 0, y = 0; \\ \frac{\partial f}{\partial n} = 0, (x, y) \in S_1, \end{aligned} \quad (7)$$

где S_1 – полоса $|x| < \infty$, содержащая прямоугольное препятствие шириной $2l$, которые примыкают либо к горизонтальному дну, либо к свободной поверхности.

При решении задачи (7), записанной в безразмерной форме, вводится новая безразмерная функция

$$\varphi(x, y) = f(x, y) - ch(y + H)\exp(i\chi x). \quad (8)$$

Рассмотрим наиболее общую с математической точки зрения задачу о дифракции волн подводным порогом (рис. 2). Тогда для неизвестной функции (8) возникает следующая краевая задача [2; 3]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - k^2 \varphi = 0; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial y} - \beta \varphi = 0, y = 0, |x| < \infty; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial y} = \begin{cases} 0, & y = -H, x \leq -l \\ -sh\Delta \cdot e^{i\chi x}, & y = -a, |x| < l; \\ -sh\Delta_1 \cdot e^{i\chi x}, & y = -h, x \geq l \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \begin{cases} -i\chi ch(y + H)e^{-i\chi l}, & x = -l, -H \leq y \leq a \\ -i\chi ch(y + H)e^{i\chi l}, & x = l, -H \leq y \leq -a \end{cases}$$

Однозначность решения задачи (9) обеспечивается введением дополнительного физического условия поведения функции $\varphi(x, y)$ на ребре препятствия

препятствия $\frac{\partial \varphi}{\partial r} \approx r^{-1/3}$ при $r \rightarrow 0$, которое выводится из требования

Теория, строительная механика и проектирование корабля

конечности энергии, запасенной в любом конечном объеме, занимаемом жидкостью. На бесконечностях функция $\varphi(x, y)$ имеет вид

$$\varphi_-(x, y) = B_1 ch(y + H) \exp(-i \chi_1 x),$$

$x \rightarrow -\infty$

$$\varphi_+(x, y) = C_1 ch m_2 (y + h) \exp(i \chi_1 x) - ch (y + H) \exp(i \chi_1 x), \quad (10)$$

$x \rightarrow +\infty$

где B_1 и C_1 – безразмерные амплитудные коэффициенты, подлежащие определению;

$$m_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda} - \text{корень уравнения } m_2 th m_2 h = th H, \quad \chi_1 = \sqrt{m_2^2 - k^2}.$$

К решению задачи (9) применяется преобразование Фурье по переменной x в комплексной плоскости $\alpha = \sigma + i\tau$. Причём [4]

$$\Phi_-(\alpha, y) = \int_{-\infty}^{-l} \varphi(x, y) e^{i\alpha(x+l)} dx;$$

$$\Phi_0(\alpha, y) = \int_{-l}^l \varphi(x, y) e^{i\alpha x} dx; \quad (11)$$

$$\Phi_+(\alpha, y) = \int_l^{\infty} \varphi(x, y) e^{i\alpha(x-l)} dx;$$

$$\varphi(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty+i\tau}^{\infty+i\tau} \Phi(\alpha, y) e^{-i\epsilon x} d\alpha,$$

где $\Phi(\alpha, y) = \Phi_-(\alpha, y) e^{-i\alpha l} + \Phi_0(\alpha, y) + \Phi_+(\alpha, y) e^{i\alpha l}$;

$\Phi_0(\alpha, y)$ – целая функция по α ;

$\Phi_-(\alpha, y)$ – регулярна при $\tau < \tau_+$;

$\Phi_+(\alpha, y)$ – регулярна при $\tau > \tau_-$ ($\tau_- < \tau_+$).

Применяя преобразование Фурье к задаче (9), приводим ее сначала к следующей системе из трех функциональных уравнений:

$$\begin{aligned} \Phi_{-}(\alpha)e^{-i\alpha l} + \Phi_{0}(\alpha) + \Phi_{+}(\alpha)e^{i\alpha l} = \\ = \left[\Phi'_{-}(\alpha)e^{-i\alpha l} + \Phi'_{+}(\alpha)e^{i\alpha l} - \frac{2sh\Delta \sin l(\chi + \alpha)}{\chi + \alpha} \right] K(\alpha); \end{aligned}$$

$$\Phi_{-}(\alpha) + \Phi_{-}(-\alpha) = \left[\Phi'_{-}(\alpha) + \Phi'_{-}(-\alpha) \right] M(\alpha) + T(\alpha)e^{-i\chi l}; \quad (12)$$

$$\Phi_{+}(\alpha) + \Phi_{+}(-\alpha) = \left[\Phi'_{+}(\alpha) + \Phi'_{+}(-\alpha) \right] M_1(\alpha) - T_0(\alpha)e^{i\chi l},$$

справедливых в полосе $\tau_{-} < \tau < \tau_{+}$ комплексной плоскости α и содержащих пять неизвестных функций ($\Phi_{-}(\alpha)$, $\Phi_{0}(\alpha)$, $\Phi_{+}(\alpha)$, $\Phi'_{-}(\alpha)$, $\Phi'_{+}(\alpha)$).

Затем система (12) приводится к системе из двух обобщенных функциональных уравнений типа Винера-Хопфа, которые имеют вид

$$\Theta_{+}(\alpha) + L(\alpha)\Phi'_{-}(\alpha) - M(\alpha)\Phi'_{-}(-\alpha) + K(\alpha)\Phi'_{+}(\alpha)e^{2i\alpha l} = A_1(\alpha), \quad (13)$$

$$\Theta_{-}(\alpha) + L_1(\alpha)\Phi'_{+}(\alpha) - M_1(\alpha)\Phi'_{+}(-\alpha) + K(\alpha)\Phi'_{-}(\alpha)e^{-2i\alpha l} = B_1(\alpha).$$

Система уравнений (13) справедлива в той же полосе $\tau_{-} < \tau < \tau_{+}$ комплексной плоскости α , но содержит уже четыре неизвестных функции

$$\Theta_{+}(\alpha) = \Phi_{+}(\alpha)e^{2i\alpha l} + \Phi_{0}(\alpha)e^{i\alpha l} - \Phi_{-}(-\alpha);$$

$$\Phi'_{+}(\alpha);$$

$$\Theta_{-}(\alpha) = \Phi_{-}(\alpha)e^{-2i\alpha l} + \Phi_{0}(\alpha)e^{-i\alpha l} - \Phi_{+}(-\alpha); \quad \Phi'_{-}(\alpha).$$

Ключевым моментом решения системы (13) является факторизация функций $L(\alpha)$ и $L_1(\alpha)$, т.е. представление их в виде произведения двух функций, каждая из которых регулярна в не имеет нулей в соответствующей полуплоскости комплексной плоскости α .

Используя далее методику Винера-Хопфа [4] (метод аналитического продолжения и обобщенную теорему Лиувилля), система функцио-

нальных уравнений (13) приводится к системе интегральных уравнений второго рода, содержащих только две неизвестные функции $\Phi'_+(\alpha)$ и $\Phi'_(-\alpha)$

$$\Phi'_(-\alpha)L_+(\alpha) - \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty+ib}^{\infty+ib} \frac{1}{(s+\alpha)L_+(\alpha)} \left[M(s)\Phi'_(-s) - K(s)\Phi'_+(s)e^{2isl} \right] ds = F_1(\alpha),$$

$$\Phi'_+(\alpha)L_1^+(\alpha) + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty+ib}^{\infty+ib} \frac{1}{(s+\alpha)L_1^+(\alpha)} \left[M_1(s)\Phi'_+(s) - K(s)\Phi'_(-s)e^{2isl} \right] ds = F_2(\alpha). \quad (14)$$

В системе интегральных уравнений (14), справедливой уже во всей комплексной плоскости α , ядра $M(s), M_1(s)$ и $K(s)$ являются мероморфными функциями и интегралы в (14) вычисляются при помощи теоремы Коши о вычетах.

В результате система (14) приводится к бесконечной системе линейных алгебраических уравнений второго рода с комплексными коэффициентами вида

$$\begin{aligned} X_n &= \sum_{m=0}^{\infty} a_{mn} X_m^* + \sum_{m=0}^{\infty} b_{mn} Y_m^* + P_n; \\ Y_n &= \sum_{m=0}^{\infty} d_{mn} X_m + \sum_{m=0}^{\infty} c_{mn} Y_m + Q_n; \\ X_n^* &= \sum_{m=0}^{\infty} a_{mn}^* X_m^* + \sum_{m=0}^{\infty} b_{mn}^* Y_m^* + P_n^*; \\ Y_n^* &= \sum_{m=0}^{\infty} d_{mn}^* X_m + \sum_{m=0}^{\infty} c_{mn}^* Y_m + Q_n^*. \end{aligned} \quad (15)$$

Поскольку исходная краевая задача (9) свелась к системе (15), решение которой можно найти только приближенно, то в этом смысле описанный метод является приближенным. Определив из системы (14) неизвестные функции $\Phi'_+(\alpha)$ и $\Phi'_(-\alpha)$, через которые выражается трансформанта Фурье, и, осуществив обратное преобразование Фурье, определяем неизвестную функцию $\varphi(x, y)$, а значит и функции $f(x, y)$, $\Phi(x, y, z, t)$ и $\eta = \eta(x, z, t)$.

Отметим, что после определения функции $\varphi(x, y)$, легко записываются аналитические выражения для неизвестных коэффициентов отражения и прохождения волн, которые имеют, соответственно, вид

$$k_{\text{отр}} = |B_1| = \left| \frac{2i \operatorname{sh} \Delta Q_1(\chi) L_+(\chi)}{\chi (\operatorname{sh} 2H + 2H)} \exp(-i\chi l) \right|;$$

$$k_{\text{пр}} = |C_1| = \left| \frac{2i m_2^2 \operatorname{sh}(m_2 \Delta_2) Q_2(-\chi_1) L_1^+(\chi_1)}{\chi_1 (\operatorname{sh} 2m_2 h + 2m_2 h)} \exp(-i\chi_1 l) \right|. \quad (16)$$

При численном исследовании волновых задач, рассматриваемых в данной работе, нас интересовали, в первую очередь, важные для приложения коэффициенты отражения и прохождения волн при взаимодействии их с изучаемыми препятствиями. Причем наибольшее внимание при численном исследовании было уделено задаче о дифракции волн придонным уступом (рис. 2) при набегании волн с большей глубины на меньшую.

Численные значения искомых коэффициентов могут быть определены после решения на ЭВМ бесконечных систем линейных алгебраических уравнений второго рода типа (15). Хотя в работе не удалось в общем виде аналитически определить область регулярности полученных систем из-за сложности комплексных коэффициентов, однако прием «выделения главной регулярной части этих систем» позволил провести эффективное численное исследование единообразно для всех рассматриваемых случаев. Практически это значит, что необходимое и достаточное условие регулярности полученных систем, проверяемое численно, выполнялось в широком (с точки зрения инженерной практики) диапазоне изменения исходных параметров. При этом мы получали сходимость систем к единственному ограниченному решению уже в четвертом-пятом приближении.

Следует также отметить, что основной вклад в решение системы вносят пять-семь её членов, то есть расширение системы за счет увеличения числа её уравнений и числа слагаемых бесконечных рядов практически не влияет на конечный результат. Отмеченный факт является одной из важных особенностей систем второго рода.

Остановимся теперь на анализе результатов численного исследования коэффициентов отражения и прохождения волн. При этом, как уже отмечалось, наибольшее внимание было уделено задаче схемы рис. 2.

Анализ результатов численного исследования этой задачи показывает следующее:

Теория, строительная механика и проектирование корабля

- хорошую сходимость бесконечной системы линейных алгебраических уравнений в широком диапазоне изменения исходных параметров;
- прохождение и отражение волн придонным уступом зависит от угла набегания волн;
- при определенных отношениях глубин жидкости слева и справа от уступа и при косом набегании волн можно достичь полного внутреннего отражения волн уступом, зафиксировав угол типа «угла Брюстера»;
- при фиксированных глубинах H и a , жидкости, отражение волн уступом уменьшается при нормальном ($k = 0$) набегании волн на уступ;
- при фиксированной глубине H и с увеличением глубины a , ($a \rightarrow \infty$) уменьшается отражение волн и увеличивается их прохождение и наоборот;
- при глубинах H и a , гораздо больших длины волны, уступ не эффективен с точки зрения «гашения» волн;
- во всех случаях имеет место закон сохранения энергии волн, который для уступа, в отличие от общеизвестного, имеет вид

$$k_{\text{отп}}^2 + \frac{b_1}{b_2} k_{\text{пр}}^2 = 1,$$

где b_1 и b_2 – известные безразмерные коэффициенты, зависящие от глубин H и a , жидкости и от угла набегания волн.

Результаты численного исследования отражения волн придонным уступом (рис. 2) представлены в таблицах 1 и 2 (ψ^0 – угол набегания волн на уступ).

Таблица 1

H	a	ψ^0	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{отп}}$
0,8	0,7	90^0	0,792	0,668
		45^0	0,706	0,707
	0,5	90^0	0,456	0,853
		45^0	0,356	0,944
	0,22	90^0	0,05	0,997
		45^0	полное внутреннее отражение	
0,7	0,6	90^0	0,720	0,664
		45^0	0,615	0,794
	0,4	90^0	0,327	0,927
		45^0	0,244	0,980

Теория, строительная механика и проектирование корабля

Таблица 2

H	ψ^0	a	k_{np}	$k_{отр}$
2,0	30^0	0,8	полное внутреннее отражение	
0,35	90^0	0,18	0,144	0,991
		0,14	0,080	0,995
		0,12	0,058	0,999
		0,10	0,000	1,000
0,30	90^0	0,18	0,161	0,984
		0,12	0,094	0,992
		0,10	0,000	1,000
0,1	90^0	0,02	0,000	1,000

В таблицах 3 и 4 представлены результаты численного исследования отражения поверхностных волн полубесконечным ($l \rightarrow \infty$) доком (рис. 1).

Из этих таблиц наглядно видно, что отражение волн полубесконечным доком не зависит ни от посадки дока, ни от угла набегания волн на док, что вполне физично.

Таблица 3

H	a	ψ^0	$k_{отр}$
0,8	0,1	45^0	1,020
		90^0	1,030
0,22	0,11	90^0	0,999
		37^0	0,996

Таблица 4

H	ψ^0	a	$k_{отр}$
0,8	45^0	0,7	1,02
		0,4	1,00
		0,1	1,03

Наконец, в таблице 5 представлены для сопоставления результаты численного исследования плоской задачи об отражении волн доком конечной ширины (рис. 1) при следующих данных:

Таблица 5

$k_{отр}$				k_{np}			
Масагно		Токапо	Авторы	Масагно		Токапо	Авторы
теор.	эксп.	теор.	теор.	теор.	эксп.	теор.	теор.
0,995	0,910	1,0	0,999	0,048	0,06	0,067	0,03

Из таблицы 5 видно, что полученные результаты для этого частного случая ($k = 0$ – плоская задача) хорошо согласуются с теоретическими и экспериментальными результатами других авторов. Однако, если Токапо К. в своей работе отмечает длительность численной процедуры и плохую сходимости систем первого рода, к которой он свел исходную волновую задачу, решая её методом сопряжения, то расчет этого же варианта в нашем случае длится не более 10 секунд. Указанным фактом еще раз подтверждается хорошая сходимость бесконечных систем второго рода и их преимущество в этом смысле по сравнению с системами первого рода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стокер Дж. Дж. Волны на воде. Математическая теория и приложения. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – 617 с.
2. Витюк В.Ф., Каспарьянц А.А., Кириллов В.Х. К задаче о дифракции поверхностных волн на доке конечной ширины: Аннотации докладов / Третий Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике. М., 1968.
3. Иванченко Ф.Н. Применение и развитие метода Винера-Хопфа при решении краевых задач теории поверхностных волн. Дис. ... на соис. канд. ф.-м. наук. Ленинград, 1986.
4. Нобл Б. Применение метода Винера-Хопфа для решения дифференциальных уравнений в частных производных. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 376 с.

Надійшла 03.10.07

УДК 629.553

**Г.В. Егоров
Н.В. Автутов**

СОЗДАНИЕ ЧЕРНОМОРСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАРОМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ СУДОВ

Изложены основные особенности создания новых железнодорожных паромов для Черного моря, предназначенных для перевозки 50 вагонов из порта Кавказ на порты Потти и Самсун. Паромы построены с использованием элементов существующих судов-доноров – транспортных буксиров-снабженцев.

Ключевые слова: проектирование судов, железнодорожные паромы, конверсия, портовые условия, главные размерения

С доисторических времен регион Черного моря играл ключевую роль в торговых связях Европы и Азии. Крупнейшие мировые державы, начиная с Древней Греции и Византии, на протяжении столетий боролись за контроль над коммуникациями, проходившими через этот стратегически важный регион.

Непосредственный выход к побережью Черного моря имеют шесть государств – Болгария, Грузия, Российская Федерация, Румыния, Турция и Украина. К ним следует добавить Армению, значительная часть грузов для которой перемещается через порты Грузии, и Молдову, имеющую порт на реке Дунай.

Важную роль в обеспечении критских международных коридоров № 5, 7 и 9, «Север-Юг», ТРАСЕКА и внутрирегиональных экономических связей играет железнодорожный и морской транспорт, причем часто возникает необходимость передачи грузов с одного вида транспорта на другой в тех пунктах, где железная дорога прерывается водной акваторией и государственными границами.

Перевалка груза с одного вида транспорта на другой увеличивает сроки и стоимость доставки, создает угрозу для сохранности груза.

Данный недостаток перевалки грузов обусловил появление в XIX веке первых железнодорожных паромных переправ, в первую очередь как средства продления железнодорожных путей через проливы, каналы и реки.

Целью статьи является обоснование характеристик железнодорожных паромов, ориентированных на порт Кавказ, с их постройкой на отечественной верфи, с использованием выбранных судов-доноров.

Развитие железнодорожных паромных переправ на Черном море началось в середине XX века.

В 1958 г. в проливе Босфор была открыта паромная переправа между портами Сиркели и Хайдар, расположенными на европейском и азиатском берегах Турции.

В 1978 г. открыта паромная переправа между Ильичевском (Украина) и Варной (Болгария), на которой в 1999-2001 годах были открыты новые направления Ильичевск – Поти (Грузия) и Ильичевск – Деринже (Турция). Кроме того, создается железнодорожный терминал в порту Самсун (Турция).

Но первой стала паромная переправа Крым-Кавказ. С целью сокращения транспортных расходов и времени на перевозку массовых грузов между различными частями Советского Союза – Кавказом, среднеазиатскими республиками и Украиной в 1955 году были построены и введены в эксплуатацию два портовых комплекса в наиболее узком участке Керченского пролива.

Расстояние между портами Кавказ и Крым составляет около 2,4 мили, наименьшая глубина в проливе – 8,0 м; глубина непосредственно возле паромных терминалов – около 5,0 м, навигационные условия порта Кавказ позволяют принимать паромы с габаритной длиной до 150 м.

Поэтому главные размерения парома, ориентированного на порт Кавказ, определяются путевыми условиями самого порта.

Так как основным назначением парома является перевозка накатных грузов, то чем больше будет создано рабочих площадей, тем больше окажется полезная вместимость судна.

Кроме того, наилучшим с позиций строительной стоимости и удобства грузовых операций архитектурно-конструктивным типом железнодорожного парома, предназначенного исключительно для перевозки грузов, причем, в том числе опасных, является судно с одной открытой грузовой палубой, по сути, «судно-площадка», с носовым расположением жилой надстройки и рулевой рубки.

Керченская переправа успешно эксплуатировалась до 1980-х годов, когда ее объявили устаревшей и убыточной, а после развала СССР просто забыли. В начале 1990-х годов с целью предотвращения разграбления инфраструктуры переправы рельсы были демонтированы.

Регулярное грузовое сообщение на данном участке экономит время и существенно снижает транспортные издержки, так как путь из Крыма на Кавказ по суше на 1200 километров длиннее, чем через пролив.

Загруженность южных портов России достигла своего предела, дальнейший рост перевалки мог быть обеспечен за счет использования крымских портов.

До 2002 года рассматривались варианты строительства моста или тоннеля. Однако сложные гидрологические и геологические условия строительства, а также значительный объем капитальных затрат стали непреодолимым препятствием на пути реализации таких проектов, даже несмотря на опыт 1944 года.

Наиболее реальным и технически выполнимым в приемлемые сроки являлся вариант прямого железнодорожного сообщения с использованием паромной переправы, который был реализован в ноябре 2004 г.

Для перевозки железнодорожных составов по проекту 002CNF01 Морского Инженерного Бюро из сухогрузных судов-площадок заводом «Южный Севастополь» были конверсированы два железнодорожных парома «Анненков» и «Петровск» [1]. Каждый из паромов имеет возможность принять на борт 25 железнодорожных цистерн, при этом за одни сутки судами совершается в среднем 6 рейсов.

Основным родом груза, перевозимого переправой из Украины, является глинозем, а в обратном направлении – нефтепродукты.

В целом, к грузам, которые эффективно перевозить на паромах, относят относительно дорогие грузы; грузы, требующие особых условий в части сохранности и безопасности перевозки и перевалки; грузы с высокой стоимостью перевалки в обычных портах; грузы со срочной доставкой; грузы малыми партиями.

Постоянно возрастающий грузооборот потребовал увеличения пропускной способности переправы Крым-Кавказ, а также привел к необходимости расширения направлений работы из порта Кавказ на другие порты Черного моря. В связи с этим компанией «UPM transportation» было поручено Морскому Инженерному Бюро спроектировать ещё два железнодорожных парома так, чтобы вместимость каждого нового парома вдвое превышала вместимость уже работающих судов.

Новые паромы предназначались для эксплуатации из порта Кавказ на порт Поти (российский экспорт для Армении), порт Варна и порт Самсун (в рамках проекта железнодорожного транспортного коридора порт Кавказ – порт Самсун – порт Татван – порт Ван – порт Бандараббас – порт Дубай).

При проектировании железнодорожного парома в первую очередь должны быть учтены особенности аппарелей, с которыми будет работать новый паром. Аппарель в порту Кавказ предназначена для перемещения по ней железнодорожных вагонов и автотранспорта с берега на паром и обратно. Аппарель проекта АК01 представляет собой трапециевидную в плане конструкцию со следующими размерами:

Теория, строительная механика и проектирование корабля

- длина – 40 м;
- ширина узкой части (у береговой опоры) – около 12 м;
- ширина широкой части – около 18 м.

Общий вид аппарели представлен на рис. 1.

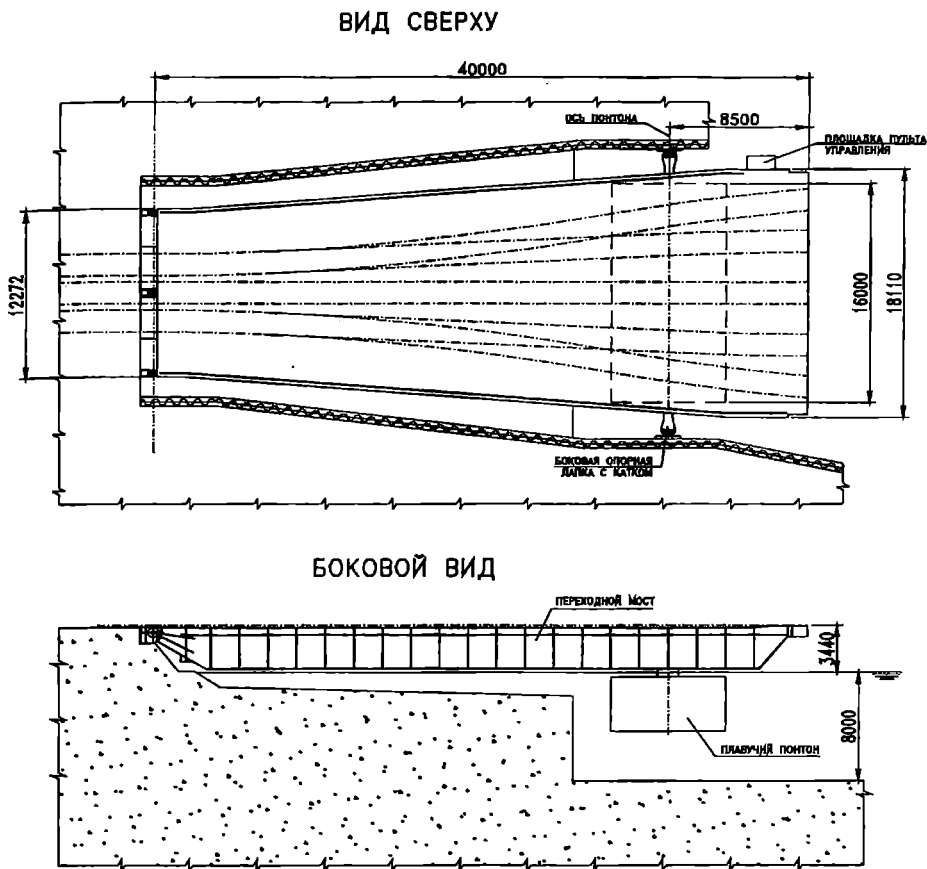


Рис. 1. Общий вид аппарели в порту Кавказ

На стыке с причалом, в узкой части аппарели на грузовой палубе размещаются начала пяти железнодорожных путей, выходящих на широкую часть аппарели и выступающие за морскую оконечность аппарели на 100 мм. Тип железнодорожного рельса Р-50. Ширина колеи 1520 мм.

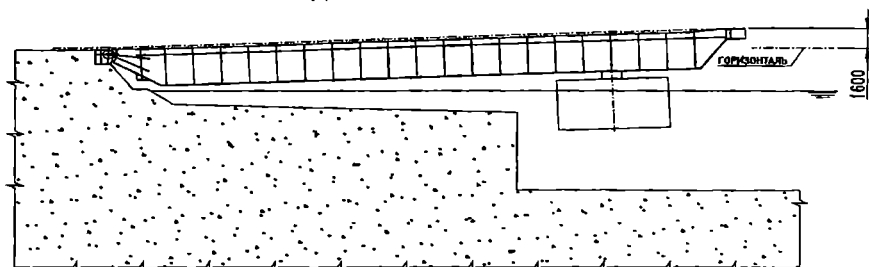
Для предотвращения поперечных колебаний широкой части аппарели в составе гидротехнических сооружений предусмотрены две стойки с закрепленными на них металлическими полосами, по которым прокатываются ролики, закрепленные на боковых балках широкой части моста. Для компенсации неровностей и создания достаточных прижимных усилий ролики снабжены пружинными демпферами.

Для проезда автотехники по грузовой палубе, промежутки между центральными путями заполняются деревянными брусками по уровню головок рельсов.

Подача составов из вагонов производится по центральному пути или одновременно по двум симметричным путям.

Подъем или опускание широкой части аппарели для соединения ее с паромом достигается за счет изменения плавучести понтона, что осуществляется путем забора или вытеснения забортной воды из балластной цистерны понтона (рис. 2).

ПОДЪЕМ АППАРЕЛИ



ОПУСКАНИЕ АППАРЕЛИ

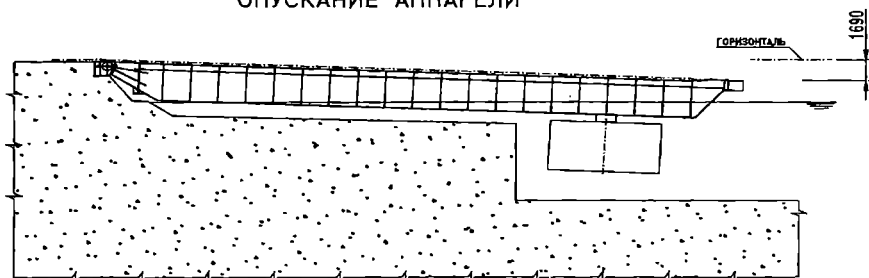


Рис. 2. Схема подъема/опускания аппарели в порту Кавказ

Максимумы изменения положения аппарели составляют:

- для подъема – 1,6 м;
- для опускания – 1,69 м.

На рис. 3 представлена схема расположения железнодорожных путей на аппарели, определяющая расположение железнодорожных путей на палубе парома.

Кроме того, для проектирования стыковочного узла аппарели с паромом необходимо знать точные размеры аппарели в районе стыковки, а также координаты стопоров и ограничителей перемещения парома.

Кроме особенностей непосредственно аппарели, на размеры парома влияют также и различные путевые условия, такие как глубина и ширина фарватера, допускаемые радиусы разворота.

Теория, строительная механика и проектирование корабля

По условиям порта Кавказ основные габаритные ограничения для паромов выглядят следующим образом:

- ширина не более 22 м;
- длина не более 150 м;
- осадка не более 4,9 м;
- высота оголовки рельса паромов от уровня воды не более 5,1 м.

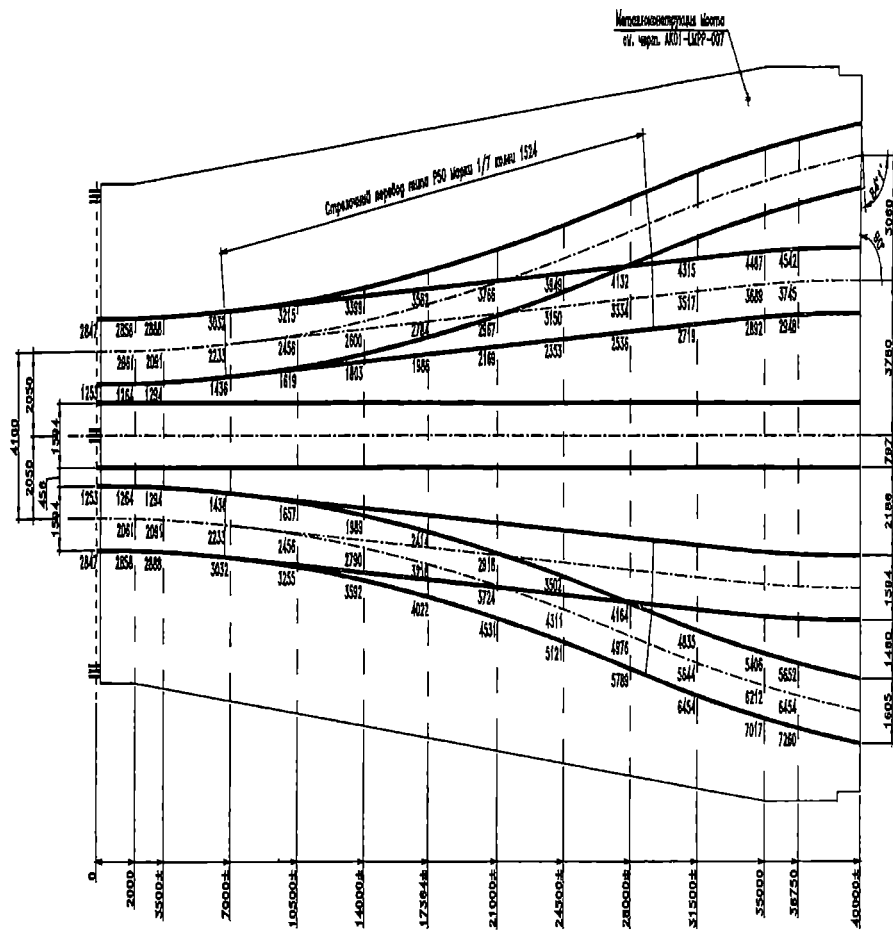


Рис. 3. Схема расположения железнодорожных путей на аппарели в порту Кавказ

Безусловно, при создании новых паромов кроме путейевых условий и ограничений аппарели учитывались различные пожелания будущих судовладельцев. Как было отмечено выше, требуемая Заказчиком вместимость судна составляла не менее одного состава – 50 железнодорожных цистерн габарита 1-Т с расстоянием между автосцепами 12020 мм. Кроме того, судно должно быть приспособлено для перевозки прочей колесной

Теория, строительная механика и проектирование корабля

техники, включая трейлеры, а также длинномерных крупногабаритных грузов и контейнеров международного образца (TEU и FEU).

Поскольку открытие паромной линии Кавказ – ПотI предполагалось в четко определенный срок, Заказчиком была поставлена задача минимизировать затраты времени и финансовые расходы на строительство судна. В связи с этим было принято решение применить для строительства паромов хорошо зарекомендовавшую себя для универсальных сухогрузных судов процедуру конверсии – строительства нового судна с использованием отдельных элементов ранее эксплуатировавшегося судна в соответствии с Руководством Р.003-2003 Российского Речного Регистра (далее РРР) [2].

Применение Руководства Р.003-2003 «Строительство судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания с использованием элементов эксплуатировавшихся судов» РРР позволило сократить затраты на строительство паромов примерно на 50%, по сравнению со стоимостью абсолютно нового парома такого класса.

В качестве судов-доноров для данного проекта были выбраны буксиры-снабженцы буровых платформ, построенные на судовой верфи Halter Marine Services Inc (США) с серийными номерами 0653 и 0831. Строительство паромов было решено осуществить на «Херсонском судостроительном заводе», уже имевшим на то время значительный опыт конверсии судов.

Основные характеристики буксиров приведены в табл. 1. Общий вид судов приведен на рис. 4, где заштрихованные элементы буксира – демонтируемые, прочие элементы – использовались при строительстве парома.

Таблица 1

Основные характеристики судов-доноров

Длина наибольшая, м	66,14
Длина между перпендикулярами, м	61,87
Ширина, м	13,11
Ширина габаритная, м	13,16
Высота борта, м	4,88
Осадка в море, м	3,96
Дедвейт в море (осадка 3,96 м), т	1324
Максимальная длительная мощность ГДГ, кВт	3x900
Скорость хода в грузу при осадке 3,96 м при МДМ, узл.	12,0
Класс ABS	+A1 Safety S/by Service; Ice Class C; AMS

Теория, строительная механика и проектирование корабля

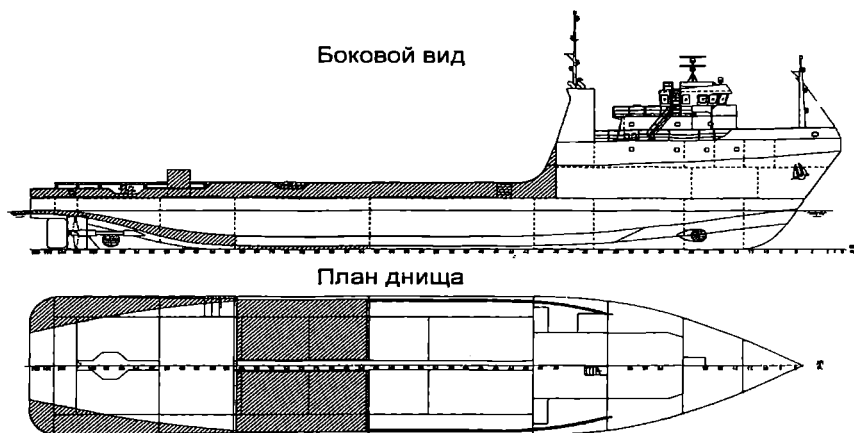


Рис. 4. Боковой вид и план днища судна-донора

Через 12 месяцев после запуска проекта, 27 сентября 2006 г. состоялся спуск первого дизель-электрического железнодорожного парома проекта CNF03. Название судна – «SMAT» (строительный номер 18007). Принято заказчиком в эксплуатацию 30 марта 2007 года. Спуск второго судна серии – «FERUZ» (строительный номер 18008) был осуществлен 3 мая 2007 года. Сдача в эксплуатацию планируется на ноябрь 2007 года.

Основные характеристики парома «SMAT» приведены в табл. 2. Общий вид парома «SMAT» приведен на рис. 5, мидель-шпангоут – на рис. 6.

Таблица 2

Основные характеристики парома проекта CNF03

Длина максимальная, м	150,32
Длина между перпендикулярами, м	140,31
Ширина габаритная, м	22,00
Ширина расчетная, м	21,00
Высота борта, м	7,15
Осадка по ЛГВЛ, м	3,80
Водоизмещение по грузовую марку, т ($\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$)	9863
Дедвейт при осадке 3,80 м, т	6698
Грузоподъемность при осадке 3,80 м	5158
Автономность, суток	15
Мощность ГДГ, кВт	2700 (3×900)
Мощность гребной установки, кВт	2650 (2×1325)
Экипаж / мест	16/19
Скорость хода в грузу при осадке 3,80 м при 0,75 МДМ, узл.	10,0

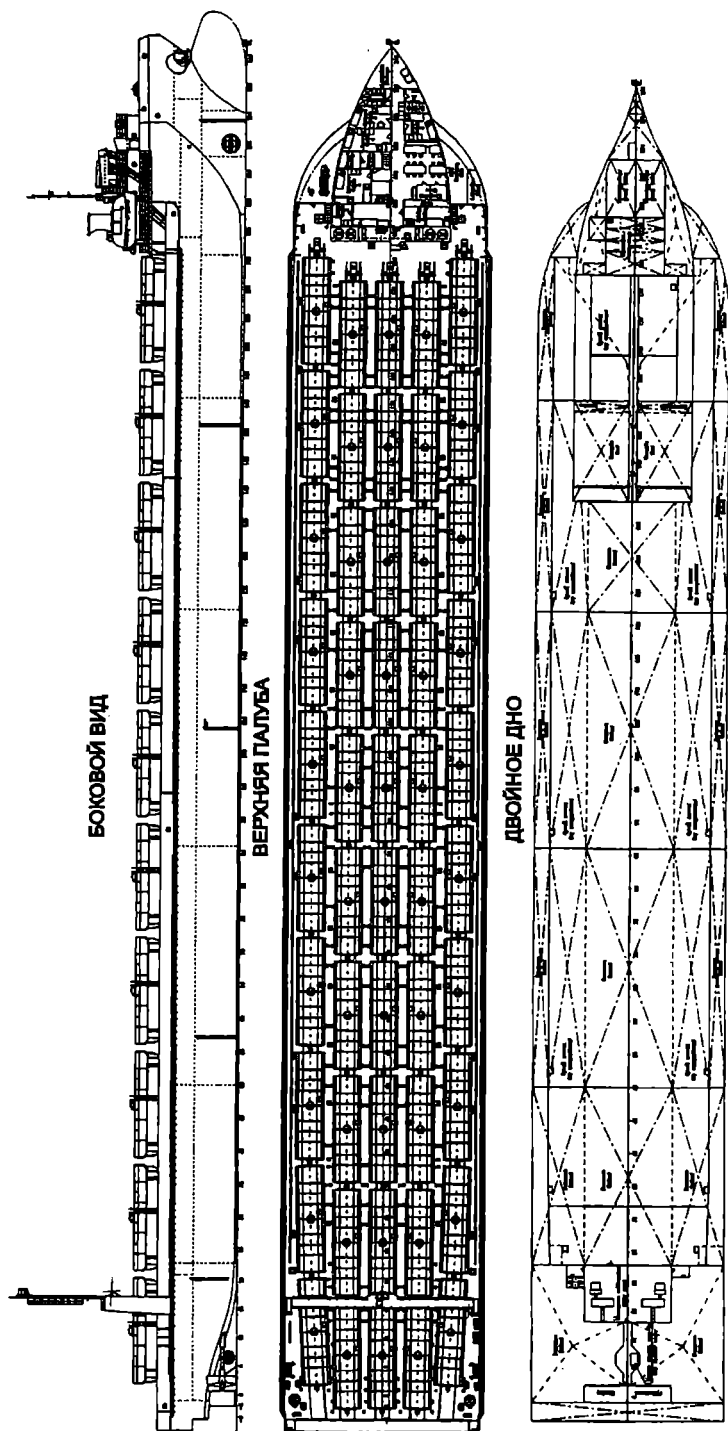


Рис. 5. Общее расположение парома «SMAT»

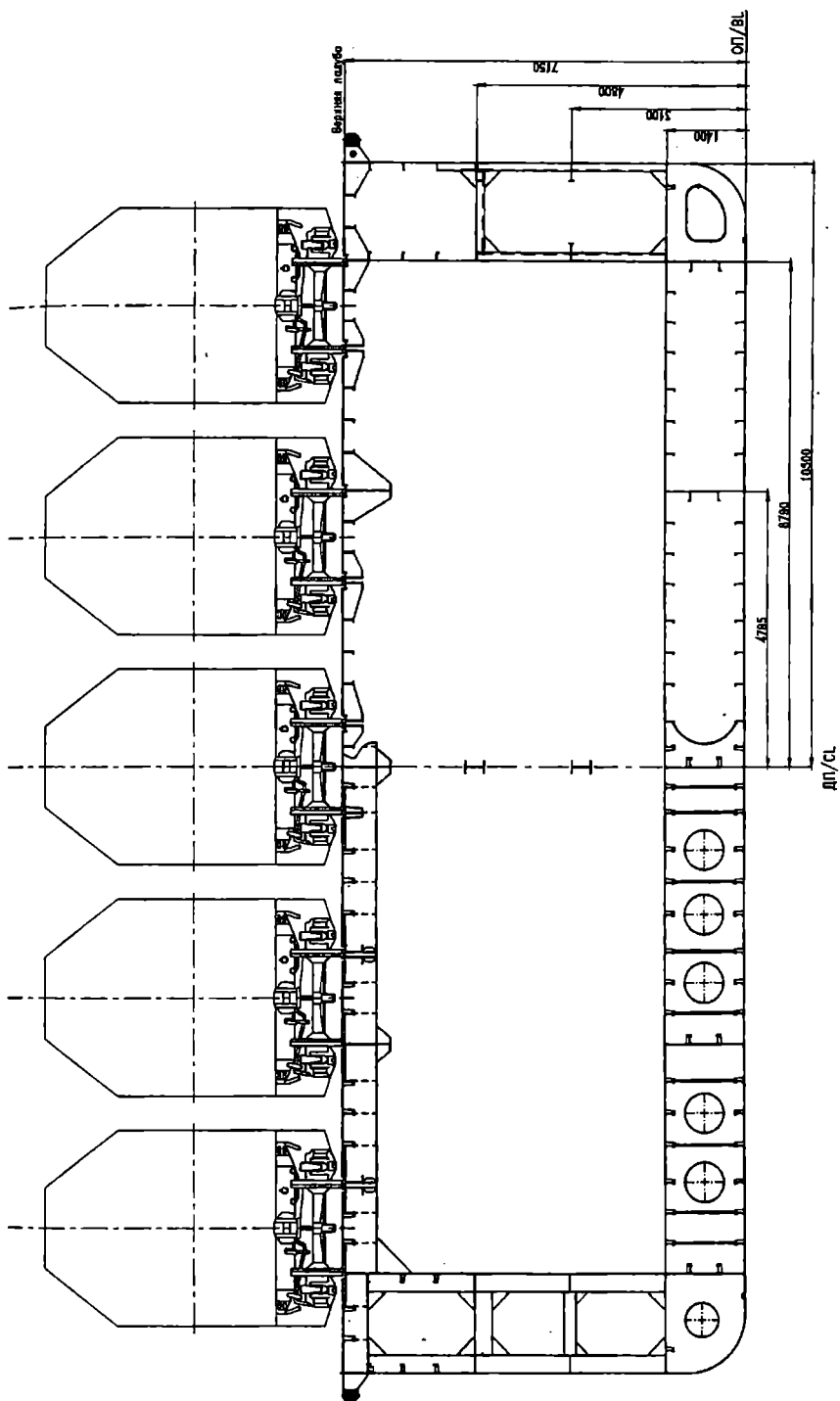


Рис. 6. Мидель-шпангоут парома «СМАТ»

Судно спроектировано и построено на класс PPP « М-СП 3.5».

Паром предназначен для перевозки накатным способом железнодорожных составов габаритом 1-Т. Также предусмотрена возможность перевозки колесной техники, негабаритных грузов и контейнеров международного образца. Железнодорожные вагоны размещаются на пяти путях верхней палубы. Вместимость по железнодорожным цистернам с длиной между автосцепами 12020 мм – 50 единиц. Вместимость по железнодорожным грузовым вагонам с длиной между автосцепами 14730 мм – 38 единиц. Вместимость по железнодорожным пассажирским вагонам с длиной между автосцепами 24540 мм – 22 единицы. Вместимость по большегрузным автомобилям – 64 единицы. Вместимость по 20-ти футовым контейнерам – 106 единиц в одном ярусе (в зависимости от массы контейнеров общее количество TEU может достигать 318 единиц).

Отличительной особенностью парома является то, что он способен принимать на борт составы как с российской, так и с европейской колеями. Погрузка-выгрузка осуществляется в одной плоскости, что существенно удешевляет береговые терминалы и обеспечивает погрузку-выгрузку состава в течение 1,0-1,5 часов.

Архитектурно-конструктивный тип парома проекта CNF03.01 – самоходное стальное однопалубное судно без седловатости, двухвинтовое с винтами в насадках, с баком, с носовым расположением рубки и машинного отделения, кормовым расположением электрической гребной установки, с двойным дном, двойными бортами, с бульбовой носовой и транцевой кормовой оконечностью.

Носовой бульб несколько необычной формы стал следствием выполнения требований международных конвенций и одновременной экономии средств Заказчика. Поскольку длина судна увеличилась по сравнению с буксиром-донором более чем в два раза, расположение форпиковой переборки по длине судна не удовлетворяло требованиям МК СОЛАС 74. Для выполнения этих требований необходимо было либо перенести саму переборку, либо изменить расположение носового перпендикуляра. Перенос переборки форпика повлек бы за собой перенос всего оборудования помещения главного распределительного щита, что в свою очередь привело бы к большим финансовым затратам, поэтому было принято решение изменить положение носового перпендикуляра (конвенционного).

Теоретический корпус судна, включая узлы стыковки корпуса судна-донора и нового корпуса, получен с помощью современных методов CFD-моделирования на основе создания параметрической трехмерной модели поверхности. Форма бульбовой носовой надделки оптимизирована с целью уменьшения сопротивления и достижения судном максимально возможной при заданном пропульсивном комплексе скорости.

Общее расположение и конструкция судна позволяют в случае изменения конъюнктуры рынка переоборудовать его в многоцелевое трюмное сухогрузное судно или танкер-продуктовоз, что заранее предусматривалось при проектировании.

На ходовых испытаниях, проведенных 26-27 марта 2007 года, паром «SMAT» показал скорость 10 узлов при использовании 75% мощности двух ДГ и великолепную управляемость в стесненных условиях – с помощью двух подруливающих устройств (носового и кормового) судно разворачивалось на месте.

С целью выполнения требований к вероятностному индексу деления на отсеки судно разделено восемью главными водонепроницаемыми переборками на девять непроницаемых отсеков.

В качестве материала основных конструкций корпуса применяется судостроительная сталь категорий D и A. Элементы конструкций надстройки бака и жилой рубки – из стали категории A.

Грузовая палуба рассчитана на перевозку железнодорожных вагонов массой до 97 тонн, допускаемая нагрузка колесной техники на ось – 12 тонн. Размеры грузовой палубы (длина 122,7 м, ширина 21,0 м) позволяют перевозить т.н. «проектные» грузы, которые невозможно разместить на обычных судах. Наличие носовой рубки практически не ограничивает по высоте габариты нестандартного груза.

При меньшем количестве объектов допускается увеличение массы, приходящейся на одну единицу техники, что и было использовано при перевозке пяти тяжелых 200-тонных электровозов.

При выполнении проекта рассматривались различные варианты загрузки судна, были произведены специальные расчеты местной прочности днищевых, бортовых и палубных перекрытий при взаимодействии парама с аппарелью при погрузке судна (рис. 7 и рис. 8).

В виду особенностей погрузо-разгрузочных работ, которые напрямую связаны со скоростью балластировки, на судне установлены балластно-осушительные насосы общей производительностью 1500 м³/ч.

Главная энергетическая установка состоит из трёх главных дизель-генераторов мощностью 900 кВт каждый и двух гребных электродвигателей, работающих каждый на свой гребной винт. Имеется стояночный дизель-генератор мощностью 150 кВт и аварийный дизель-генератор мощностью 85 кВт.

Предусмотренные судовые устройства обеспечивают выполнение всех требований надзорных органов к судам данного типа.

Для подъема и отдачи якорей и для швартовки на палубе бака установлен брашпиль. Для обеспечения швартовых операций в корме, в том числе для подтягивания парама к береговому терминалу, установлены кормовые швартовные шпили.

**Теория, строительная механика
и проектирование корабля**

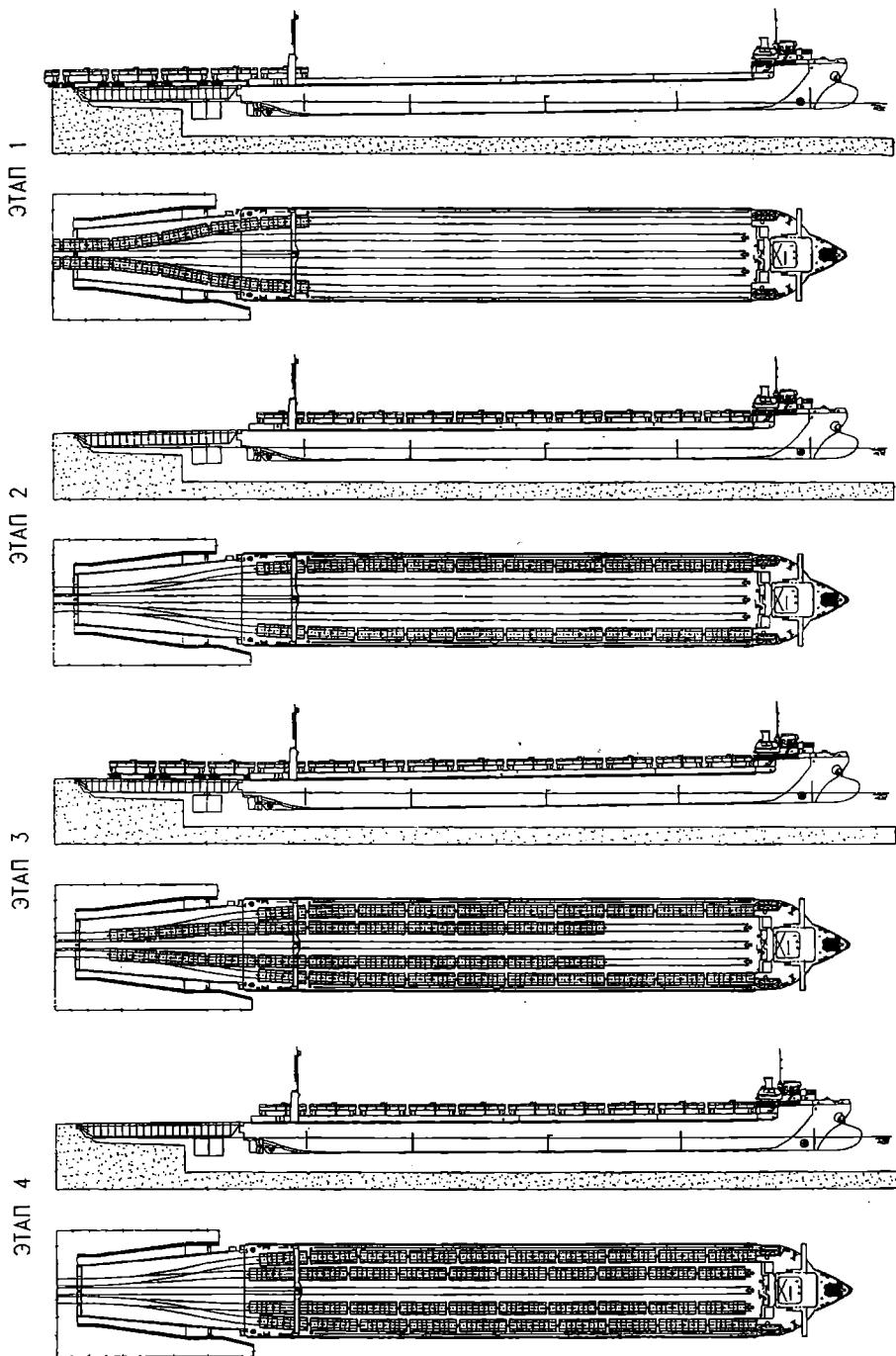


Рис. 7. Расчетная схема погрузки вагонов с аппарели на палубу судна

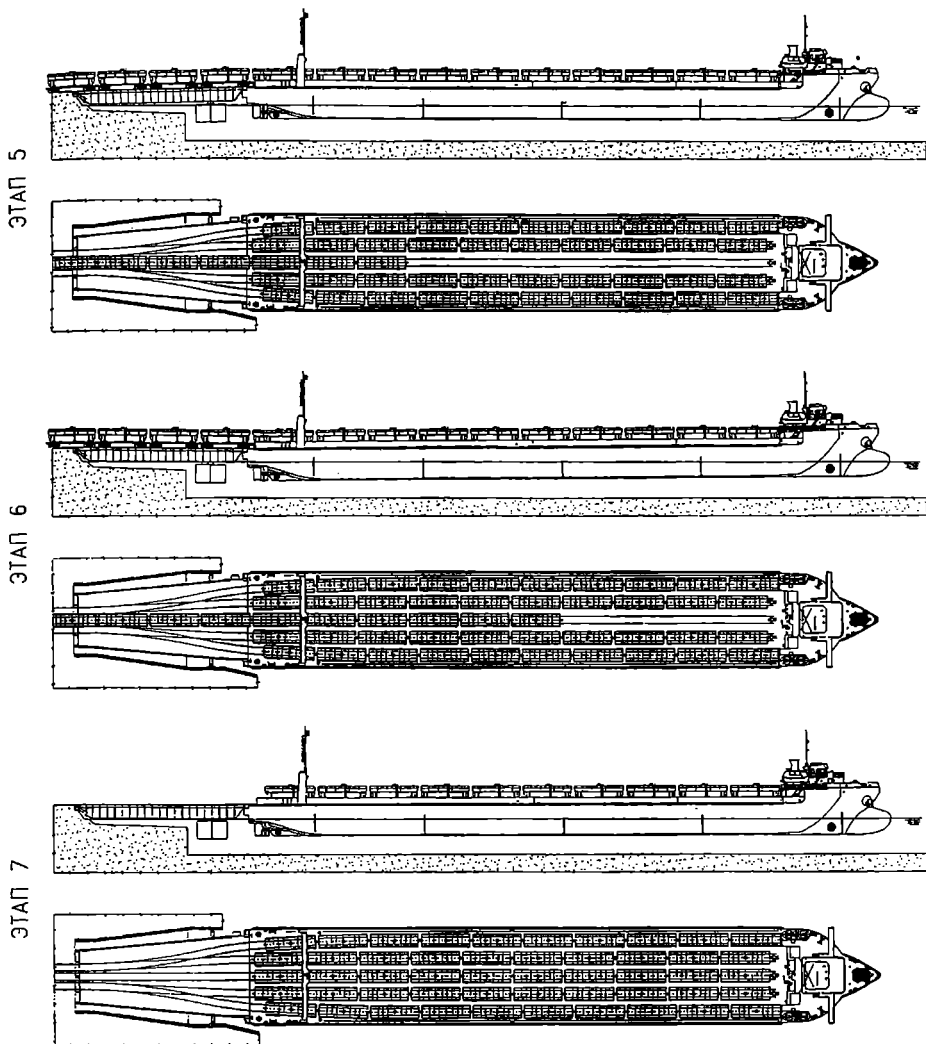


Рис. 8. Расчетная схема погрузки вагонов с аппарели на палубу судна

В носовой части судна по левому и правому бортам установлены спасательные шлюпки вместимостью 19 человек каждая. Спуск шлюпок производится при помощи двухшарнирных гравитационных шлюпбалок. Одна из спасательных шлюпок укомплектована в качестве дежурной.

В носовой части судна с каждого борта установлено по два спасательных плота сбрасываемого типа вместимостью 12 человек каждый. Кроме того, сбрасываемый плот вместимостью 6 человек установлен на верхней палубе в кормовой части судна.

Состав средств связи предусмотрен в объеме требований Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ) для морских районов А1+А2+А3. Комплекс современного судового радиоборудования обеспечивает связь при бедствиях и безопасность мореплавания, а также эксплуатационную связь общего назначения.

Гирокомпас с репитерами, главный магнитный компас, лаг, эхолот, приемоиндикатор GPS, две радиолокационные станции, а также АИС обеспечивают судоводителя и системы-потребители навигационной информацией.

Управление судном, главной энергетической установкой, гребными электродвигателями, поворотными насадками, подруливающими устройствами, радионавигационными средствами осуществляется из центрального объединенного поста управления в рулевой рубке.

Для размещения экипажа из 16 человек на судне предусмотрено 2 одноместные, 5 двухместных, 1 трехместная и 2 четырехместные каюты. В каждой каюте установлен умывальник.

Общее количество мест на судне – 19 (16 мест для экипажа и 3 запасных места).

На судне предусмотрены необходимые санитарно-гигиенические помещения, санитарно-бытовые помещения для экипажа и камбузный блок.

Утром 17 мая 2007 г. в порту Поти первый рейс с грузом парома «SMAT» завершился успешной выгрузкой пяти восьмиосных электровозов ВЛ10 массой по 200 тонн каждый. Двухсекционные электровозы постоянного тока ВЛ10, имеющие мощность 5360 кВт, габаритные длину 32,84 м, ширину 3,16 м и высоту 4,25 м, прибыли из порта Кавказ и являлись гуманитарной помощью для Армении со стороны РАО «Российские железные дороги». Погрузка груза в порту Кавказ была осуществлена вечером 14 мая, подход на рейд порта Поти – 16 мая. Погрузка, выгрузка и переход судна прошли без замечаний. Успешная стыковка и накатка вагонов в портах Кавказ и Поти подтвердила правильность решений, заложенных в проект.

В заключение хотелось бы отметить, что в сочетании с малой осадкой паром проекта CNF03 не имеет аналогов в мире по количеству принимаемых на борт вагонов.

Заключение. Полученные результаты позволяют выделить основные требования к проектированию железнодорожных паромов для Черного моря:

1. Класс судна должен обеспечивать безопасную и рентабельную эксплуатацию в условиях Черного моря по заданным линиями (линии) Кавказ – Крым, Кавказ – Поти, Кавказ – Самсун, Кавказ – Варна.

2. Выбор главных размерений судна (длина, ширина, осадка) определяется портовыми условиями порта Кавказ.

3. Предполагается перевозка вагонов на открытой верхней палубе. Груз должен быть безопасно раскреплен при любых возможных условиях перехода, в том числе и при наличии ошибки прогноза. Рекомендуется установка «развитого» фальшборта.

4. Общая продольная прочность корпуса должна позволять производить грузовые операции вагонов двумя составами в один проход с минимальными затратами стояночного времени и с выполнением всех условий безопасной сцепки с береговой аппарелью порта Кавказ по углу слома рельсов, углу крена, максимальной и минимальной просадки кормы парома.

5. Местная прочность корпуса должна быть обеспечена за счет набора (рамные балки, переборки, пиллерсы, фермы) при рациональных распределении и схеме передачи нагрузки от вагонов с минимизацией толщины настилов, а также с учетом контакта конструкций кормовой оконечности с береговой аппарелью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Егоров Г.В. Прочностные проблемы проектирования железнодорожных паромов для Каспия // Труды НТК по СМК памяти акад. Ю.А. Шиманского. – СПб: ЦНИИ им акад. А.Н. Крылова, 2003. – С. 18-19.*
2. *Ефремов Н.А., Егоров Г.В. Опыт строительства судов с использованием элементов эксплуатировавшегося флота // Речной транспорт. – 2005. – 25 С.*

Надійшла 09.10.07

УДК 629.12

В.В. Козляков
А.А. Соловьев
В.В. Аврамов
Н.Ф. Бутенко

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ УЗЛОВ СУДОВЫХ БЕСКНИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Выявлено значительное увеличение касательных напряжений в бескничных узлах шпангоутных рам на основе результатов уточненного расчета в пластинчатой идеализации по МКЭ и испытаний крупной стальной модели. Предложен приближенный способ соответствующей корректировки результатов традиционного расчета в стержневой идеализации.

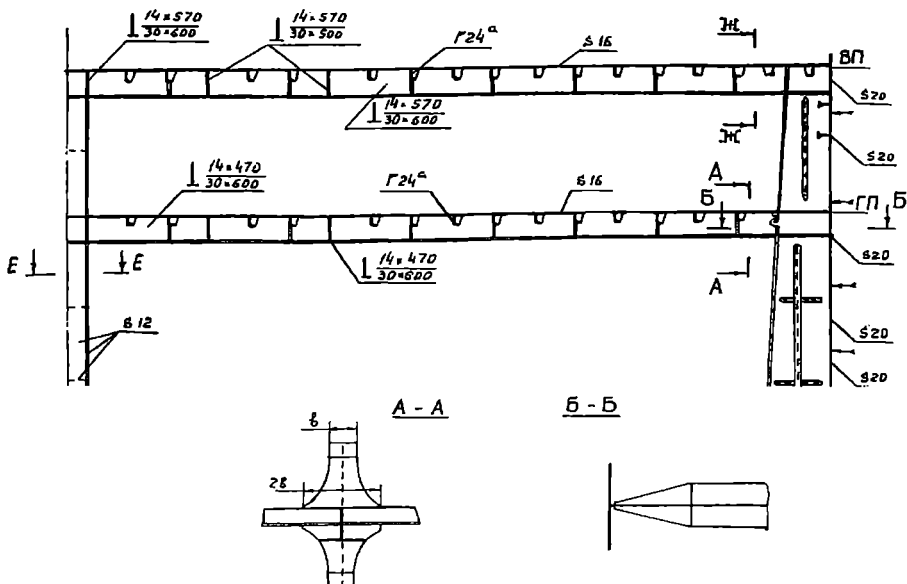
Ключевые слова: *шпангоутная рама, бескничный узел, метод конечных элементов, стержневая или пластинчатая идеализации рамы, тензометрический эксперимент.*

Проблема целесообразности использования бескничных узлов шпангоутных рам в судостроении возникла с началом внедрения сварки. В обстоятельном экспериментальном исследовании А.Ф. Стручкова [1] даже был сделан вывод о явном преимуществе бескничных узлов из-за их меньшего веса и меньшего загромождения подпалубного пространства. Однако, в расчетно-экспериментальных исследованиях Хейга [2], Веделера [3], А.З. Локшина, Л.И. Рябова [4] и Г.В. Шаруна [5] были выявлены и ряд недостатков бескничных узлов в сварных конструкциях, связанных со снижением их жесткости и прочности, но лишь в основном только по нормальным напряжениям. Поэтому кнечные узлы до настоящего времени совершенствуются и широко используются в судостроении.

Тем не менее, стремление к всемерному увеличению внутреннего пространства грузовых трюмов на ряде специализированных современных судов, приспособленных для перевозки контейнеров и других крупногабаритных грузов, привело к широкому использованию не только бескничных соединений шпангоутных рам, но и к возможному уменьшению высоты бимсов и использованию для них широких и толстых поясков.

При конструктивном оформлении бескничных узлов бимс-шпангоут и флор-шпангоут основное внимание уделялось уменьшению концентрации нормальных напряжений за счет постепенного уменьшения

ширины свободного пояса бимсов и шпангоутов в пределах узла, что отчетливо видно на эскизе верхней части шпангоутной рамы накатного 4-х палубного судна типа «Капитан Смирнов» (рис.1).



*Рис. 1. Верхняя часть шпангоутной рамы накатного судна
«Капитан Смирнов»*

При конструктивном оформлении узла флор-шпангоут настил 2-го дна либо доводится до наружного борта с устройством больших овальных вырезов, либо продолжается в междубортном пространстве в виде сравнительно узких фестонов на каждом рамном флоре, что можно видеть на современных судах с двойными бортами, например на судне смешанного плавания типа «Балтийский», эскиз конструктивного мидель-шпангоута которого показан на рис.2. Важно отметить, что в большинстве случаев в стенках флора в таком узле даже устраиваются довольно большие вырезы (рис. 2).

В практике эксплуатации упомянутых бесконечных узлов неоднократно были отмечены повреждения в виде гофрировок и трещин, а при экспериментальных исследованиях [1] раннее отслаивание окарины в пределах только стенки бесконечных узлов, что свидетельствует об их повышенной напряженности вплоть до предела текучести по сравнению со стенками примыкающих к ним бимсов, флора и шпангоута.

Сдвиговой характер напряженного состояния бесконечного узла отчетливо виден и на рис. 3, где представлена фотография испытанной модели № 7 из работы [1], где первоначально прямоугольный бесконечный узел превратился в ромб.

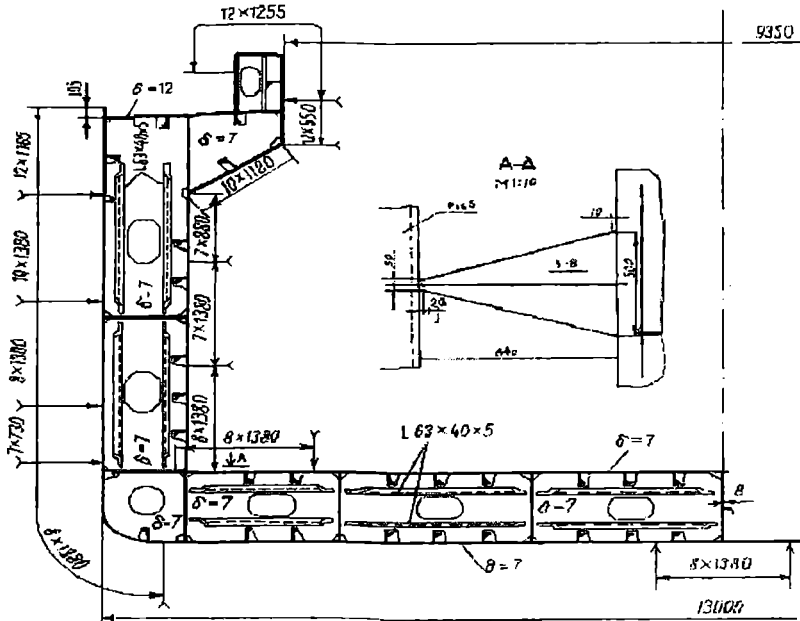


Рис. 2. Мидель-шпангоут т/х «Балтийский»

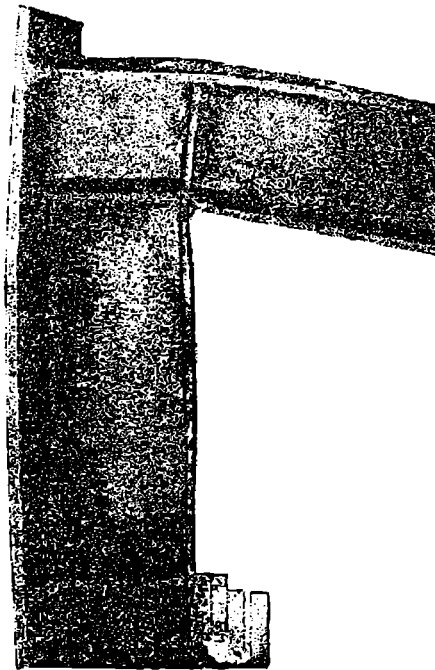


Рис. 3. Модель №7 [1], после эксперимента

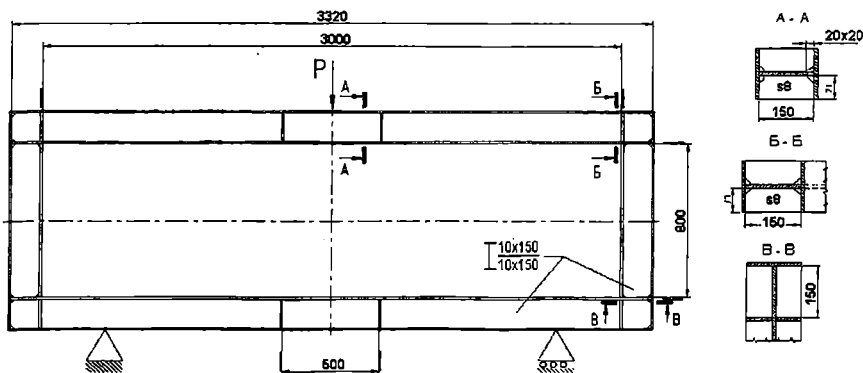


Рис. 4. Эскиз испытанной рамы

Однако, даже таким ярким фактам почему-то не было уделено серьезного внимания и шпангоутные рамы продолжают рассчитывать по традиционной стержневой схеме, не выявляющей особенностей напряженного состояния узлов, т.к. нормальные и касательные напряжения определяются по границам бесконечного узла.

Современные расчеты шпангоутных рам в пластинчато-оболочечной идеализации по методу конечных элементов отчетливо выявляют резкое (иногда в несколько раз) увеличение касательных напряжений в районе бесконечных соединений по сравнению с прилегающими к ним участками стенок бимса или флора.

Для проверки этой практически важной особенности бесконечных узлов в статье выполнено расчетно-экспериментальное исследование крупной модели шпангоутной рамы.

Размеры модели рамы представлены на рис. 4. Испытания были выполнены на гидравлическом прессе кафедры СМК ОНМУ по схеме рамы на двух опорах, нагруженной сосредоточенной силой посередине верхнего пролета.

Основное внимание на первом этапе было уделено анализу напряженного состояния в упругой стадии. Средняя величина предела текучести материала модели $R_{сН}^{ср} \cong 300$ МПа.

Деформации в стенках и поясках измерялись с помощью 40 фольговых тензорезисторов с базой 5 мм и омическим сопротивлением 200 Ом. Регистрация деформаций осуществлялась с помощью 100 точечной тензометрической станции СИИТ-3.

Тензорезисторы на стенках 2-х бесконечных верхних узлов были установлены с двух сторон в виде прямоугольных розеток, а на поясках – в виде одиночных датчиков над стенками. Типовая схема установки тензорезисторов показана на рис. 5. В соответствии с предварительными расчетами максимальная нагрузка в упругой стадии была ограничена

величиной $P = 100$ кН, которая реализована в виде двух ступеней нагрузки и разгрузки, после 3-х кратной тренировочной нагрузки-разгрузки.

Наиболее характерные результаты представлены на рис.6 в виде зависимости осредненных по двум бесконичным узлам зависимостей касательных напряжений в стенках верхней балки в центре бесконичных узлов в сечении «а-а» и в прилегающим к ним стенок верхней балки в сечении b-b, а также максимальных нормальных осредненных напряжений в поясках верхней балки.

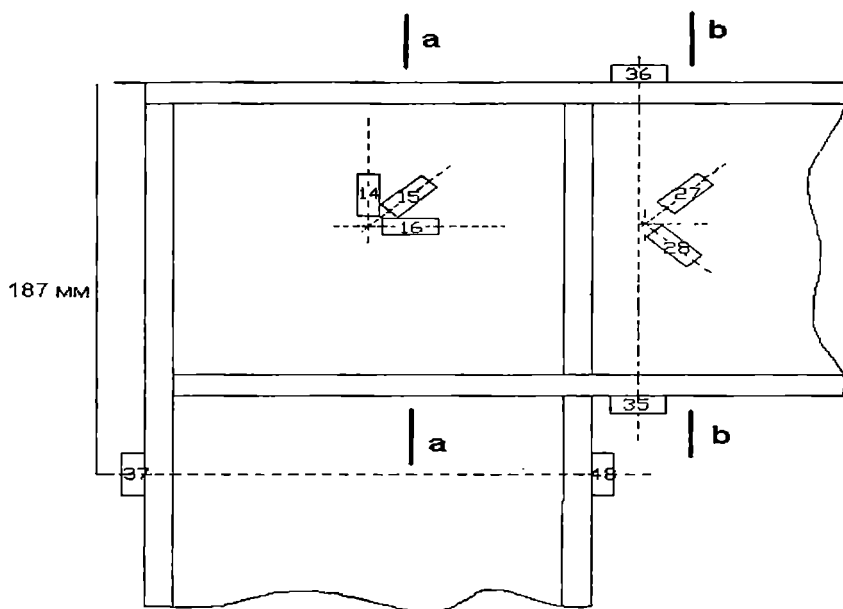


Рис. 5. Схема наклейки основных тензорезисторов

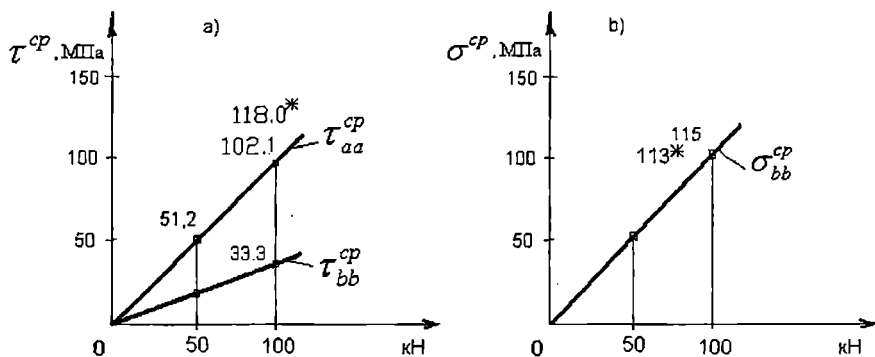
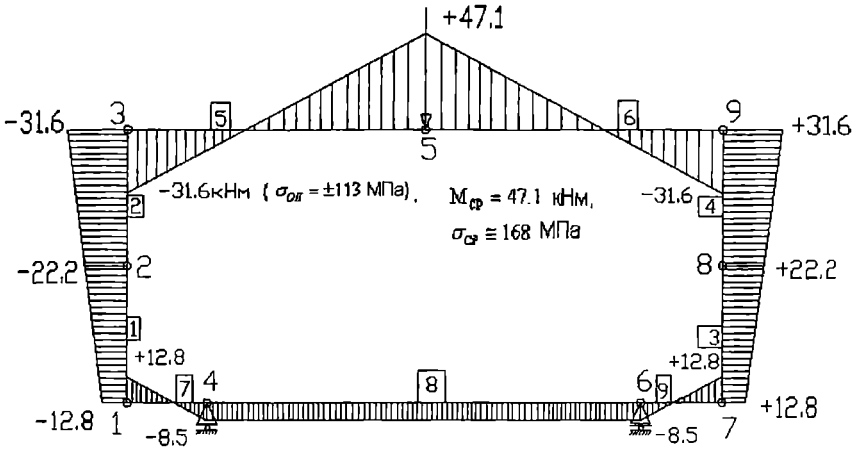
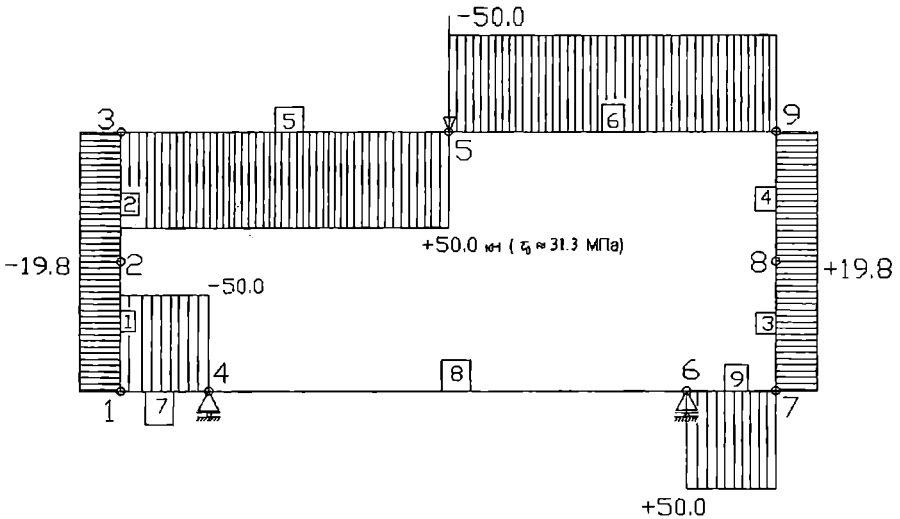


Рис. 6. Результаты эксперимента и расчета
* - расчет по МКЭ

Для сравнения полученных результатов прежде всего был выполнен традиционный расчет рамы по стержневой схеме с учетом деформаций сдвига, результаты которого в виде эпюр изгибающих моментов и перерезывающих сил, а также соответствующих им максимальных нормальных напряжений в поясах и средних касательных напряжений в стенках при $P = 100$ кН, представлены на рис. 7, 8.



*Рис. 7. Эпюра распределения изгибающих моментов
в модели рамы при $P = 100$ кН*



*Рис. 8. Эпюра распределения перерезывающих сил
в модели рамы при $P = 100$ кН*

Сравнение измеренных касательных напряжений в центре стенок бесконечных узлов и касательных напряжений в прилегающих к нему участке стенки, а также нормальных напряжений в поясках по результатам традиционного расчета выявляет близкое совпадение результатов для сечений верхней балки соседних с бесконечными узлами ($\sigma_{bb}^3 = \pm 118$ МПа, $\tau_{bb}^3 \cong 33,3$ МПа, $\sigma_{bb}^p \cong 113$ МПа, $\tau_{bb}^p = \pm 31,3$ МПа), но одновременно резкое возрастание измеренных касательных напряжений в узле по сравнению с касательными напряжениями в опорном сечении по традиционному расчету

$$\tau_{aa}^3 = 102 \text{ МПа}; \tau_{bb}^{3,cp.} = 33,3 \text{ МПа}; \frac{\tau_{aa}^3}{\tau_{bb}^3} = \frac{102}{33,3} = 3,06.$$

Таким образом, эксперимент выявил 3-х кратное увеличение касательных напряжений в бесконечном узле по сравнению с касательными напряжениями в опорном сечении по традиционному расчету рамы в стержневой идеализации.

Для анализа результатов эксперимента был выполнен также расчет рамы в пластинчатой идеализации по двум программам метода конечных элементов ИСПА и ANSYS, результаты которых практически совпали.

Поэтому приводим в основном результаты расчета по лицензионной программе ИСПА [6] с прямоугольными конечными элементами. Схема разбивки модели на конечные элементы представлена на рис. 9. Общее количество пластинчатых элементов равно 2664, а число степеней свободы 14444 (без учета симметрии).

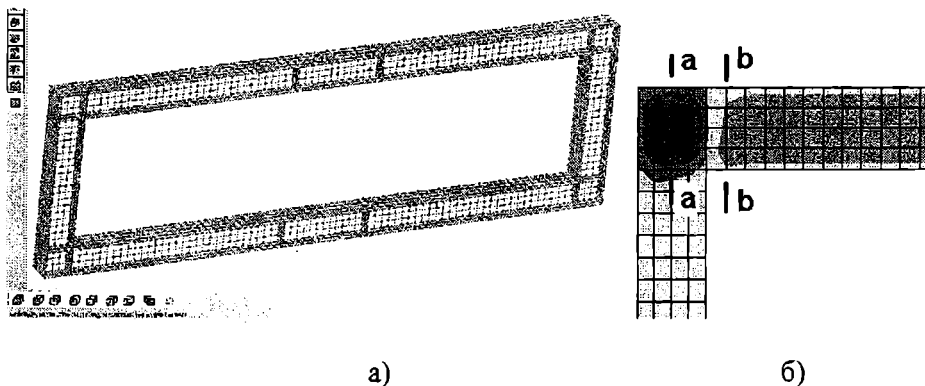


Рис. 9. Схема разбивки модели на конечные элементы

Результаты расчета в виде эпюр нормальных и касательных напряжений в сечениях aa и bb представлены на рис. 10 и 11.

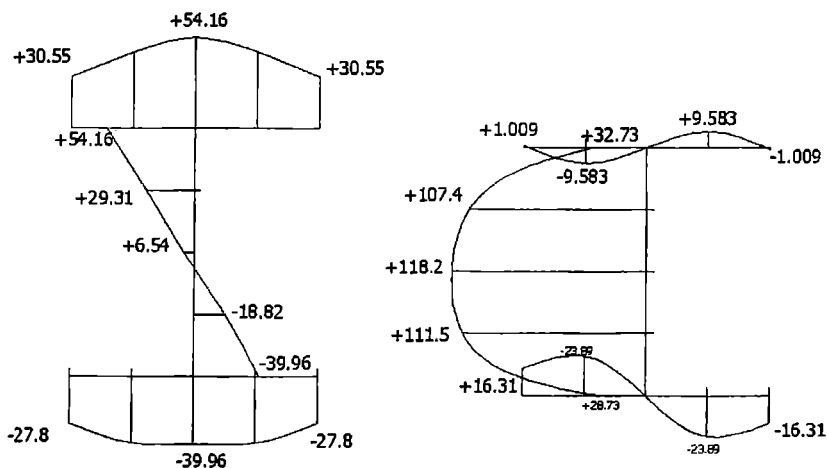


Рис. 10. Нормальные и касательные напряжения в сечении а-а

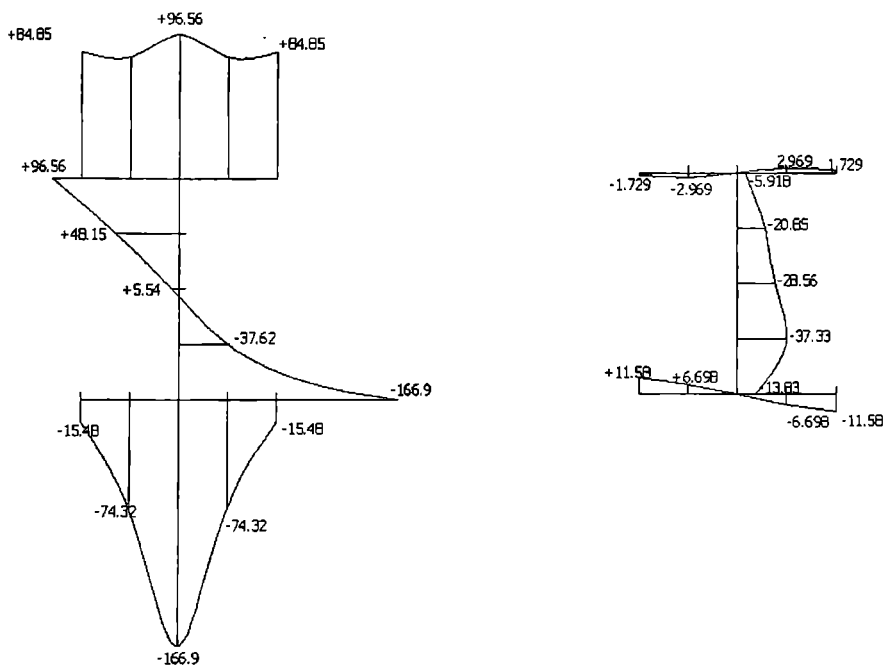


Рис. 11. Нормальные и касательные напряжения в сечении b-b

Сравнение свидетельствует, что экспериментально выявленный факт резкого увеличения касательных напряжений (также примерно в 3 раза) в районе бесконичного узла по сечению аа по сравнению с соседним опорным сечением верхнего пролета рамы bb полностью подтвержден результатами расчета в пластинчатой идеализации балки.

Расчеты шпангоутных рам в составе пространственных отсеков корпусов в пластинчатой идеализации выявляют ряд существенных особенностей их напряженного состояния, зависящего от деталей конструкции, что заслуживает отдельного рассмотрения.

Учитывая относительно высокую громоздкость расчета рам в пластинчатой идеализации, целесообразно обосновать приближенный способ корректировки результатов традиционного расчета рам по стержневой идеализации.

Такой приближенный способ корректировки может быть предложен на основе известного эффекта рычага, в соответствии с которым перерезывающая сила N_1 , в пределах короткого опорного пролета ℓ_1 , увеличивается по сравнению с величиной перерезывающей силы в опорном сечении N_0 рычага в ℓ/ℓ_1 раз, где ℓ – длина рычага или

$$\frac{N_1}{N_0} = \frac{M_{оп}}{N_0 \ell_1} = \frac{\ell}{\ell_1}.$$

Если для горизонтальных частей рамы в качестве опор приближенно принять расстояние между серединами толщин поясков шпангоута ℓ_1 и определить величину опорного момента $M_{оп}$ и перерезывающей силы N_0 в узле по традиционному расчету рамы в стержневой идеализации $M_{оп}$ и N_0 , то увеличение перерезывающей силы в опорном узле можно оценить по формуле

$$K_1 = \frac{N_1}{N_0} \cong \frac{M_{оп}^p}{N_0 \ell_1} = \frac{M_{оп}^{ж.з.}}{N_0} \alpha_{оп}, \quad (1)$$

где
$$\alpha_{оп} = \frac{M_{оп}^p}{M_{оп}^{ж.з.}},$$

$M_{оп}^{ж.з.}$ – изгибающий момент в опорном сечении при его жесткой заделке;

$\alpha_{оп}$ – коэффициент опорной пары.

Для испытанной модели при сосредоточенной нагрузке P , приложенной в середине пролета ℓ . $M_{оп}^{ж.з.} = \frac{P\ell}{8}$, $N_0 = \frac{P}{2}$, а для обычной распределенной нагрузки Q для бимса или флора рамы

Теория, строительная механика и проектирование корабля

$M_{оп}^{ж.з.} = \frac{Q\ell}{12}$, $N_0 = \frac{Q}{2}$ и величина коэффициентов K_1 определяется по формулам соответственно

$$K_1^P = \frac{P\ell \alpha_{оп} \cdot 2}{8 \ell_1 P} = \frac{1}{4} \alpha_{оп} \frac{\ell}{\ell_1} \quad \text{и}$$

$$K_1^Q = \frac{Q\ell \alpha_{оп} \cdot 2}{12 \ell_1 Q} = \frac{1}{6} \alpha_{оп} \frac{\ell}{\ell_1}.$$

Проверим правомерность приближенных формул для N_1 на основе сравнения результатов приближенного расчета и эксперимента.

В соответствии с рис. 7, 8 величина опорного момента по традиционному расчету рамы

$$M_{оп}^P = 31,6 \text{ кНм}, \quad N_0^P = 50 \text{ кН}.$$

Расстояние между серединами поясков шпангоутов

$$\ell_1 = 0,16 \text{ м}, \quad \ell = 3,15 \text{ м}, \quad M_{ж.з.} = \frac{P\ell}{8}.$$

$$\alpha_{оп} = \frac{M_{оп}}{M_{ж.з.}^P} = \frac{31,6}{\frac{100 \cdot 3,15}{8}} = \frac{31,6}{39,4} \cong 0,8.$$

$$N_1 = N_0 \frac{\ell \alpha_2}{4\ell_1} = N_0 \frac{3,15 \cdot 0,8}{4 \cdot 0,16} = N_0 \cdot 3,94.$$

Фактическая величина $N_1^3 = \tau_1^3 \cdot w_{cm} = 102 \cdot 15 \cdot 10^{-4} = 0,153 \text{ МН}$ и

$$\text{отношение } K_1 = \frac{N_1}{N_0} = \frac{0,153}{50 \cdot 10^{-3}} = 3,06 < 3,94.$$

Некоторое уменьшение коэффициента K_1 по сравнению с жесткой формулой (1) является вполне естественным.

Следовательно, для согласования приближенной формулы (1) с экспериментом необходимо ввести в ее знаменатель корректирующий множитель

$$\kappa_3 = \frac{3,94}{3,06} = 1,29 \approx 1,3.$$

Теория, строительная механика и проектирование корабля

Таким образом, для определения расчетного значения перерезывающей силы в районе бесконичного узла при сосредоточенной силе следует использовать откорректированную формулу

$$K_1 = \frac{N_1}{N_0} = \frac{\alpha_{оп} \ell}{4\ell_1 \cdot \kappa'_3}.$$

При равномерной загрузке горизонтальной ветви рамы, что характерно для реальных шпангоутных рам, корректировочный коэффициент κ'_3 можно принять равным $\kappa'_3 = 1,15$, на основе аналогичного численного эксперимента по МКЭ, хотя это и заслуживает уточнения с учетом конструктивных особенностей бесконичных узлов и характеристик шпангоутных рам.

$$K_1 = \frac{N_1}{N_0} = \frac{\alpha_{оп} \ell}{6\ell_1 \cdot \kappa'_3}, \text{ где } N_0 = \frac{Q}{2}, \alpha_{оп} = \frac{M_{оп}^p}{M_{ж.з.}}$$

Целесообразно определить минимальную величину $\left(\frac{\ell}{\ell_1}\right)_{\min}$ при равномерной нагрузке, когда коэффициент увеличения перерезывающей силы в бесконичном узле равен единице $K_1 = 1$, $\alpha_{оп} = 0,79$

$$\left(\frac{\ell}{\ell_1}\right)_{\min} = \frac{6\kappa'_3}{\alpha_{оп}} \cong \frac{6 \cdot 1,15}{0,79} = 8,73.$$

В действительности для бимса шпангоутной рамы на рис. 1

$$\ell \approx 15 \text{ м}, \ell_1 = 0,71 \text{ м}, \alpha_{оп} \approx 0,8, \frac{\ell}{\ell_1} \cong \frac{15}{0,71} = 21,13 \gg 8,73,$$

$$K_1 \cong \frac{0,8 \cdot 15}{6 \cdot 0,71 \cdot 1,15} \cong 2,56,$$

а для узла флор-шпангоут т/х «Балтийский» при

$$\frac{\ell}{\ell_1} = \frac{11,24}{0,88} = 12,77 > 8,73, \alpha_{оп} \cong 0,77,$$

$$K_1 = \frac{0,77 \cdot 12,77}{6 \cdot 1,15} = 1,43.$$

Теория, строительная механика и проектирование корабля

Таким образом, если для рамы накатного судна коэффициент увеличения перерезывающей силы в бесконичном соединении бимса со шпангоутом превышает $K_1 > 2,0$ особенно если учесть увеличение опорного момента бимса из-за вертикального перемещения диаметральных пиллерсов, то для бесконичного узла флор – шпангоут $K_1 > 1,43$ (без учета выреза), а с учетом выреза с диаметром $d \cong 0,3$ м до

$$K_1 \cong 1,43 \cdot \frac{0,88}{0,58} \cong 2,16.$$

Подытоживая все вышесказанное можно сделать следующее заключение, что для обеспечения прочности стенок шпангоутных рам в бесконичных узлах при $\frac{\ell}{\ell_1} > \frac{6\kappa_2}{\alpha_{оп}} \cong 8,73$ необходимо увеличивать толщину стенок в районе таких узлов не менее чем в K_1 раз по сравнению с толщиной стенки на границе узла, где

$$K_1 = \frac{M_{оп}}{N_0 \ell_1 \kappa_2} = \frac{\ell}{6\ell_1} \frac{\alpha_{оп}}{\kappa'_2} \cong \frac{1}{6,9} \alpha_{оп} \frac{\ell}{\ell_1}, \quad \alpha_{он} = \frac{M_{оп}}{M_{ж.э.}} = \frac{12M_{он}}{Q\ell},$$

$M_{оп}$ – расчетное значение опорного изгибающего момента по традиционному расчету рамы в стержневой идеализации.

Необходим также обязательный контроль устойчивости стенки при сдвиге. Целесообразно не делать больших вырезов в стенке в пределах бесконичного узла.

Вопросы расчетно-экспериментального исследования предельных нагрузок для шпангоутных рам и перекрытий с бесконичными узлами также имеют существенные особенности, выходящие за пределы этой статьи и заслуживающие отдельного рассмотрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стручков А.Ф. Исследование прочности соединений шпангоутов с бимсами. Л.: Судостроение. – № 3, 1935.
2. Haigh В.Р. *Constructional tests on mild steel rolled section with electrically welded joints. TINA. Vol. 75. 1933.*
3. Vedeler G. *Calculation of beams. TINA. Vol. 92. 1950.*
4. Локишин А.З., Рябов Л.И. Судовые кничные соединения. Л.: Судостроение, 1973.
5. Шарун Г.В. Анализ напряженно-деформированного состояния узлов корпусных конструкций накатных судов на основе метода конечных элементов: Матеріали конференції УДМТУ «Кораблебудування». Освіта, наука, виробництво. Миколаїв, 24-25 вересня 2002.
6. Мухин А.М. Руководство пользователя ИСПА (конечно-элементный пакет «Интегрированная система прочностного анализа»), Москва, 2000. (ИСПА 2006, Версия 11.11.41. 01 апреля 2006).

Надійшла 10.10.07

УДК 629.12.073.243.4:532.59+629.12.01:531.111

А.В. Демидюк
В.И. Тонюк

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДОЛЬНОЙ КАЧКИ ТРИМАРАНА

Изложены основные результаты экспериментального определения гидродинамических и кинематических характеристик продольной качки модели тримарана, выполненного в опытовом бассейне ОНМУ.

Ключевые слова: тримаран, продольная качка, экспериментальные исследования, гидродинамические характеристики качки, кинематические характеристики качки.

Определение характеристик мореходности для многокорпусных судов (таких как тримараны) и судов с нетрадиционной формой обводов связано с известными трудностями. Такие трудности вызваны, во-первых, недостаточным объемом экспериментальных данных по этим судам, а во-вторых, отсутствием доступных расчетных методик, подтвержденных результатами сопоставительных расчетов.

В опытовом бассейне ОНМУ проведены комплексные исследования по определению гидродинамических и кинематических характеристик продольной качки модели тримарана. В процессе проведения экспериментов определялись на первом этапе – возмущающие силы и моменты, на втором этапе – инерционные и демпфирующие характеристики продольной качки, на третьем – её кинематические характеристики. Особое внимание было уделено изучению влияния скорости хода на определяемые характеристики.

В качестве объекта исследований принята модель тримарана, спроектированная и изготовленная специально для подобных испытаний. Форма корпуса тримарана выбрана таким образом, чтобы упростить численную реализацию полученного теоретического решения задачи о продольной качке тримарана. Проекция «Корпус» модели тримарана приведена на рис. 1.

Модель тримарана изготовлена из пенопласта и покрыта сплавом парафина с воском; для крепления к экспериментальным установкам предусмотрены закладные детали из дерева, которые вклеены в модель в соответствующих местах.

Теория, строительная механика и проектирование корабля

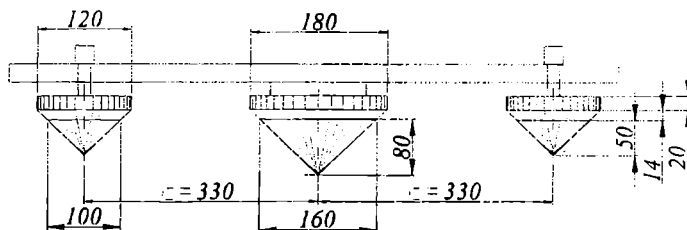


Рис. 1. Проекция «Корпус»

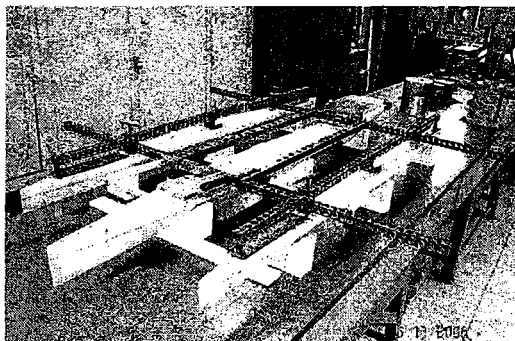


Рис. 2. Модель тримарана в сборе

Основные характеристики модели даны в табл. 1

Таблица 1

Основные характеристики модели тримарана

Характеристики	Обознач.	Значения
Длина наибольшая, м	L	2,000
Ширина при максимальном клиренсе, м	B_{\max}	1,080
Ширина центрального корпуса, м	B_{chull}	0,180
Ширина аутриггера, м	B_{autr}	0,120
Осадка наибольшая, м	d_{\max}	0,080
Водоизмещение, м ³	V	0,0147
Площадь ватерлинии, м ²	S	0,4437
Радиус инерции	ρ / L	0,225

Для проведения испытаний существующая экспериментальная установка опытового бассейна была модернизирована. Наиболее существенно модернизирована система волнопродуцирования, которая получила частотное управление приводом электродвигателя. Это позволило с большей точностью задавать параметры регулярного волнения. Подробное описание экспериментальной установки дано в работе [1].

Теория, строительная механика и проектирование корабля

Все эксперименты, результаты которых приведены в данной работе, выполнены в двух режимах – при нулевой скорости хода $V_M = 0$ и при движении модели со скоростью $V_M = 0,4 м/с$.

Поперечный клиренс аутриггеров тримарана c в процессе замеров изменялся от 240 мм до 420 мм с шагом 90 мм, (рис. 3 а). Изменение продольного клиренса c_L учитывалось положением аутриггеров по длине относительно центрального корпуса при постоянном поперечном клиренсе, равном $c = 420$ мм, и было зафиксировано в двух случаях: исходном и кормовом, при котором аутриггеры тримарана были смещены в корму от исходного положения на 180 мм, (рис. 3 б).

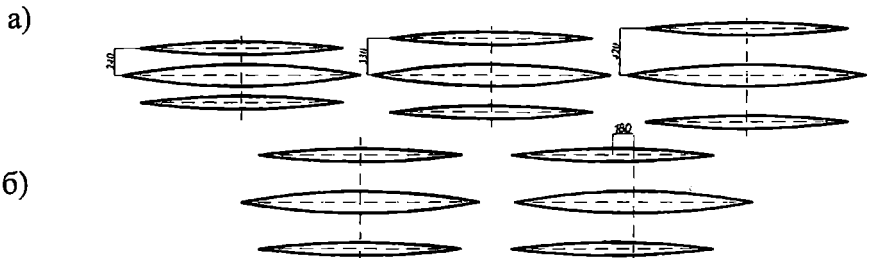


Рис. 3. Изменение поперечного c (а)
и продольного c_L (б) клиренсов тримарана в процессе исследований

Диапазон относительных частот ν при вынужденных колебаниях на тихой воде, а также при измерении возмущающих сил и продольной качки на регулярном волнении был выбран в пределах ν от 1,7 до 4,0

$$\nu = \sigma \sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (1)$$

где σ – частота вынужденных колебаний, либо регулярного волнения, рад/с;

$g = 9,81 м/с^2$ – ускорение силы тяжести.

Возмущающие силы и моменты для модели тримарана на регулярном волнении представлены в виде зависимостей относительных амплитуды вертикальных сил $\overline{F_Z} = f(\nu)$ (рис. 4) и продольного момента $\overline{M_Y} = f(\nu)$ (рис. 5) при курсовом угле 180°

$$\overline{F_Z} = \frac{F_Z}{\gamma \cdot r_0 \cdot S}; \quad \overline{M_Y} = \frac{M_Y}{\gamma \cdot r_0 \cdot S \cdot L}, \quad (2)$$

где F_Z – амплитуда вертикальной возмущающей силы, кгс;

M_y – амплитуда продольного момента, кгс·м;

r_0 – радиус волны, м;

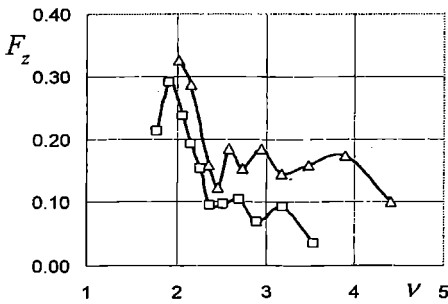


Рис. 4. Вертикальная возмущающая сила; поперечный клиренс аутриггеров $s = 240$ мм;
□ – $Fr = 0$; △ – $Fr = 0,09$

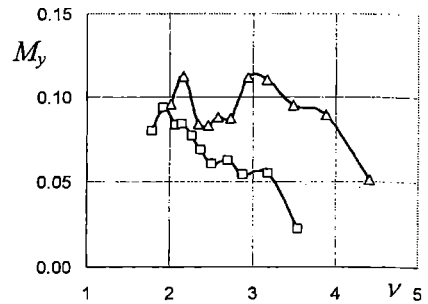


Рис. 5. Продольный момент; поперечный клиренс аутриггеров $s = 240$ мм;
□ – $Fr = 0$; △ – $Fr = 0,09$

На рис. 6 и 7 представлены зависимости относительных возмущающих сил и моментов от частоты качки при наличии хода модели и различных значениях поперечного и продольного клиренсов.

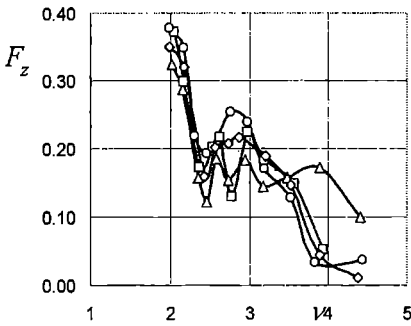


Рис. 6. Вертикальная возмущающая сила; $Fr = 0,09$; поперечный клиренс аутриггеров s : △ – 240 мм; □ – 330 мм; ○ – 420 мм; ◇ – поперечный клиренс – 420 мм; продольный – $s_L = 180$ мм

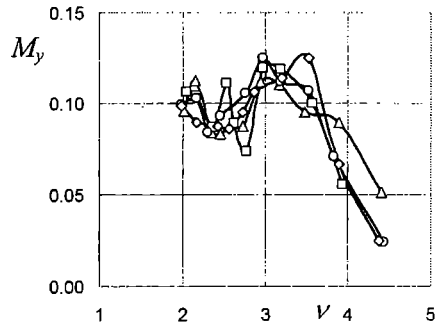


Рис. 7. Продольный момент; $Fr = 0,09$; поперечный клиренс аутриггеров s : △ – 240 мм; □ – 330 мм; ○ – 420 мм; ◇ – поперечный клиренс – 420 мм; продольный – $s_L = 180$ мм

Гидродинамические характеристики модели тримарана при вынужденных вертикальных колебаниях представлены в виде зависимостей безразмерных присоединенных масс $\lambda_{33} = f(\nu)$ (рис. 8) и коэффициентов демпфирования $\mu_{33} = f(\nu)$ (рис. 9):

Теория, строительная механика и проектирование корабля

$$\bar{\lambda}_{33} = \frac{\lambda_{33}}{\rho V}; \quad \bar{\mu}_{33} = \frac{\mu_{33}}{\rho V \sqrt{g/L}}, \quad (3)$$

где ρ – плотность воды, кгс·с²/м⁴;

λ_{33} – присоединенная масса модели при вертикальных колебаниях, кгс·с²/м;

μ_{33} – коэффициент демпфирования при вертикальных колебаниях, кгс·с/м.

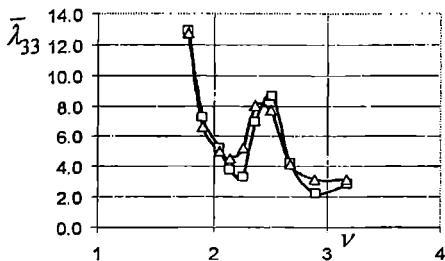


Рис. 8. Присоединенная масса модели при вертикальных колебаниях, поперечный клиренс ауттриггеров $s = 240$ мм; $\square - Fr = 0$; $\triangle - Fr = 0,09$

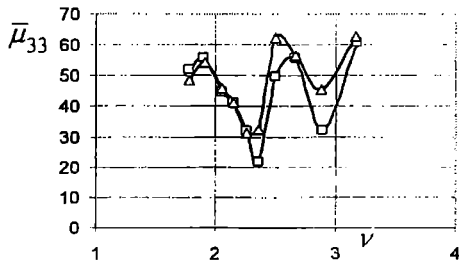


Рис. 9. Коэффициент демпфирования модели при вертикальных колебаниях; поперечный клиренс ауттриггеров $s = 240$ мм; $\square - Fr = 0$; $\triangle - Fr = 0,09$

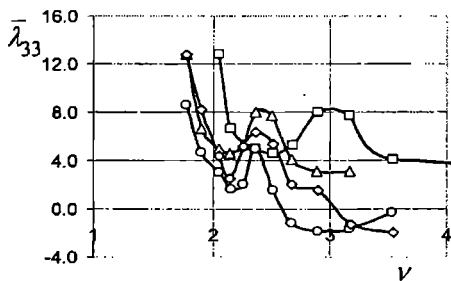


Рис. 10. Присоединенная масса модели при вертикальных колебаниях, $Fr = 0,09$; поперечный клиренс ауттриггеров s : $\triangle - 240$ мм; $\square - 330$ мм; $\circ - 420$ мм; $\diamond -$ поперечный клиренс -420 мм; продольный $-s_l = 180$ мм

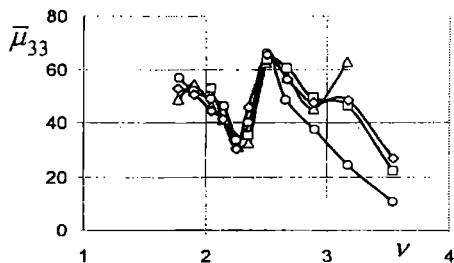


Рис. 11. Коэффициент демпфирования модели при вертикальных колебаниях; $Fr = 0,09$; поперечный клиренс ауттриггеров s : $\triangle - 240$ мм; $\square - 330$ мм; $\circ - 420$ мм; $\diamond -$ поперечный клиренс -420 мм; продольный $-s_l = 180$ мм

Зависимости обобщенных присоединенных масс и коэффициентов демпфирования от частоты качки при вертикальных колебаниях и наличии скорости хода модели при различных значениях поперечного и продольного клиренсов представлены на рисунках 10 и 11.

Теория, строительная механика и проектирование корабля

Гидродинамические характеристики модели тримарана при вынужденных килевых колебаниях представлены в виде зависимостей относительных присоединенных моментов инерции $\overline{\lambda}_{55} = f(\nu)$ (рис. 12) и коэффициентов демпфирования $\overline{\mu}_{55} = f(\nu)$ (рис. 13):

$$\overline{\lambda}_{55} = \frac{\lambda_{55}}{\rho V L^2}; \quad \overline{\mu}_{55} = \frac{\mu_{55}}{\rho V L^2 \sqrt{g/L}}, \quad (4)$$

где λ_{55} – присоединенная момент инерции модели при килевых колебаниях, кгс·с²·м;

μ_{55} – коэффициент демпфирования при килевых колебаниях, кгс·с·м.

ρ – плотность воды, кгс·с²/м⁴.

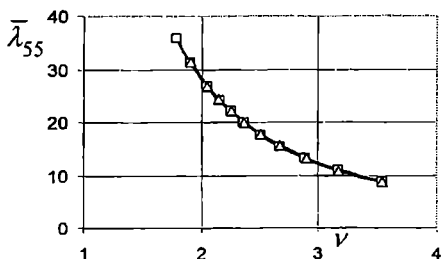


Рис. 12. Присоединенный момент инерции модели при килевых колебаниях, поперечный клиренс аутриггеров $s = 240$ мм;
□ – $Fr = 0$; Δ – $Fr = 0,09$

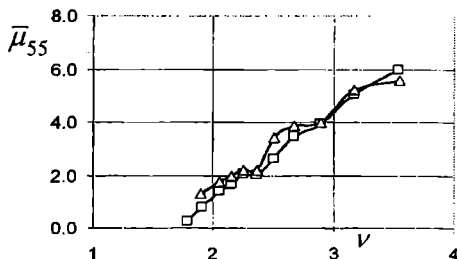


Рис. 13. Коэффициент демпфирования модели при килевых колебаниях; поперечный клиренс аутриггеров $s = 240$ мм;
□ – $Fr = 0$; Δ – $Fr = 0,09$

Зависимости относительных присоединенных моментов инерции масс и коэффициентов демпфирования от частоты качки при продольных колебаниях и наличии хода модели при различных значениях поперечного и продольного клиренсов представлены на рисунках 14 и 15.

Продольная качка тримарана на регулярном волнении представлена в виде зависимостей безразмерных амплитуды вертикальной качки $\overline{\zeta} = f(\nu)$ (рис. 16) и килевой качки $\overline{\Psi} = f(\nu)$ (рис. 17) от относительной частоты регулярного волнения при курсовом угле 180°

$$\overline{\zeta} = \frac{\zeta}{r_0}; \quad \overline{\Psi} = \frac{\Psi}{\alpha_0}, \quad (5)$$

где ζ – амплитуда вертикальной качки, м;

Ψ – амплитуда килевой качки, рад.;

α – максимальный угол волнового склона, рад.

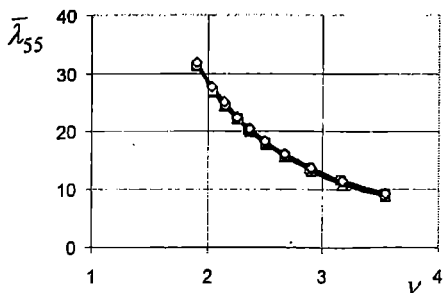


Рис. 14. Присоединенный момент инерции модели при килевых колебаниях, $Fr = 0,09$; поперечный клиренс аутриггеров s : Δ – 240 мм; \square – 330 мм; \circ – 420 мм; \diamond – поперечный клиренс – 420 мм; продольный – $s_L=180$ мм

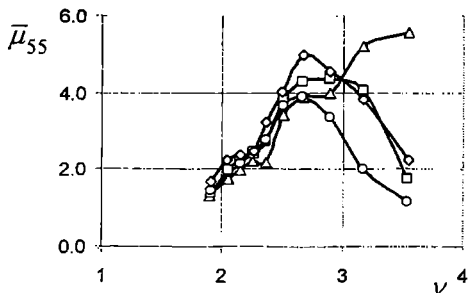


Рис. 15. Коэффициент демпфирования модели при килевых колебаниях, $Fr = 0,09$; поперечный клиренс аутриггеров s : Δ – 240 мм; \square – 330 мм; \circ – 420 мм; \diamond – поперечный клиренс – 420 мм; продольный – $s_L=180$ мм

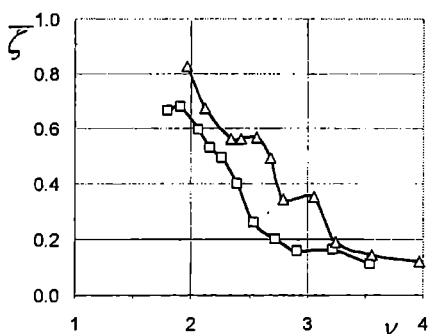


Рис. 16. Амплитуда вертикальной качки модели; поперечный клиренс аутриггеров $s = 240$ мм; \square – $Fr = 0$; Δ – $Fr = 0,09$

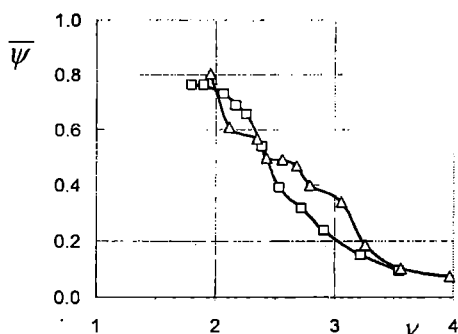


Рис. 17. Амплитуда килевой качки модели; поперечный клиренс аутриггеров $s = 240$ мм; \square – $Fr = 0$; Δ – $Fr = 0,09$

На рисунках 18 и 19 представлены зависимости относительных перемещений от частоты качки при наличии скорости хода модели и различных значениях поперечного и продольного клиренсов.

К основным результатам выполненного научного исследования относятся:

- совершенствование методики определения в процессе вынужденных колебаний модели ее гидродинамических характеристик, в том числе коэффициентов связи, а также обобщенных присоединенных масс и коэффициентов демпфирования при поперечных колебаниях модели;

Теория, строительная механика и проектирование корабля

• получение важного опыта определения гидродинамических характеристик качки тримарана в процессе эксперимента, поставленного в опытовом бассейне впервые.

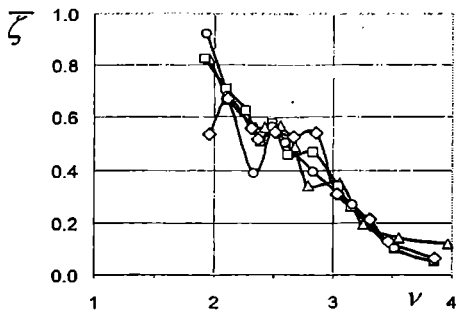


Рис. 18. Амплитуда вертикальной качки модели, $Fr = 0,09$; поперечный клиренс аутриггеров с: Δ – 240 мм; \square – 330 мм; \circ – 420 мм; \diamond – поперечный клиренс – 420 мм; продольный – $c_L = 180$ мм

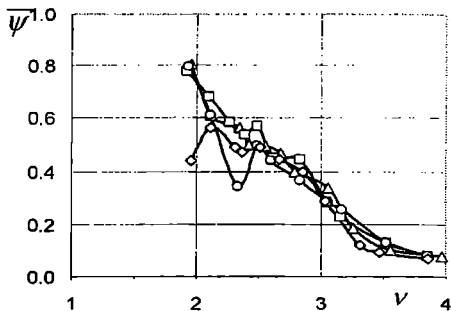


Рис. 19. Амплитуда килевой качки модели $Fr = 0,09$; поперечный клиренс аутриггеров с: Δ – 240 мм; \square – 330 мм; \circ – 420 мм; \diamond – поперечный клиренс – 420 мм; продольный – $c_L = 180$ мм

Дальнейшие исследования могут быть связаны с совершенствованием измерительной системы для повышения точности испытаний, а также улучшением качества математической модели обработки экспериментальных данных.

Разработка указанных направлений позволит по мере получения положительных результатов на этом пути найти и реализовать новые возможности расчета гидродинамических сил, действующих на судно при качке, например, сил второго порядка малости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов В.Н., Демидюк А.В., Тонюк В.И. Экспериментальная установка для исследования гидродинамических и кинематических характеристик продольной качки моделей судов // Вісник ОДМУ: Одесса. – 1998. – № 1. – С. 90-93.

Надійшла 12.10.07

БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫЕ ВОЛНОЗАЩИТНЫЕ СТЕНЫ

Дано новое решение задачи о расчете волнозащитных стен. Используется более совершенная упруговязкопластическая модель системы, состоящей из стены и контактирующего с ней грунтового массива. Система находится под действием как статических, так и динамических волновых нагрузок.

Ключевые слова: волнозащитные стены, упруговязкопластическая среда, волновая нагрузка, численное решение.

Морская абразия приводит к сокращению ценных прибрежных земель, вызывает разрушение расположенных на побережье промышленных и гражданских сооружений, а также транспортных путей, что приносит большой материальный и моральный ущерб хозяйству и населению страны. Для защиты берегов от абразии сооружаются дорогостоящие специальные берегоукрепительные сооружения. Укрепление берегов от прямых ударов волн осуществляется сооружениями в виде волноотбойных стенок, примыкающих к берегу и гасящих энергию волнения непосредственно самой конструкцией. Они применяются как при отсутствии, так и при наличии пляжа. Волнозащитные (волноотбойные) стены представляют собой наиболее распространенные гидротехнические конструкции, которые относятся к продольным берегозащитным сооружениям. Их классификация приведена в работах [1; 2]. Наибольшее применение получили стены гравитационного типа. Они находятся не только под воздействием морских волн, но и сами влияют на их кинематику в волноприбойной зоне. Стены способствуют в некоторых случаях отражению волн, а в других при ударе о них волны большая масса воды после всплеска падает вниз на подходящую новую волну, преобразуя ее воздействие на близлежащие сооружения.

Волноотбойные стены должны удовлетворять следующим основным требованиям.

Во-первых, стена должна выдерживать удары прибойных волн и давление за ней засыпки в периоды ее строительства и эксплуатации.

Во-вторых, подошва стен должна быть обеспечена от подмыва и защищена в должной мере от истирания наносами. Такие отрицательные воздействия на стену будут тем значительнее, чем уже перед ней полоса пляжа.

В-третьих, она должна быть обеспечена от вымывания из-за нее засыпки, вызванное забрасываемыми волновыми всплесками, часто достигающими большой высоты.

Первое требование, которое здесь исследуется, обеспечивается надежным расчетом на прочность и деформации совместной упруго-вязкопластической системы, включающей саму стенку, окружающую ее грунтовую среду и динамическое воздействие волновой нагрузки. Этим предлагаемая более совершенная модель подпорного сооружения отличается от используемых в расчетах моделей в настоящее время. По СНиП 2.06.04-82* расчеты системы рекомендуется выполнять для двух положений стены:

- строительного, когда засыпка грунта за стеной отсутствует и действует только разбивающаяся или разрушившаяся волна, величина которой зависит от расположения стены относительно линии уреза;
- эксплуатационного, когда засыпка существует, а волна откатывается от стены. В обоих случаях учитывается взвешивающее давление от волны.

Высота стены во многих случаях определяется в зависимости от наибольшей высоты волн прибоев, которые могут разбиваться о стену. Давление волн является основным фактором, определяющим толщину стены и, следовательно, ее объем. Толщина стены также зависит от величины давления грунта, действующего на ее заднюю грань.

Рассмотрим волноотбойную стену гравитационного типа, расчетная схема которой в строительный период показана на рис. 1 а в эксплуатационный период – на рис. 2.

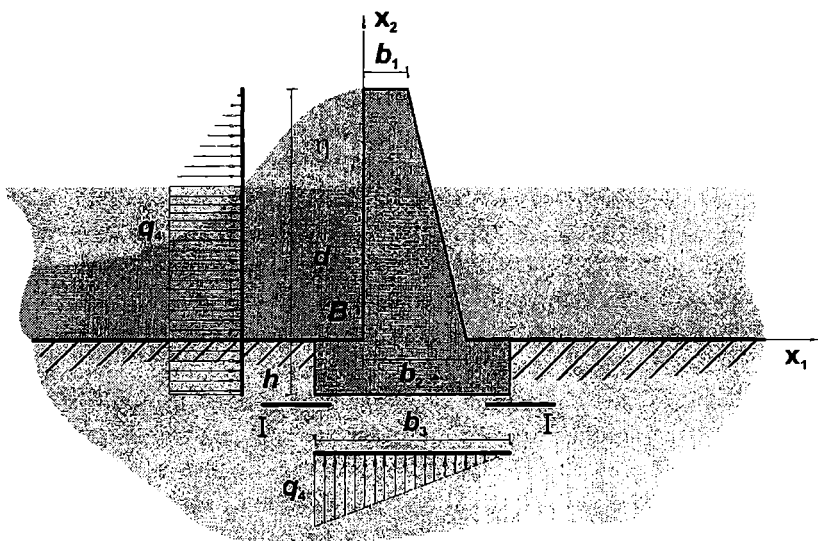


Рис. 1. Расчетная схема волноотбойной стены в строительный период

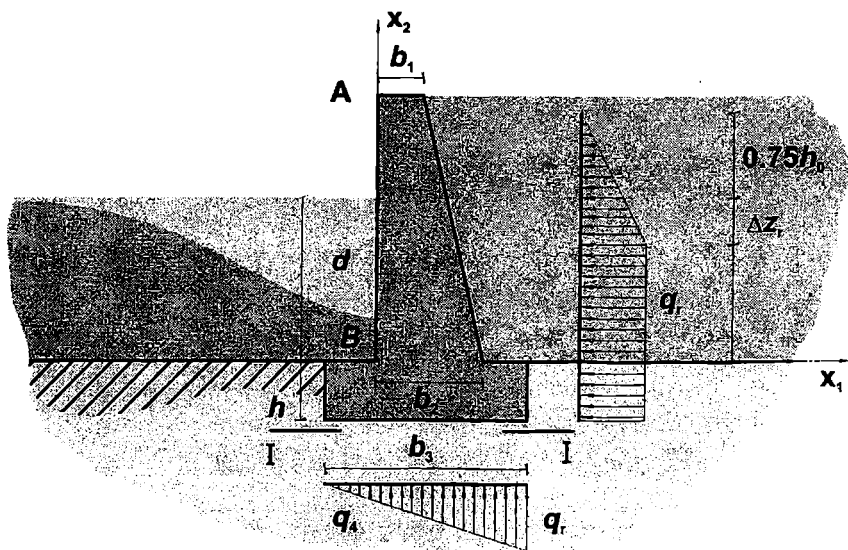


Рис. 2. Расчетная схема волноотбойной стены в эксплуатационный период

Материал системы представляет собой упруговязкопластическую среду, модель которой разработана и изложена в работе [3], поэтому ее описание здесь не приводится. Для иллюстрации численного решения рассматриваемой задачи, алгоритм которого также изложен в [3], будут использоваться следующие данные. Глубина воды перед стеной составляет $d = 5$ м. Расчетная высота волны при обеспеченности 5% в системе равна 3,9 м, а ее расчетная длина $\lambda = 52$ м. Волноотбойная стена имеет следующие размеры: $\eta = 5$ м; $h = 2$ м; $b_1 = 1$ м; $b_2 = 3$ м; $b_3 = 5$ м. Волновое давление и возвышение гребня волны, определенные по СНиП 2.06.04-82*, при принятых данных соответственно равны $q_4 = 0,044$ МПа и $\eta_1 = 4,3$ м. Характеристики грунтовой среды: $E = 30$ МПа; $\mu = 0,3$; $c = 0,007$ МПа; $\varphi = 26^\circ$. Материалом стены является бетон, для которого $E = 30000$ МПа; $\mu = 0,2$; $\sigma_p = 1,3$ МПа; $\sigma_c = 16$ МПа.

Часть схемы разбиения системы на конечные элементы, полученной по программному комплексу на ЭВМ, показана на рис. 3.

Вначале рассмотрим волновое воздействие на стену, как статическое давление во время строительного периода, когда засыпка за стенкой отсутствует. Схема перемещения системы в увеличенном масштабе для этого случая приведена на рис. 4. От действия волновой нагрузки в грунтовом массиве образовалась пластическая зона, она показана на рис. 5.

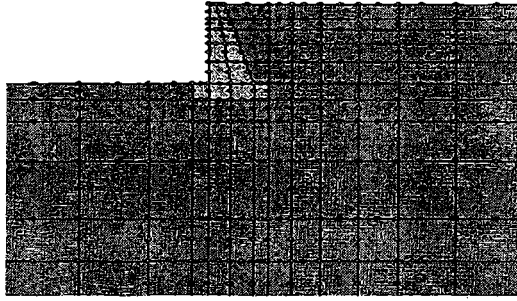


Рис. 3. Схема конечных элементов

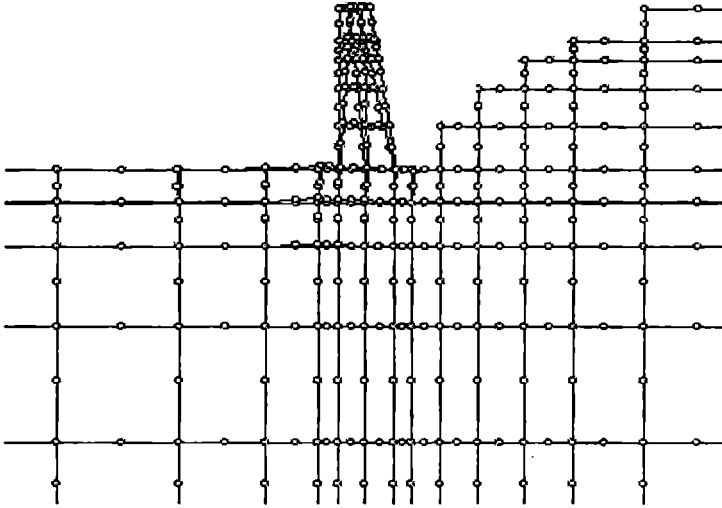


Рис. 4. Схема перемещений системы

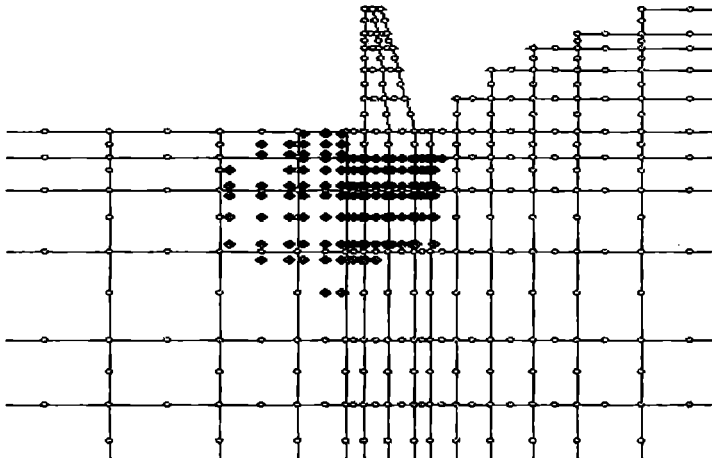


Рис. 5. Схема пластической зоны

На рис. 6 и 7 приведены соответственно эпюра горизонтальных и эпюра вертикальных перемещений подошвы стенки.

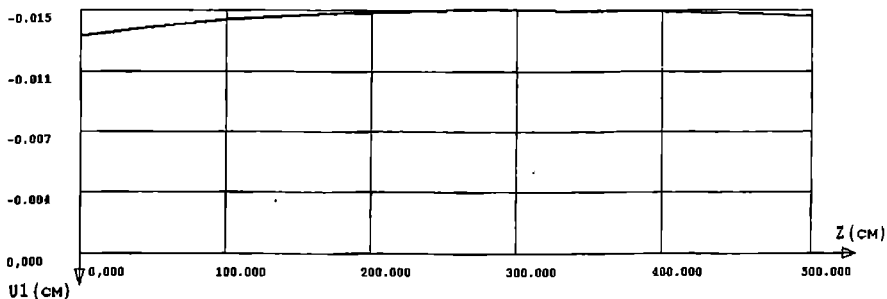


Рис. 6. Эпюра горизонтальных перемещений u_1 стены по сечению I-I

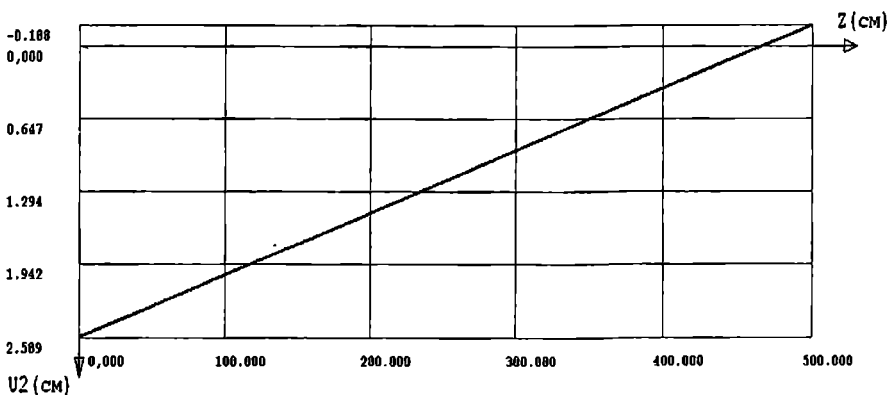


Рис. 7. Эпюра вертикальных перемещений u_2 стены по сечению I-I

Из приведенных рисунков следует, что от навала волны и ее собственного веса стена получила осадку и повернулась по часовой стрелке. Ее нижняя левая часть переместилась влево на 0,013 см и вверх на 2,589 см. Правый нижний угол стенки опустился на 0,188 см. Ввиду сцепления стенки с грунтом при такой ее деформации пластическая зона в грунте сместилась от нее влево и вниз.

На рис. 8, 9 и 10 изображены соответственно эпюры напряжений σ_{11} , σ_{22} и σ_{12} в грунте по сечению I-I.

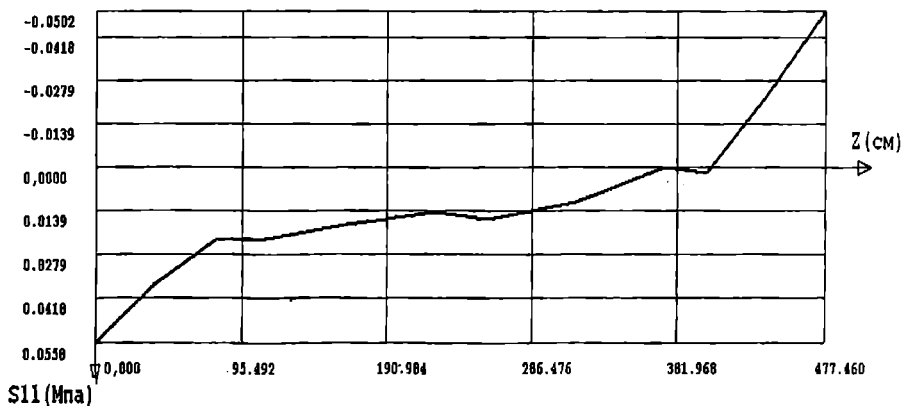


Рис. 8. Эпюра напряжений σ_{11} по сечению I-I

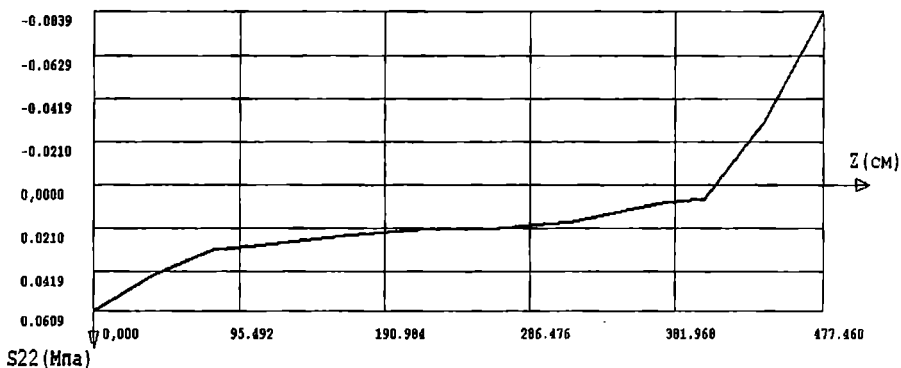


Рис. 9. Эпюра напряжений σ_{22} по сечению I-I

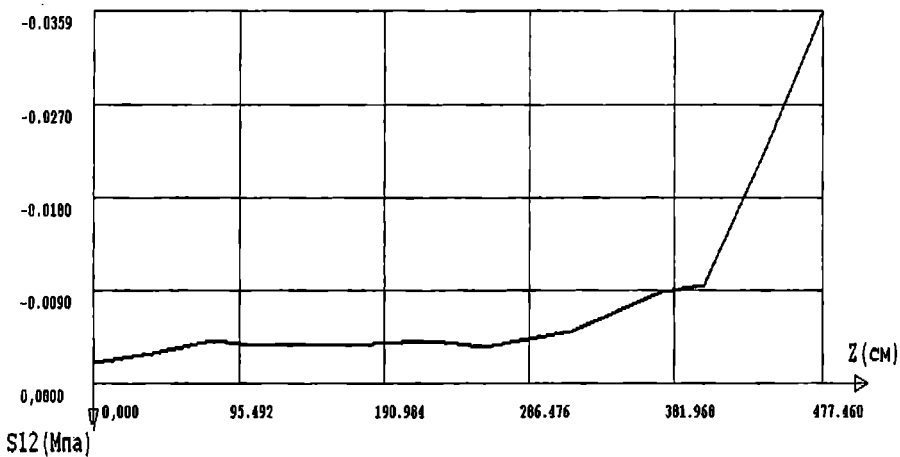


Рис. 10. Эпюра напряжений σ_{12} по сечению I-I

Из рисунков следует, что эпюры напряжений имеют такой же вид, как при частично заглубленном штампе. Эпюры строились по точкам интегрирования по Гауссу, поэтому длина по горизонтальной оси составила не 5 м, а только 4,775 м.

В строительный период от действия волн стена не потеряет устойчивость, но будет работать в тяжелых условиях, так как разность вертикальных перемещений по подошве ее левого и правого краев составит 2,777 см.

Рассмотрим работу стены в эксплуатационный период, когда пазуха между стеной и грунтовым массивом засыпана. На рис. 11 показана схема деформирования системы от действия волны, как статической нагрузки, и собственного веса стены и засыпки.

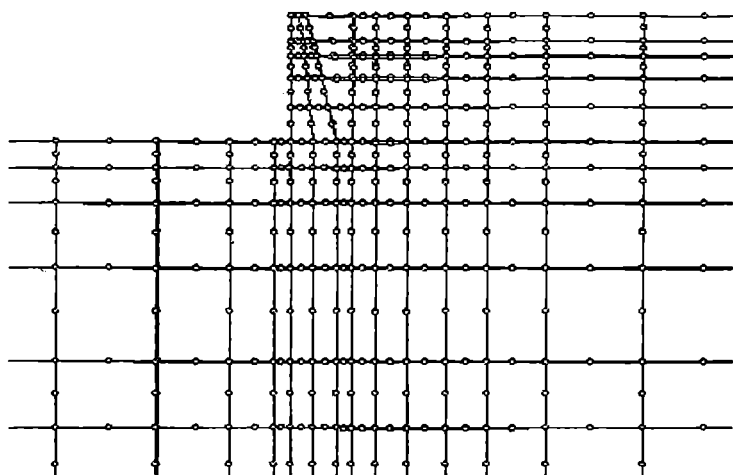


Рис. 11. Схема деформирования системы

Схема образования пластических зон в системе приведена на рис. 12. Она отличается от схемы показанной на рис. 5. Основные пластические зоны возникают в грунте справа напротив нижней части стены и в засыпке.

На рис. 13 приведена эпюра вертикальных перемещений подошвы стены u_2 . В данном случае произошла осадка стены и ее поворот также по часовой стрелке, т. е. в сторону засыпки. Левый нижний угол переместился вниз на величину 0,936 см, а правый на 1,195 см. Горизонтальное перемещение левого нижнего угла стены произошло влево на 0,223 см. От действия только собственного веса стены и засыпки наблюдается осадка стенки и ее поворот против часовой стрелки, т. е. от засыпки. Нижний левый ее угол получил осадку на 3,802 см, а правый на 3,452 см, следовательно, при действии на стенку волны происходит ее поднятие.

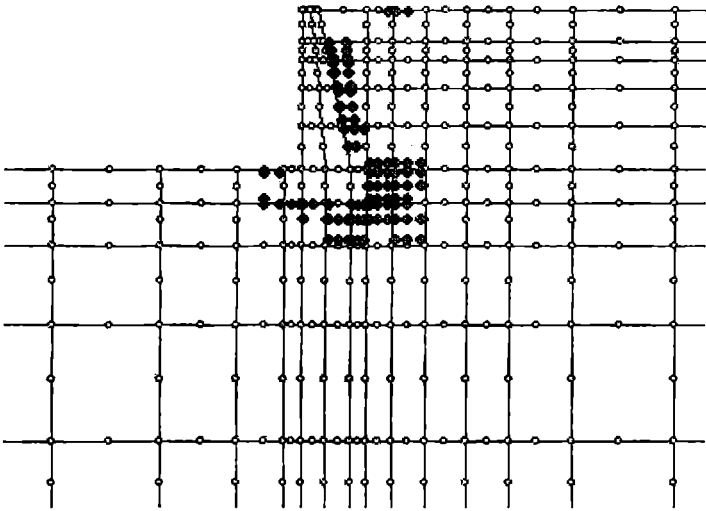


Рис. 12. Схема образования пластических зон

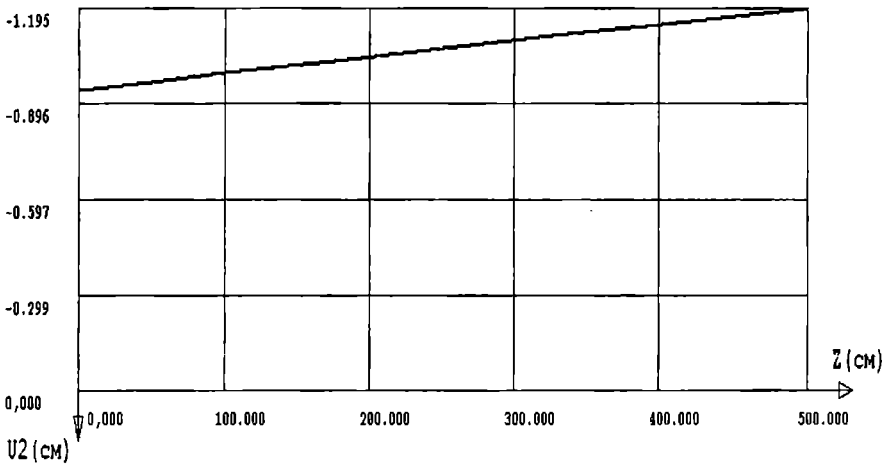


Рис. 13. Эпюра вертикальных перемещений u_2 сечения I-I

На рис. 14 и 15 показаны соответственно эпюры напряжений σ_{22} и σ_{12} по сечению I-I. Наблюдаются качественные и количественные различия этих эпюр с эпюрами, приведенными для предыдущего случая. Так, например, не происходит поднятия левого края стены, поэтому сжимающее контактное напряжение σ_{22} в грунте под ним увеличивается, а не уменьшается, как показано на рис. 9.

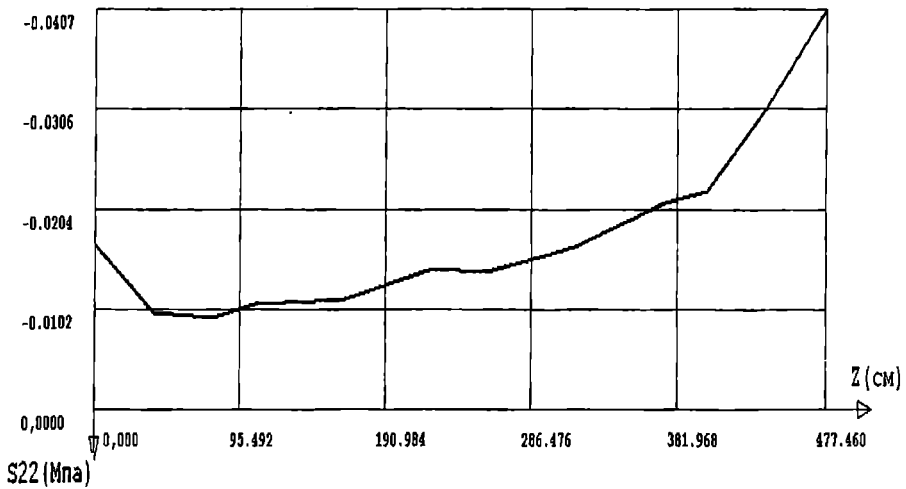


Рис.14. Эюра напряжений σ_{22} по сечению I-I

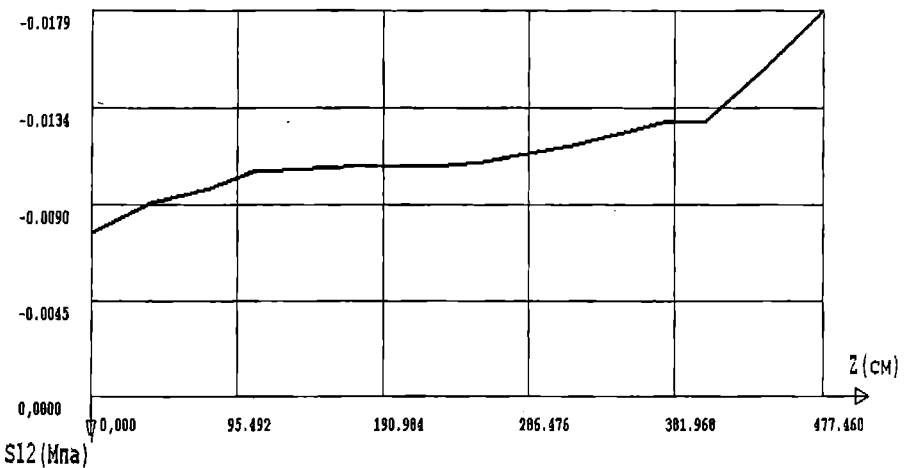


Рис.15. Эюра напряжений σ_{12} по сечению I-I

На правую наклонную боковую грань стены и боковую грань ее фундамента оказывает давление засыпка. На рис. 16 и 17 показаны эпюры контактных напряжений σ_{11} и σ_{12} , возникающих в грунте засыпки. Перелом двух выпуклых частей эпюр вызван сопряжением стенки с ее фундаментом. Начало эпюр на рисунках соответствуют крайней верхней точке интегрирования по Гауссу, напряжения в которой, как видно из эпюр, не равны нулю. Эюра напряжений σ_{11} отлична от эпюры давлений, полученной по методу Кулона.

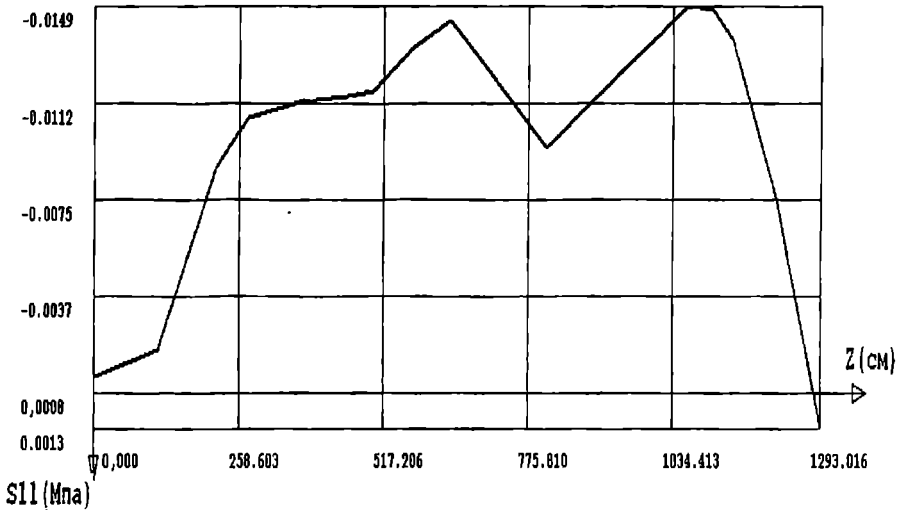


Рис. 16. Эюра контактных напряжений σ_{11} на правой боковой грани стены и грани ее фундамента

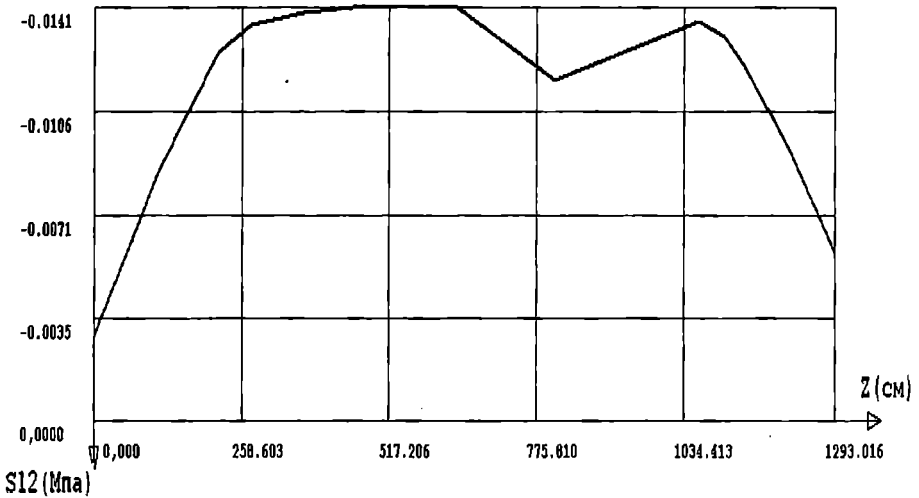


Рис. 17. Эюра контактных напряжений σ_{12} на правой боковой грани стены и грани ее фундамента

Рассмотрим случай, когда действующая на стену волновая нагрузка учитывается как динамическая, но той же интенсивности. Прини-

маем в методе Ньюмарка длину временного шага равной 0,001 с, параметры $\delta = 0,25$; $\gamma = 0,5$; количество временных шагов 3000. Параметр затухания для грунтов $\alpha = 0$; $\beta = 0,005$. Считаем, что время действия волны на стену равно 0,02 с.

Расчет выполнен по неявному методу Ньюмарка, его алгоритм приведен в [4]. На рис. 18 показана схема образования пластических зон в системе в момент времени $t = 0,03$ с. Пластические зоны в этот момент времени образовались в грунте вокруг стены. На экран дисплея в динамике выводится их изменение в течение 3 с. Они постепенно уменьшаются. Интересно также наблюдать на экране дисплея колебания системы во времени.

На рис. 19 и 20 приведены эпюры колебаний соответственно горизонтальных u_1 и вертикальных u_2 перемещений точки А, расположенной на верхнем правом углу стены, от действия только волновой нагрузки. Наблюдается резкое увеличение перемещений точки в момент времени $t = 0,1$ с, затем они стабилизируются и постепенно затухают. Колебания точки не являются равномерными. Это вызвано отражением и преломлением волн колебаний при контакте их со стеной. По краям модели грунтового массива располагались бесконечные элементы, которые пропускали волны без отражения.

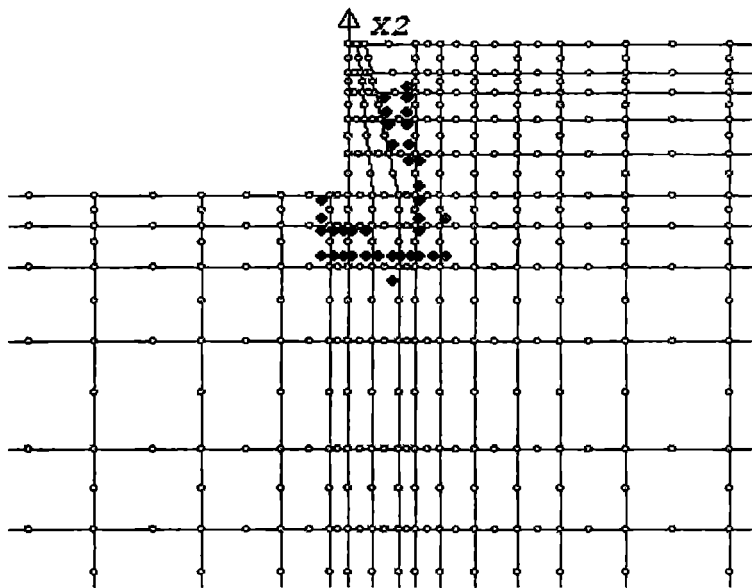


Рис. 18. Схема образования пластических зон в системе при $t = 0,03$ с

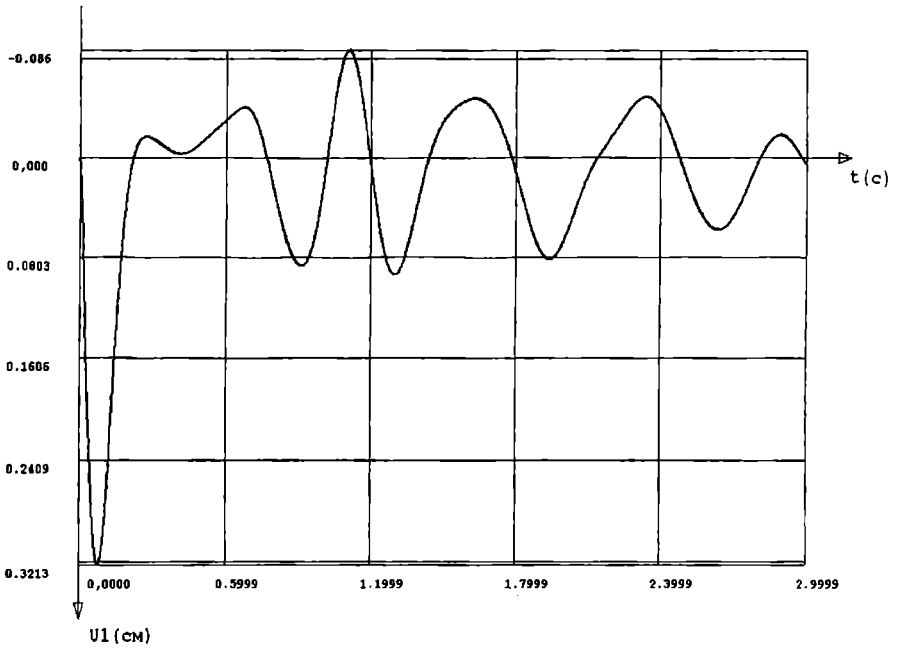


Рис. 19. Эюра горизонтальных колебаний точки А

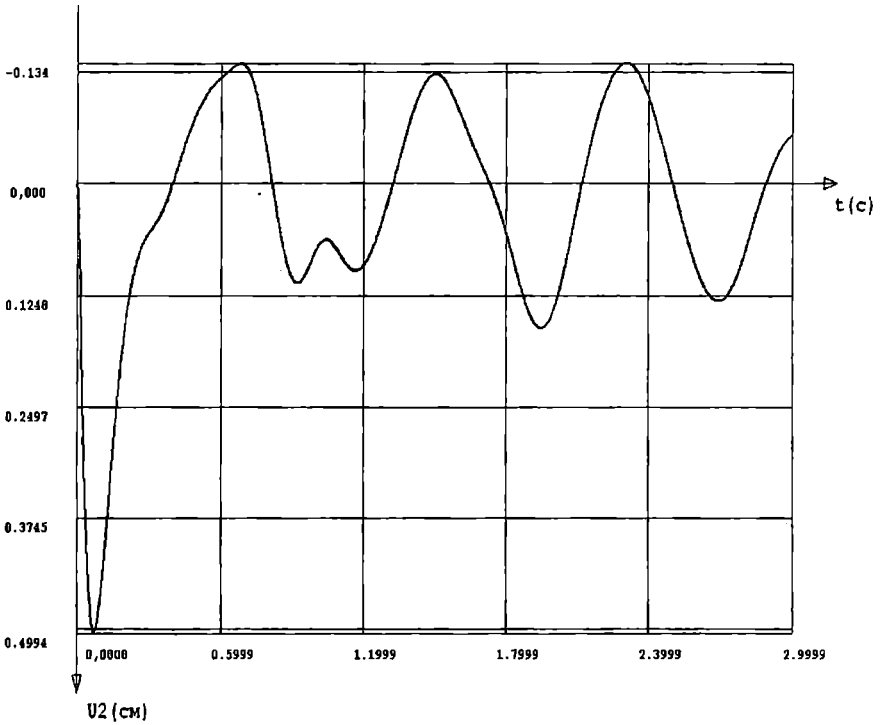


Рис. 20. Эюра вертикальных колебаний точки А

На рис. 21, 22 и 23 показаны соответственно эпюры напряжений σ_{11} , σ_{22} и σ_{12} точки В, расположенной в грунте под нижним левым углом стены. Здесь наблюдается такое же изменение напряжений в процессе их колебаний, как и для перемещений. В начальный период колебаний происходит их резкий скачок, а затем они стабилизируются и постепенно затухают. По тем же причинам, что и для предыдущего случая, не возникает правильных гармонических колебаний.

В динамическом расчете, по сравнению со статическим, возникает дополнительно некоторое количество новых входных параметров. Они характеризуют сходимость и устойчивость процесса решения, а также характер волнового воздействия на стену. Некоторые вопросы, относящиеся к первому направлению, рассматривались в работах [3; 4]. Применительно к численным расчетам с использованием программных комплексов исследований не проводилось. Эта большая и интересная работа ждет своего решения, здесь она не выполнялась.

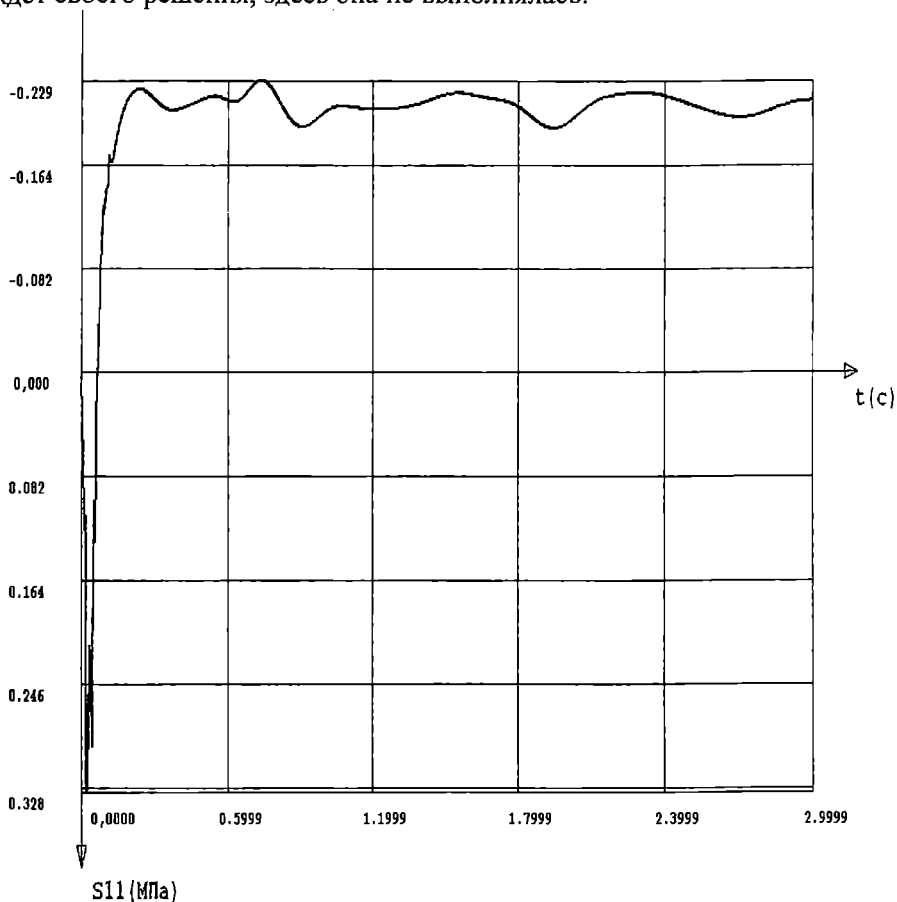


Рис. 21. Эюра колебания напряжений σ_{11} в точке В

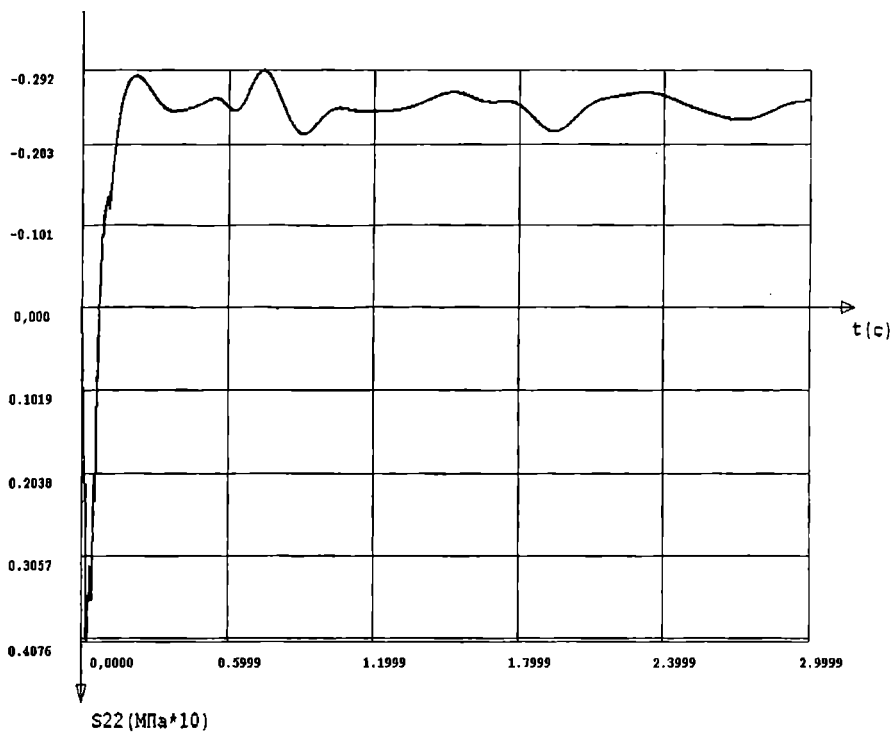


Рис. 22. Эюра колебания напряжений σ_{22} в точке В

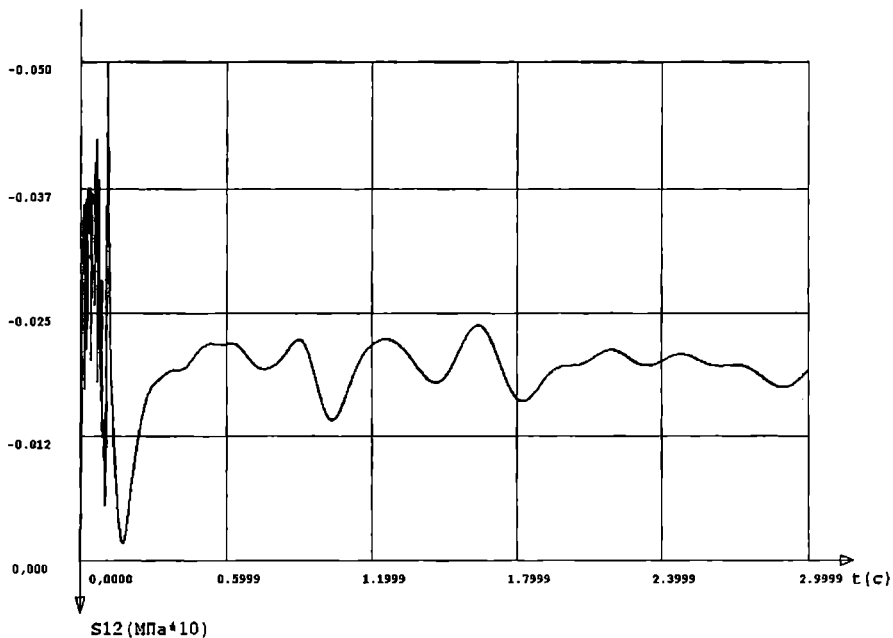


Рис. 23. Эюра колебания напряжений σ_{12} в точке В

Рассмотрим как изменяется напряженно-деформированное состояние системы в зависимости от времени действия морской волны на стену. Приведем для сравнения эпюру колебаний горизонтальных перемещений u_1 точки А и эпюру колебаний касательных напряжений σ_{12} точки В при действии волны на стену в течение 0,08 с. Эти эпюры соответственно показаны на рис. 24 и 25. Сравнивая их с эпюрами на предыдущих рисунках, видим, что наибольшая амплитуда колебаний перемещений увеличилась в 6,13 раза, а амплитуда касательных напряжений увеличилась в среднем в 5 раз. Периоды колебаний почти не изменились. Если проанализировать публикации по воздействию волн на гидротехнические сооружения, то можно отметить, что основное их количество посвящено определению величины давления волн на стену, а по определению времени ее воздействия, которое, как видно из приведенного примера, очень сильно влияет на напряженно-деформированное состояние системы, опубликовано незаслуженно малое число работ. Детальные теоретические и экспериментальные исследования этого важного направления ждут решения.

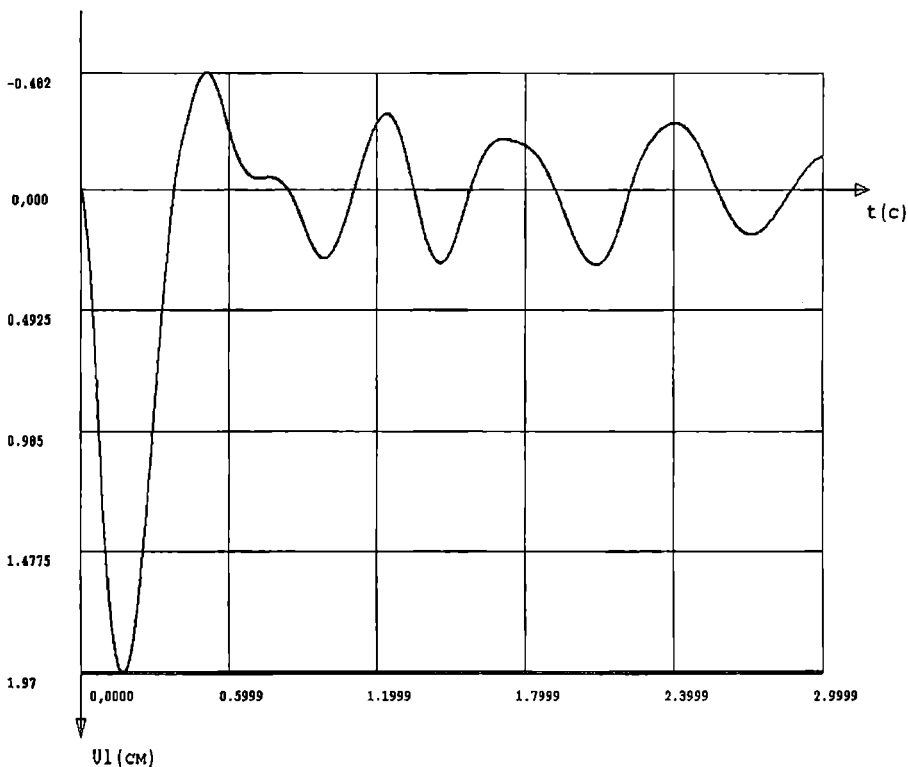


Рис. 24. Эпюра горизонтальных u_1 колебаний в точке А

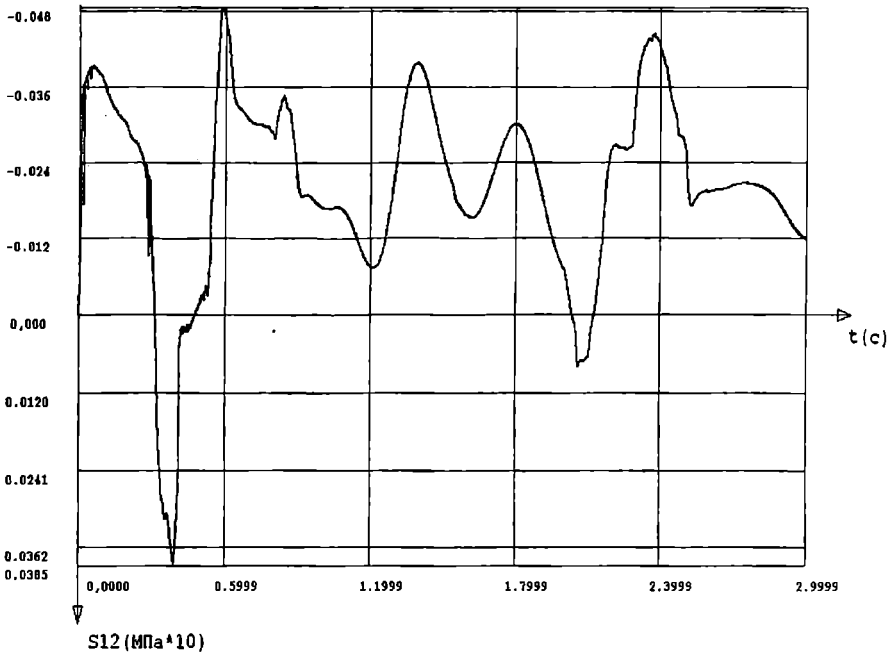


Рис. 25. Эюра колебаний напряжений σ_{12} в точке В

По результатам расчетов гравитационных волноотбойных стен можно сделать следующие выводы.

1. В основном сами стены работают в упругой стадии, но грунтовой массив вокруг них находится в упругопластическом состоянии, испытывая сложное нагружение. Поэтому в расчетах должны учитываться такие механические характеристики грунтов, как упругость, пластичность и вязкость.

2. Динамическое воздействие прибойных волн на стены изучено слабо. Особенно это относится к определению времени их действия. Оно очень сильно влияет на величину интенсивности воздействия волн и является одним из основных расчетных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жданов А. М., Дороднова К. М., Гамаженко В. С. *Вопросы проектирования и строительства берегоукрепительных сооружений.* – М.: Трансжелдориздат, 1952. – 128 с.
2. Лаппо Д. Д., Стрекалов С. С., Завьялов В. К. *Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения.* – Л.: ВНИИГ, 1990. – 432 с.
3. Гришин В. А., Дорофеев В. С. *Нелинейные модели конструкций, взаимодействующих с грунтовой средой.* – Одеса: Зовніш-рекламсервіс, 2006. – 242 с.
4. Гришин В. А., Дорофеев В. С. *Некоторые нелинейные модели грунтовой среды.* – Одесса: Внешрекламсервис, 2007. – 309 с.

Надійшла 08.10.07

**ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА ПРОГНОЗА
ОСТАТОЧНОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
ПРИ УСТРАНЕНИИ ИХ КРЕНА**

Приводится описание разработанной обобщенной методики прогноза остаточного эксплуатационного ресурса зданий и сооружений на основе использования положений механики твердого тела и механики разрушения.

Ключевые слова: крен здания, напряженно-деформированное состояние, остаточный эксплуатационный ресурс, предел текучести.

Проблема сверхнормативных кренов зданий и сооружений является актуальной в практике их строительства и эксплуатации и возникает в связи с ошибками при проведении изысканий и проектирования; низким качеством геотехнических работ; воздействием природных и техногенных факторов на основания и фундаменты и др. Крены зданий и сооружений во многих случаях достигают таких значений, когда дальнейшая эксплуатация строительных объектов невозможна без корректировки их планово-высотного положения. В настоящее время разработаны и применяются различные способы устранения сверхнормативных кренов системы «основание-фундаменты-верхнее строение» [1-3], экономически наиболее целесообразным является технология, основанная на грунтовой выемке части грунта из под подошвы фундамента со стороны менее просевшей части строительного объекта [4].

Однако техническая и технологическая реализация этих способов несовершенна, так как не используются средства формирования управленческих воздействий на изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) здания и его конструктивных элементов (КЭ), а также не применяются автоматизированные средства для проведения мониторинга их прочностных и деформационных параметров. Поэтому в процессе устранения кренов зданий невозможно выполнить прогноз их остаточного эксплуатационного ресурса и конструктивных элементов, находящихся в зоне действия технологических осадок. Разработка методики прогноза остаточного эксплуатационного ресурса (ОЭР) зданий и сооружений в процессе устранения их кренов позволит эффективно использовать различные управленческие приемы в процессе изменения планово-высотного положения здания, а, следовательно, сделать производство геотехнических работ более безопасными.

В настоящее время опубликовано достаточно много работ, результаты которых могли бы быть использованы при разработке методики по оценке ресурса зданий [5; 6; 7]. Однако возможности известных методик ограничены при оценке остаточного ресурса реальных конструкций зданий и сооружений, особенно при перераспределении действующих на них нагрузок в процессе устранения кренов зданий. Большая часть применяемых методик разработана при условии, что известна нормативная расчетная схема объекта, нормативные изменения прочностных и геометрических характеристик конструктивных элементов, а также допустимая или предельная величина действующих механических напряжений или деформаций, кроме того, как правило при оценке ОЭР используются сложные расчетные соотношения, связанные с определением дополнительных экспериментальных коэффициентов.

При разработке методики прогноза ОЭР зданий при устранении их кренов, прежде всего, необходимо учитывать предельный прочностной параметр, величина которого может быть определена с учетом реальной физики разрушения материала конструктивных элементов. Кроме того, методика должна отвечать требованиям обобщенности, обеспечивать возможность использования при оценке ресурса конструктивных элементов, выполненных, как из бетона, железобетона, кирпича, так и из металла.

При разработке обобщенной методики прогноза ОЭР зданий и сооружений при устранении их крена принимаются следующие допущения:

1. Материал конструктивного элемента – бетон, железобетон, кирпич или металл.

2. В процессе выемки грунта из-под подошвы фундамента продольная и поперечная составляющая нагрузки и действующие моменты изменяются в зависимости от угла наклона здания.

3. В связи с тем, что графики изменения кривизны подошвы фундаментов, построенные по результатам измерения деформаций методами контроля осадок и углов наклона, практически идентичны (рис. 1), за обобщенный предельный параметр НДС конструкций здания или сооружения принимается величина изменения наклона или осадок фундамента, при которых возникают трещины в КЭ [8].

4. В качестве основной механической характеристики материалов конструктивных элементов принимается полная диаграмма их деформирования характерный вид которых приведен для малоуглеродистой стали на рис. 2 [9; 12], а для бетона на рис. 3 [10].

Из рис. 2 видно, что предельная величина напряженного состояния металла σ_{Π} соответствует моменту формирования макротрещины на ниспадающем участке «а-в» полной диаграммы деформирования образца, при этом величина предельного напряжения σ_{Π} может быть качественно

оценена по величине предела текучести σ_T на участке Гука, соответствующего упругим деформациям.

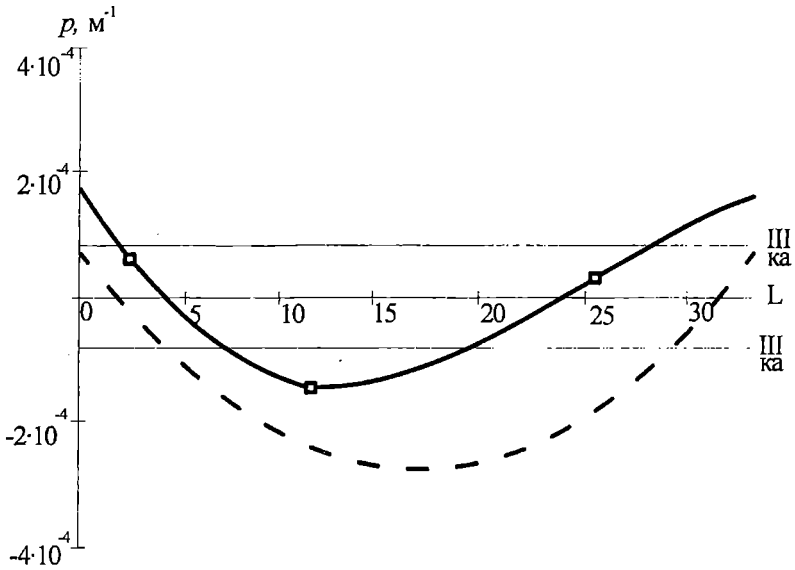


Рис. 1. Изменение кривизны подошвы фундаментов здания

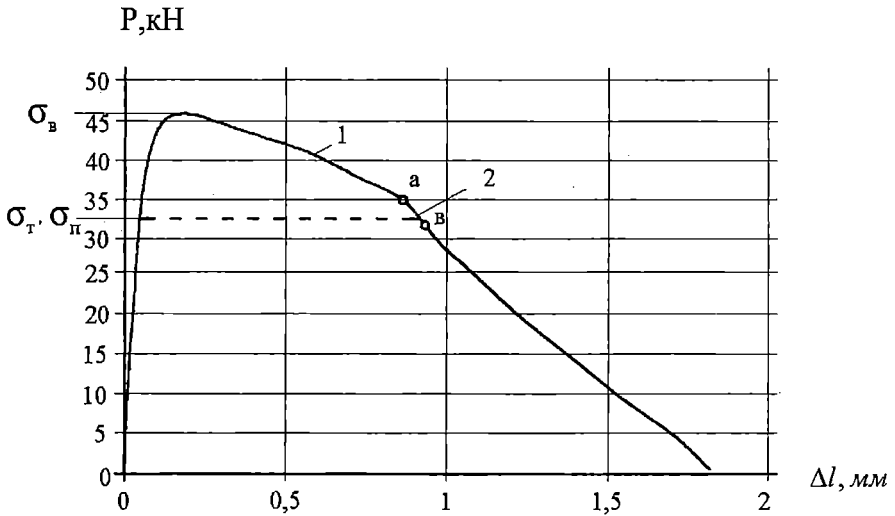


Рис. 2. Типовая полная диаграмма деформирования образца из малоуглеродистой стали

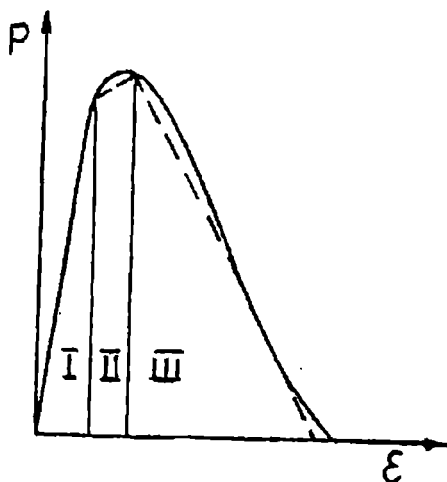


Рис. 3. Полная диаграмма растяжения бетона

Таким образом, в качестве предельной величины напряжения для материалов конструктивного элемента целесообразно принять разрушающее напряжение σ_{II} . На рис. 4 в качестве примера приведена картина распределения трещин в железобетонной балке, в зоне действия поперечных сил при циклическом и усталостном нагружении, где 1 – один цикл, 2 – 10 тыс., 3 – 20 тыс., 4 – 50 тыс., 5 – 100 тыс., 7 – 200 тыс. циклов [11].



Рис. 4. Характер распределения трещин в железобетонной балке в зоне действия поперечных сил при циклическом и усталостном нагружении

Также как и для металла (рис. 2), разрушение бетона происходит за счет процесса накопления макротрещин. Макротрещины начинают возникать уже после первого цикла нагружения железобетонной балки.

В работе [10] теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что в качестве предельного параметра бетона может быть принята величина раскрытия макротрещины δ , определяемая соотношением

$$\delta = 8C\sigma_o(d_c + d_{nc}), \quad (1)$$

где σ_o – расчетный параметр, определяемый из принятой физической модели зоны предразрушения;

d_c – участок III разрыхления в области трещины;

d_{nc} – участок II пластического деформирования в области трещины;

C – расчетный параметр, определяемый формулой

$$C = (1 - \mu^2)\pi E, \quad (2)$$

где μ – коэффициент Пуассона,

E – модуль упругости.

5. Напряженно-деформируемое состояние, соответствующее конструктивному элементу с макротрещинами, возникшими при одноосном растяжении, является предельным, поэтому в качестве предельного прочностного параметра может быть принят критерий максимального напряжения [12]

$$\sigma_{1P} < \sigma_{1П}, \quad (3)$$

где $\sigma_{1П}$ – предельная величина главного растягивающего напряжения;

σ_{1P} – действующее в конструктивном элементе напряжение, полученное расчетом с учетом его реальных геометрических размеров.

6. Из известных критериев для оценки НДС зданий и сооружений наиболее доступен для практической реализации критерий кривизны подошвы фундамента ρ_x [8]

$$\rho_x \leq [\rho_{П}], \quad (4)$$

где $[\rho_{П}]$ – предельно допустимая кривизна подошвы фундамента здания.

Величина кривизны ρ_x является расчетной и определяется на основе измерения углов наклона фундамента α_i и α_j в точках i и j с координатами x и $x + \Delta x$

$$\rho_x = \frac{\alpha_i - \alpha_j}{\Delta x}. \quad (5)$$

Как показали результаты практического применения критерия (5), он может быть эффективно использован при оценке НДС зданий и сооружений, когда рядом с ними или под их фундаментами проводится выемка части грунта, например, бурение скважин [8].

Рассмотренные физические закономерности, возникающие в материалах КЭ в процессе устранения кренов зданий и сооружений, выбранные основные критерии для оценки их НДС, а также принятая в качестве предельной величина главного растягивающего напряжения σ_{Π} , позволяют предложить методику прогноза остаточного эксплуатационного ресурса для конструкций зданий, сооружений и их конструктивных элементов, которая включает выполнение следующих основных расчетных, экспериментальных, контрольно-измерительных операций:

1. Выполняется обследование деформационного состояния (трещины, сколы и т.д.) несущих конструкций здания, получившего сверхнормативные крены.

2. Проводится измерение их исходных геометрических характеристик: длины, высоты, ширины, толщины. На фундаментах с выбранным шагом устанавливаются датчики для измерения величины углов наклона.

3. На основе проектной документации на устранение крена здания и нормативной документации определяются допустимая или предельная величина действующих нагрузок на конструктивные элементы, допустимая величина углов наклона здания, допустимая или предельная величина напряжения (рис. 2), а также допустимые величины изменений этих параметров.

4. Для каждого конструктивного элемента рассчитывается фактически действующее напряжение σ_{1P} .

5. Для каждого конструктивного элемента определяется остаточный относительный эксплуатационный ресурс по формуле

$$S = \frac{\sigma_{\Pi} - \sigma_{1P}}{\sigma_{\Pi}} 100\%, \quad (6)$$

где σ_{1P} – расчетное растягивающее напряжение действующее в конструкции;

σ_{Π} – предельное или допустимое напряжение.

6. С учетом исходных углов наклона, по соотношению (5) рассчитываются фактические радиусы кривизны с выбранным шагом точек измерения.

7. По полученным значениям углов наклона и предельно допустимой величине кривизны проводится проверка выполнения критерия (4)

$$\rho \leq [\rho_{\Pi}]. \quad (7)$$

8. По максимальной разнице между углами наклона фундамента определяется относительный эксплуатационный ресурс здания по формуле

$$S = \frac{\Delta\alpha_{\Pi} - \Delta\alpha_3}{\Delta\alpha_3} 100\%, \quad (8)$$

где $\Delta\alpha_{\Pi}$ – предельная или допустимая величина угла наклона;

$\Delta\alpha_3$ – максимальная разница между наклоном фундаментов в двух точках.

9. Принимается решение о предварительном увеличении остаточного эксплуатационного ресурса несущего элемента, либо о начале работ по устранению крена строительного объекта, а также выбирается периодичность прогноза остаточного эксплуатационного ресурса для здания в процессе его подъема.

10. Проводится текущий прогноз ОЭР для здания в соответствии с п.п.7, 8 при устранении крена на основе текущих значений угла наклона фундамента.

11. В случае, если в процессе текущего прогноза остаточного эксплуатационного ресурса произойдет резкое его снижение, то формируется управленческое воздействие на технологический процесс устранения крена здания, например, путем изменения влажности грунта, изменения параметров бурения и т.д.

12. После устранения крена здания проводится заключительный прогноз остаточного эксплуатационного ресурса в соответствии с п.п. 2-8.

ВЫВОДЫ

1. Известные результаты теоретических и экспериментальных исследований НДС образцов бетона, железобетона, кирпича, металла на основе полных диаграмм их деформирования позволяют в качестве предельной величины выбрать напряжение, соответствующее возникновению макротрещин.

2. Разработана обобщенная методика оценки остаточного эксплуатационного ресурса зданий при устранении их кренов, что позволяет при необходимости увеличить остаточный ресурс управленческим воздействием на технологический процесс устранения крена здания, например, путем изменения параметров бурения или влажности грунта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалвес Е. Наклонившиеся здания города Сантос в Бразилии // Реконструкция городов и геотехническое строительство. № 9. – 2005. – С. 132-155.
2. Зотов В.Д., Зотов М.В. Подъем и выравнивание зданий с помощью плоских домкратов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. № 9. – 2005. – С. 156-167.
3. Пат. № 65455А Україна, 7E02D35/00, E02D27/34 Спосіб вирівнювання будівель, споруд: Пат № 65455А Україна, 7E02D35/00, E02D27/34 / І.В. Степура, В.С Шокарев, А.В. Павлов, А.С.Трегуб, Р.В. Самченко (Україна). №2003109485; Заявка 21.10.2003; Опубл. 15.03.2004; Бюл. № 3. – 2004. – 4 с.
4. Shokarev V.S., Stepura I.V., Tregub A.S., Pavlov A.V., Chaplygin B.I., Samchenko R.V. De-Tilting of buildings and structures// XIII European conference on soil mechanics and geotechnical engineering «Geotechnical problems with man – made and man influenced grounds». -Vol.1. – Praha: The Czech Geotechnical Society CICE. – 2003. – P. 383-386.
5. Дубовский В.Б. Оценка напряженного состояния строительных конструкций по деформациям // Основания, фундаменты и механика грунтов. № 4. – 2003. – С.21-23.
6. Адищев В.В., Митасов В.М. Энергетический подход к моделированию процесса образования трещин в изгибаемых железобетонных элементах // Известия вузов: Строительство. № 1. – 2005. – С. 26-31.
7. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Клюева Н.В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 216 с.
8. Ильичев В.А., Коновалов П.А., Никифорова Н.С. Новые методы измерения деформаций зданий и критерии их оценки // Основания, фундаменты и механика грунтов. № 4. – 2003. – С.8-12.
9. Чаусов Н.Г., Лебедев А.А., Богданович А.З. О предельной поврежденности материала в зоне концентратора // Проблемы прочности. № 6. – 2002. – С. 31-36.

10. Панасюк В.В., Лучко И.И., Панько И.М. Деформационная модель бетона // Проблемы прочности. № 2. – 2003. – С. 18-28.
11. Мирсаяпов И.Т. Расчет выносливости наклонных сечений железобетонных балок при больших пролетах среза на основе модели усталостного разрушения // Известия вузов: Строительство. № 7. – 2005. – С. 10-16.
12. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – К.: Наукова думка, 1976. – 415 с.

Надійшла 12.10.07.

ОСАДКИ ИСКУССТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В МОРСКИХ ПОРТАХ

Грунты дноуглубления относятся к резко неоднородным, часто слабым, длительно консолидируемым донным отложениям. Их гидронамы в образуемые грунтовые массивы искусственных территорий приводит к необходимости выполнения специальных инженерных мероприятий. Рассматривается прогнозирование осадок вновь образованных территорий при устройстве дренажных прорезей.

***Ключевые слова:** контейнерный терминал, территория, консолидация.*

Интенсивное развитие контейнерных перевозок требует строительства эффективных перегрузочных комплексов в морских и речных портах, отведения для них, соответственно, значительных территорий под склады, технологические парки отстоя и формирования наземного транспорта и размещение инфраструктуры терминалов.

В украинских морских портах, зажатых городской исторической застройкой, таких территорий, как правило, нет. Поэтому одним из распространенных в мировой практике приемов решения этой задачи является создание аванпортов на искусственных территориях островного или полуостровного типа.

Этот прием используется и при необходимости вынесения за пределы среды городского обитания экологически опасных промышленных производств и т.д. [1].

Техническая эксплуатация портов, водных подходов к ним, внешних рейдов и акваторий сопровождается проблемой утилизации грунтов – продуктов дноуглубительных работ для поддержания безопасных по требованиям мореплавания глубин [2]. Традиционным путем решения этой проблемы в морских портах является утилизация грунтов в морские подводные отвалы. В связи с ростом экологических требований, значительной удаленности морских свалок этот подход достаточно часто приводит к серьезным экономическим затратам.

Анализ объемов дноуглубительных работ, ежегодно выполняемых в бассейнах Черного и Азовского морей, показывает, что они достигают 20-22 млн. кубометров. Более половины этих объемов составляют илистые грунты [6].

Распространенные в Украине организация и технология производства дноуглубительных работ, отсутствие исследований по полезному использованию разрабатываемых грунтов привело к тому, что более 90% их объема утилизируется в подводные морские свалки, т.е. являются бросовыми и наносят ущерб биоресурсам водной среды.

В практике морского гидротехнического строительства известны примеры положительного опыта создания территорий типа искусственных островов, полуостровов на внешней акватории портов (Япония – порт Кобе и др.) посредством их концентрированного гидронамыва. В отечественной практике этот положительный опыт до настоящего времени реализуется исключительно на защищенных акваториях [4].

В период 1986-2006 годы в Мариупольском морском торговом порту при реконструкции и строительстве причалов 1, 5-7, 10, 18 приобретен положительный опыт образования территорий и заполнения обратных насыпок набережных путем естественного гравитационного замещения слабых илов, донных отложений металлургическим шлаком – отходами металлургических комбинатов Азовсталь и Ильича [7].

Эксплуатация построенных сооружений подтвердила эффективность инженерных решений по обеспечению предпостроечного уплотнения грунтов, созданию приемлемых строительных качеств образованных грунтовых оснований [5].

Поскольку продукты дноуглубления акваторий и/или замены грунтов в основаниях реконструируемых портовых сооружений представляют собой, как правило, слабые илистые грунтовые образования, необходимо выполнять прогнозирование их деформаций в длительный период последующей эксплуатации для обоснования путей рационального использования.

Исследования реализуют один из ресурсосберегающих путей утилизации грунтов в береговые территории, которые затем используются в качестве оснований для организации промышленных зон, терминалов и т.п.

Достигается это посредством специальных инженерных мероприятий. Одним из них является устройство дренажных прорезей в грунтовой отвал с последующим временным загрузением насыпью из местного грунта или складированным грузом терминала для обеспечения консолидации вновь образованной территории.

Процессы консолидации грунтов вновь образованных территорий из продуктов дноуглубления относятся к задачам консолидации слабых водонасыщенных оснований.

Ранее автором [5] рассматривались задачи консолидации слабых оснований при устройстве песчаных дрен. Здесь результаты относятся к дренажным прорезям.

Рассматривается береговой отвал илистых водонасыщенных грунтов (рис. 1) мощностью h_1 , в котором для ускорения процесса консолида-

дии утилизированных грунтов устроена регулярная система висячих дренажных прорезей.

Карты намыва береговых отвалов значительны по протяженности. Их габариты существенно превышают поперечные размеры прорезей. Поэтому прорези можно условно полагать бесконечными, т.е. при равномерной нагрузке можно рассматривать плоскую задачу консолидации.

По поверхности отвала устроена насыпь, равномерная нагрузка q от которой, создана мгновенно. Предпосылка принимается, поскольку длительный период стабилизации слабого основания не сопоставим с относительно кратким периодом производства работ по созданию огрузочной насыпи.

Дренажные прорези заполнены песком или крупнообломочным грунтом, которые не оказывают фильтрационного сопротивления поровой воде в процессе консолидации.

Аналогичный материал размещен по подошве и кровле намывтого грунтового массива. Таким образом, дренирующими являются кровля, подошва консолидируемого слоя, а также поверхности дренирующих прорезей.

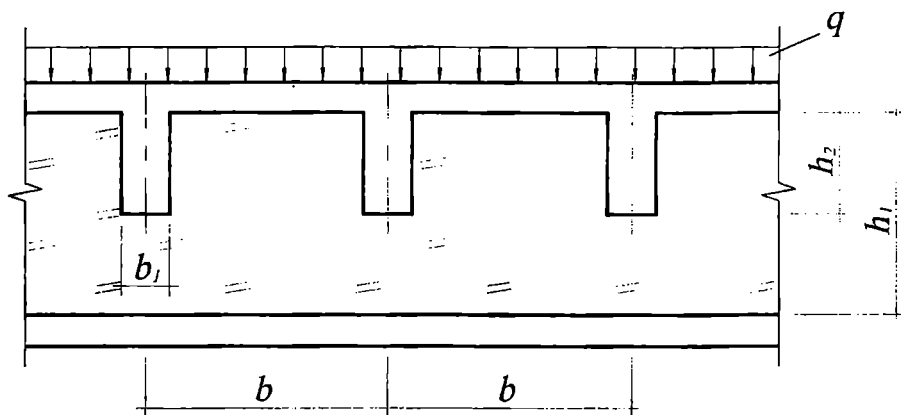


Рис. 1. Расчетная схема

При отсутствии естественного дренажа по подошве намываемой территории рационально размещение искусственного дренажа. Это мероприятие приводит к существенному ускорению процесса уплотнения образованной территории.

В качестве исходной интегральной характеристики в задачах фильтрационной консолидации рассматривается коэффициент консолидации C_v .

Учитывая плоский характер деформирования, следует фиксировать вертикальный C_z и горизонтальный C_x коэффициенты консолидации. Они, как правило, различны в анизотропных средах, к которым следует отнести отвалы из грунтов дноуглубления.

Кроме того, трактовка задач существенно различается для линейной и нелинейной теорий уплотнения [3].

Для линейной теории значения C_v постоянны по глубине и во времени. Для нелинейной – в изложении [1-3] – C_z и C_x функции избыточного порового давления, которые переменны в пространстве и во времени.

Рассматриваемая задача имеет практические приложения как в линейной, так и в нелинейной постановках. Нелинейная постановка характерна для «свежих» гидроотвалов преимущественно из илов. Линейная – для смешанных грунтов (суглинки) или отвалов находящихся значительный период в отстойном состоянии до их освоения.

В обозначенном виде задача линейной консолидации берегового отвала сводится к условиям плоского деформирования для зоны влияния дренажной прорези (рис. 2).

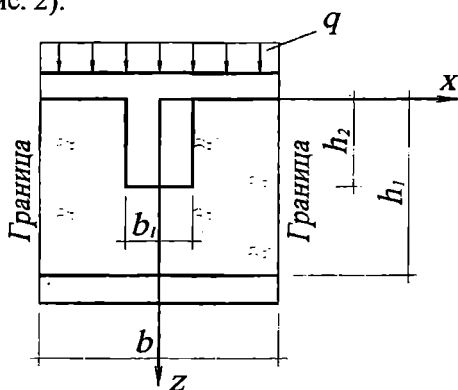


Рис. 2. Зона влияния дренажной прорези

Дифференциальное уравнение уплотнения для функции $H(z,x,t)$ избыточного давления в поровой воде записывается в виде

$$\frac{\partial H(z,x,t)}{\partial t} = c_z \frac{\partial^2 H(z,x,t)}{\partial z^2} + c_x \frac{\partial^2 H(z,x,t)}{\partial x^2}. \quad (1)$$

Начальное условие

$$H(z,x,t=0) = q/\gamma_v, \quad (2)$$

где γ_v – объемный вес поровой воды.

Граничные условия

$$H(z=0, \pm b_1/2 \leq x \leq \pm b/2, t) = 0;$$

$$H(0 \leq z \leq h_2, x = \pm b_1/2, t) = 0;$$

$$H(z=h_2, -b_1/2 \leq x \leq b/2, t) = 0;$$

$$\frac{\partial H(0 \leq z \leq h_1, x = \pm b/2, t)}{\partial x} = 0. \quad (3)$$

Получить решение (1) в аналитическом виде не удастся [10]. Поэтому рационально решение искать в конечно-разностной форме.

Поскольку зона влияния прорези симметрична относительно оси z , построение конечно-разностной сетки и порядок нумерации узлов приведены на рис. 3.

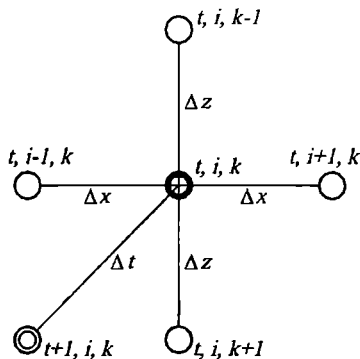
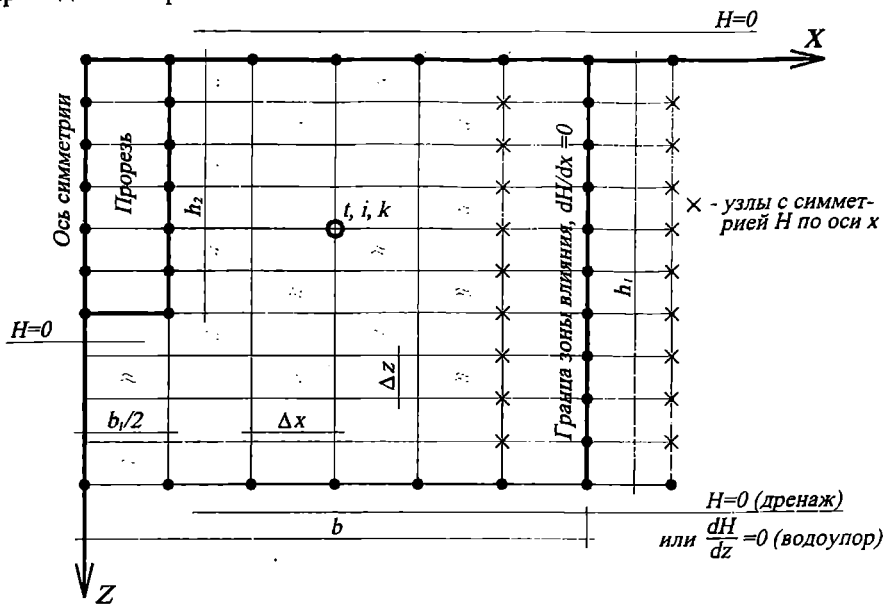


Рис. 3. Конечно-разностная сетка и порядок нумерации узлов

В конечном виде для функции избыточного порового давления в узле конечно-разностной регулярной сетки получим выражение

$$H_{t+1, i, k} = H_{t, i, k} = -\alpha A - \beta B, \quad (4)$$

где $A = 2H_{t, i, k} - H_{t, i, k+1} - H_{t, i, k-1}$; $B = 2H_{t, i, k} - H_{t, i, k+1} - H_{t, i-1, k}$;
 $\alpha = \Delta t c_z / \Delta z^2$; $\beta = \Delta t c_x / \Delta x^2$.

Условия устойчивости конечно-разностной схемы определяются выражениями

$$\alpha = \Delta t c_z / \Delta z^2 \leq \frac{1}{4}; \quad \beta = \Delta t c_x / \Delta x^2 \leq \frac{1}{4}; \quad (5)$$

Определение функции $H(z, x, t)$ является элементом прогнозирования осадок образованных территорий на гидроотвалах, алгоритм вычисления которых определен ниже.

При нелинейной постановке задачи условия построения конечно-разностной сетки и порядок нумерации узлов сохраняются.

Однако дифференциальное уравнение уплотнения приобретает иной вид, поскольку содержит переменные во времени и по координатам коэффициенты консолидации.

Предложенный вариант нелинейной теории фильтрационной консолидации сформулирован Школа А.В. в [2; 3]. Результаты сопоставления расчетов и опытных данных показали их достаточную для практики сходимость.

Для береговых отвалов с огрузочной насыпью задача рассматривается впервые.

Уравнение уплотнения записывается

$$\frac{\partial H(z, x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[c_z(H(t, z, x)) \frac{\partial H(t, z, x)}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[c_x(H(t, z, x)) \frac{\partial H(t, z, x)}{\partial x} \right], \quad (6)$$

где функции коэффициента консолидации, исходя из [12] представляются

$$c_z(H(t, z, x)) = \left[c_z^0 - c_z^\infty \right] \frac{H(t, z, x)}{H(0, z, x)} + c_z^\infty, \quad (7)$$

$$c_x(H(t, z, x)) = \left[c_x^0 - c_x^\infty \right] \frac{H(t, z, x)}{H(0, z, x)} + c_x^\infty. \quad (8)$$

В выражениях (7, 8) начальные C_z^0, C_x^0 и конечные C_z^∞, C_x^∞ значения функций устанавливаются посредством стандартных компрессионных испытаний с помощью их обработки методом Нейлора-Строганова.

Решение (6) для узла принимает следующий вид:

$$H_{t+1, i, k} = \frac{H_{t, i, k} - \alpha_1 A - \beta_1 B + \frac{1}{4} \alpha_2 D^2 + \frac{1}{4} \beta_2 E^2}{1 + \alpha_2 A + \beta_2 B}, \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned}
 A &= 2H_{t,i,k} - H_{t,i,k+1} - H_{t,i,k-1}; \\
 B &= 2H_{t,i,k} - H_{t,i,k+1} - H_{t,i-1,k}; \\
 D &= H_{t,i,k+1} - H_{t,i,k-1}; \\
 E &= H_{t,i+1,k} - H_{t,i-1,k}; \\
 \alpha_1 &= \Delta t c^z / \Delta z^2; \\
 \beta_1 &= \Delta t c^x / \Delta x^2; \\
 \alpha_2 &= \Delta t [c^z - c^z] / \Delta z^2 H_{0,i,k}; \\
 \beta_2 &= \Delta t [c^x - c^x] / \Delta x^2 H_{0,i,k}.
 \end{aligned}$$

Условия устойчивости конечно-разностной схемы аналогичны условиям предыдущей задачи. Алгоритм расчета осадок идентичен для линейного и нелинейного решения задачи после определения функции избыточного давления в поровой воде.

Стабилизированная осадка выясняется по формуле

$$S(t = \infty) = a_0 q h_1, \tag{10}$$

где a_0 – относительный коэффициент сжимаемости, определяемый лабораторным путем на компрессионных приборах.

Площадь начальной эпюры $H(0, z, x)$ составляет величину

$$\Omega = h_1 \cdot H(0, z, x) = h_1 \cdot \frac{q}{\gamma_e}. \tag{11}$$

По каждой вертикали регулярной конечно-разностной сетки для данного момента $0 < t < \infty$ вычисляется интеграл эпюры порового давления

$$\Omega_i(t) = \int_0^{h_1} H(t, z, x) dz = \frac{\Delta z}{2} \sum_{k=1}^h (H_{t,i,k-1} + H_{t,i,k}). \tag{12}$$

Характер эпюр при граничных условиях, заданных на рис. 3, приведен на рис. 4.

По каждой вертикали в произвольный момент времени может быть определена степень консолидации $\mu_i(t)$ и осадка $S_i(t)$ грунтового массива

$$\mu_i(t) = 1 - \frac{\Omega_i(t)}{\Omega}. \tag{13}$$

$$S_i(t) = S(t = \infty) \mu_i(t). \quad (14)$$

которые отражают неравномерность деформирования по оси x .

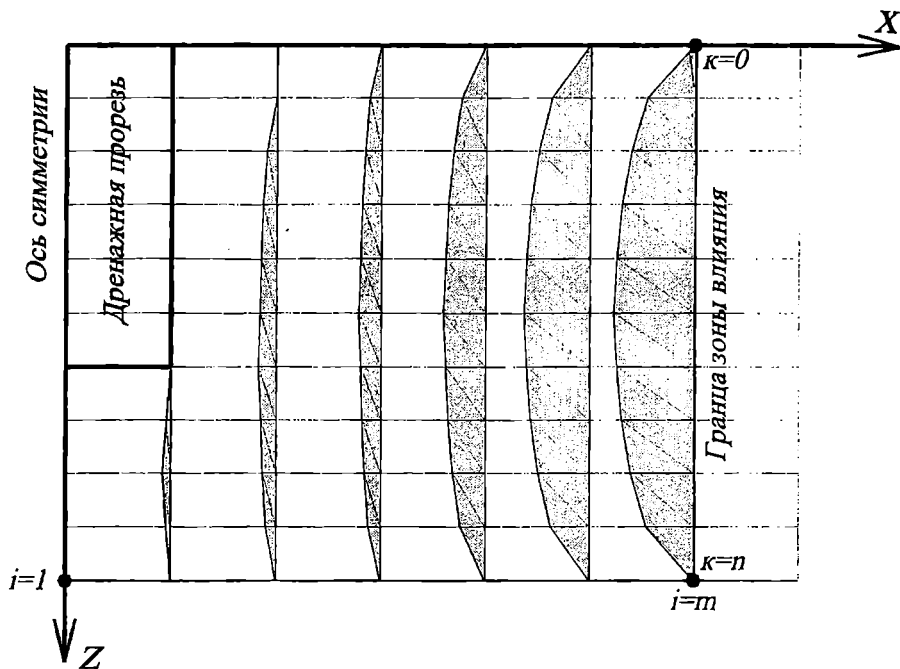


Рис. 4. Характер функции $H(t, z, x)$ для $0 < t < \infty$

Для получения интегральных характеристик степени консолидации и осадки берегового отвала в заданный момент времени необходимо выполнить их осреднение

$$\mu(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \mu_i(t). \quad (15)$$

$$S(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i(t). \quad (16)$$

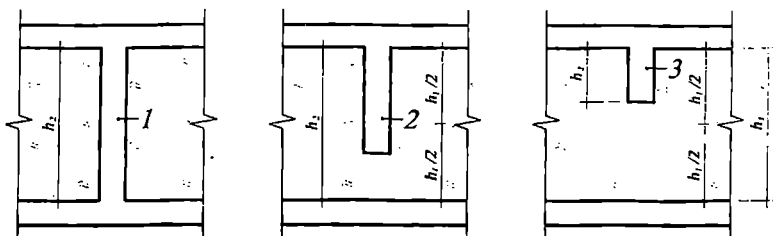
Формулы легко обобщаются на случай нерегулярной конечно-разностной сетки, которая в практике используется редко.

При изменении граничных условий, например, водоупоре по подошве намываемого слоя грунта, следует изменить (3).

Определение оптимального шага дренажных прорезей гидроотвалов.

Для удобства изложения введем следующие понятия:

- совершенная дренажная прорезь длиной $h_2 = h_1$;
 - несовершенная дренажная прорезь длиной $h_2 < h_1$.
- Для последнего понятия введем определения:
- короткая дренажная прорезь, длиной $h_2 \leq h_1/2$;
 - длинная дренажная прорезь $h_1/2 < h_2 < h_1$ (рис. 5).



*Рис. 5. Совершенная – 1 и несовершенные:
2 – длинная; 3 – короткая дренажные прорези*

Под поверхностью фильтрационного равновесия при отжатии поровой воды будем понимать границу, разделяющую направления фильтрационного потока к различным поверхностям дренирования.

При отсутствии дренажных прорезей этой границей является плоскость (рис. 6), которая разграничивает области влияния дренажных поверхностей по кровле и подошве консолидируемого слоя.

Оптимизацию шага между дренажами рассмотрим для граничных условий, приведенных на рис. 1. Очевидно, что одним из тривиальных решений оказывается равенство $b = b_1$ (см. рис. 7), которое означает замену слоя слабого грунта песком.

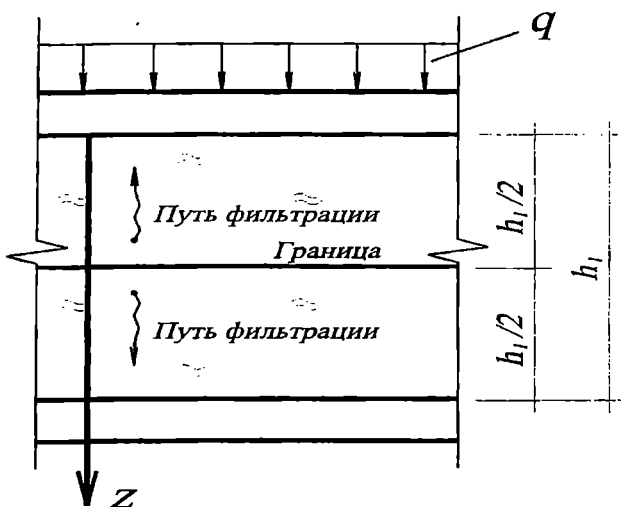


Рис. 6. К формулировке поверхности фильтрационного равновесия

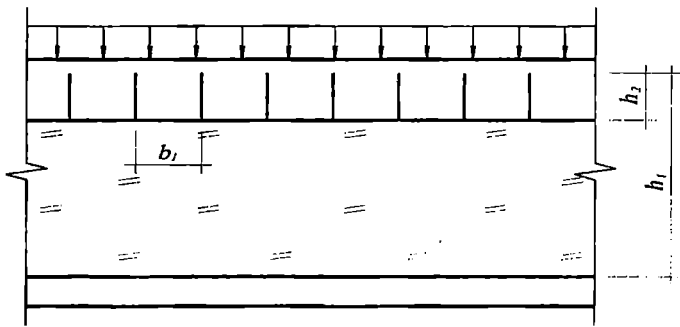


Рис. 7. Иллюстрация к тривиальному решению оптимизации шага дренажных прорезей

Второе, также очевидное решение для совершенной дренажной прорези по критерию максимальной реализации фильтрационных потоков через дренажные плоскости сводится к равенству $b - b_1 = h_1$ (рис. 8), что справедливо при условии $c_z = c_x$.

В действительности, c_z и c_x могут существенно отличаться, т.е. имеет место фильтрационная анизотропия.

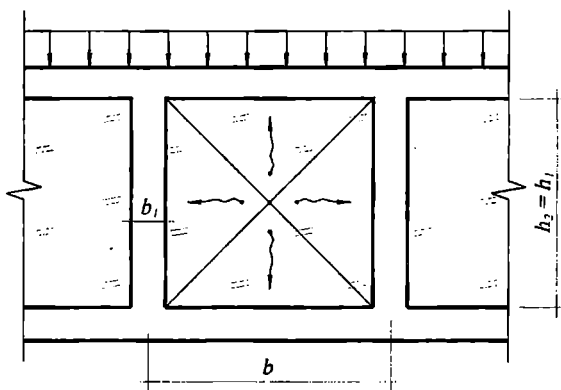


Рис. 8. Оптимальное решение для совершенных прорезей

В этих случаях, $b - b_1 \neq h_1$ и степени консолидации в вертикальном и горизонтальном направлениях для линейной трактовки теории фильтрационной консолидации, следуя [10], соответственно запишутся

$$\mu_z(t) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp \left[\frac{\pi^2 c_z t}{h^2} \right]; \quad (17)$$

$$\mu_x(t) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp \left[\frac{\pi^2 c_z t}{(b - b_1)^2} \right] \quad (18)$$

Из условия их равенства получим выражение для определения относительного оптимального шага между совершенными дренажными прорезями при $c_z \neq c_x$ (рис. 9).

$$B_a = \frac{b - b_1}{h_1} = \sqrt{\frac{c_x}{c_z}} \quad (19)$$

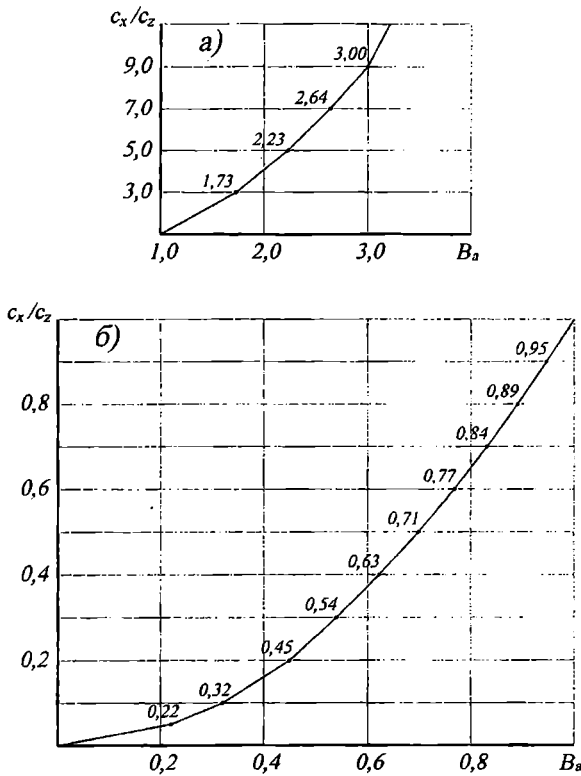


Рис. 9. Относительный оптимальный шаг между совершенными дренажными прорезями при фильтрационной анизотропии грунта: а) $c_x \geq c_z$; б) $c_x \leq c_z$

Несовершенные дренажные прорези занимают промежуточное положение между вырожденной мощностью $h_2 = 0$ и совершенным дренажем, т.е. $h_2 = h_1$.

Области влияния дренажных поверхностей короткой (рис. 9 а) и длинной (рис. 9 б) прорезей построены с помощью поверхностей фильтрационного равновесия.

Очевидно, что поверхности фильтрационного равновесия в области взаимодействия зон влияния F_1 и F_2 прорезей и горизонтального подошвенного дренажного слоя носят криволинейный характер. Однако их ломаное очертание, принятое в дальнейших выкладках, не вносит существенных погрешностей.

Поиск оптимального шага выполним сначала для коротких дренажных прорезей, исходя из заявленного ранее критерия равенства объемов отжимаемой поровой воды в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Это позволяет записать уравнение

$$F_1 - F_2 - F_3 = 0, \quad (20)$$

где F_1, F_2, F_3 – площади соответствующих зон, обозначенных на рис. 10.

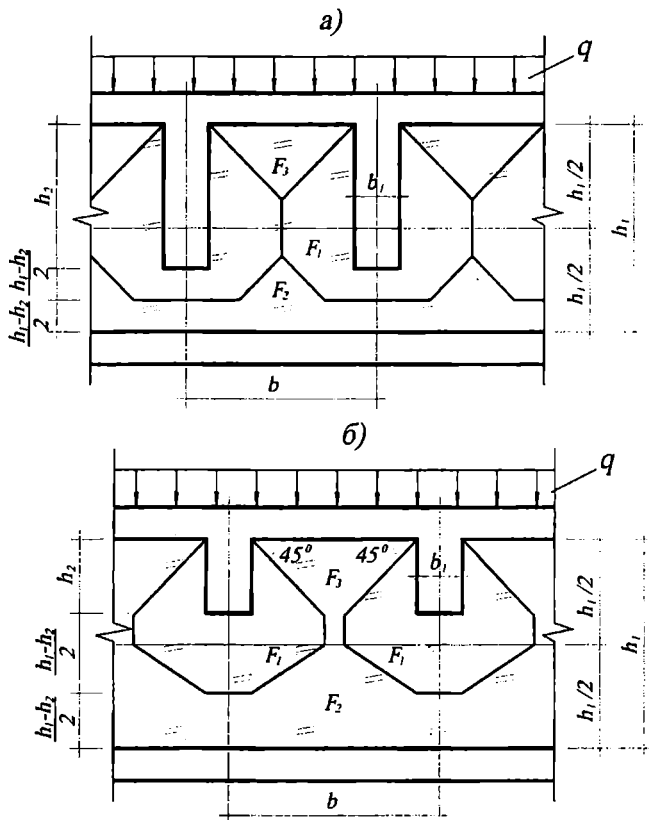


Рис. 10. Области влияния дренажных поверхностей: для а – длинной; б – короткой дренажных прорезей; разделительные линии – поверхности фильтрационного равновесия

Из геометрических соотношений следует, что для коротких дренажных прорезей (19) приводит к выражению для относительного оптимального шага в виде

$$B_{opt} = \frac{b - b_1}{h_1} = \frac{2h_2}{h_1} \left(1 - \frac{h_2}{h_1} \right). \quad (21)$$

Для длинных дренажных прорезей это выражение записывается в виде

$$B_{opt} = \frac{b - b_1}{h_1} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{2 \left(2 - \frac{h_2}{h_1} \right) \frac{h_2}{h_1} - 1} \right). \quad (22)$$

Анализируя (21) на выполнение граничного условия, получаем, что при $h_2 / h_1 = 0$; $b = b_1$, т.е. приходим к выводу о соответствии и состоятельности полученного результата, поскольку он означает вырождение оптимального шага в плоскость кровельного дренажного слоя.

Второе граничное условие $h_2 / h_1 = 1$ также физически обусловлено, поскольку $b = h_1 + b_1$.

Что касается выражения (22), то необходимо отметить, что оно справедливо в интервале $0,5 \leq h_2 / h_1 \leq 1,0$ и не может быть распространено на область коротких дренажных прорезей.

Однако, при $h_2 = h_1$, (22) также приводит к верному результату $b = h_1 + b_1$.

На рис. 11 приведены обе зависимости в относительных координатах.

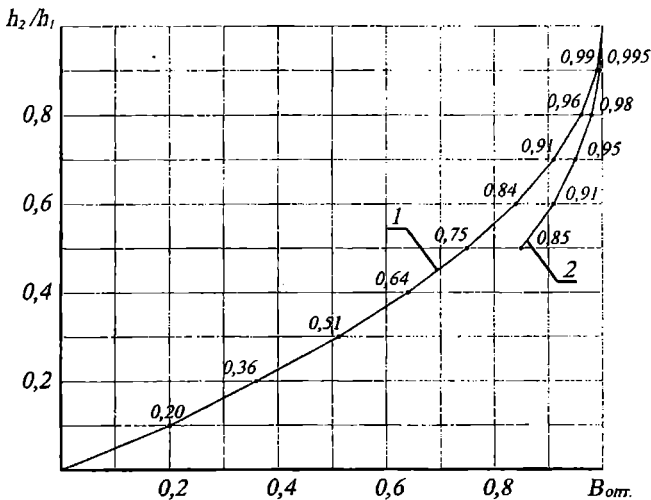


Рис. 11. Зависимость для определения B_{opt} .
1 – по формуле (21); 2 – по (22)

Их отличие в области длинных дренажных прорезей объясняется погрешностями при формировании зон влияния F_1 и F_2 посредством замены криволинейных поверхностей ломаными, что несущественно, на наш взгляд, влияет на результат.

При фильтрационной анизотропии выражения (21, 22) следует преобразовать с учетом (19). Таким образом, расчетный относительный оптимальный шаг равен

$$B_p = B_{opt} \cdot B_a = \frac{2h_2}{h_1} \left(1 - \frac{h_2}{h_1} \right) \sqrt{\frac{c_v}{c_a}}. \quad (23)$$

По существу B_a – коэффициент фильтрационной анизотропии, который сохраняет B_{opt} при $c_x = c_z$, увеличивает шаг при $c_x > c_z$ и уменьшает при $c_x < c_z$.

Переход к линейному шагу прорезей

$$B_p = B_{opt} \cdot B_a = \left(\frac{2h_2}{h_1} - \frac{h_2^2}{h_1^2} \right) \sqrt{\frac{c_v}{c_a}};$$

$$b_p = b_1 + h_2 \left(2 - \frac{h_2}{h_1} \right) \sqrt{\frac{c_v}{c_a}}. \quad (24)$$

Из рис. 11 следует, что фильтрационная анизотропия существенно влияет на оптимальный расчетный шаг дренажных прорезей.

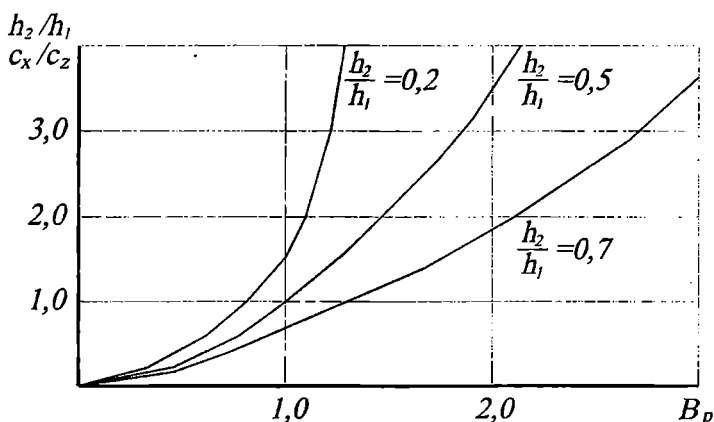


Рис. 12. Учет анизотропии грунта при различной мощности прорезей

Полученные решения позволяют предложить простой метод расчета консолидации гидроотвала.

Исходя из критерия (19), удалось выполнить определение оптимального шага между дренажными прорезями. По существу, критерий оптимального шага исходит из равенства степеней консолидации в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Следовательно, можно записать соотношение

$$\mu(t) = \mu_z(t) = \mu_x(t), \quad (25)$$

которое использовалось при выводе (18).

Таким образом, при устройстве несовершенных и совершенных дренажных прорезей посредством применения (23) можно определить их шаг с учетом фильтрационной анизотропии, отвечающий условию (25).

Рассмотрим сначала условия устройства совершенных (сквозных) дренажных прорезей, как наиболее простых с позиции расчета.

С помощью указанного выражения определим в заданный момент времени степень консолидации в вертикальном направлении согласно (16).

Для уточнения погрешностей при выборе оптимального шага прорезей согласно (17) выполним расчет степени консолидации в горизонтальном направлении. При необходимости проведем его корректировку для достижения максимального эффекта.

Для завершения процедуры расчета воспользуемся теоремой суперпозиции Карилло, согласно которой степень консолидации основания при вертикальных и горизонтальных дренажных поверхностях определяется интегрально согласно выражению

$$\mu_{z,x}(t) = 1 - [1 - \mu_z(t)][1 - \mu_x(t)], \quad (26)$$

которое при выполнении условия (3.25) можно переписать в виде

$$\mu_{z,x}(t) = 1 - [1 - \mu_z(t)]^2. \quad (27)$$

Для дальнейшего применения на рис. 13 приведены графики степени консолидации $\mu_z(t)$ при отсутствии дренажных прорезей – кривая 1 и при устройстве сквозных прорезей $\mu_{z,x}(t)$ – кривая 2 для условного осно-

вания при равенстве $\frac{\pi^2 c_z}{h_1^2} = 1$ и приближенно принятом отношении

$$\frac{8}{\pi^2} \approx 1.$$

Выделенная на рис. 13 область соответствует степеням консолидации $\mu_{z,x}^H(t)$ гидроотвала при устройстве несовершенных дренажных прорезей.

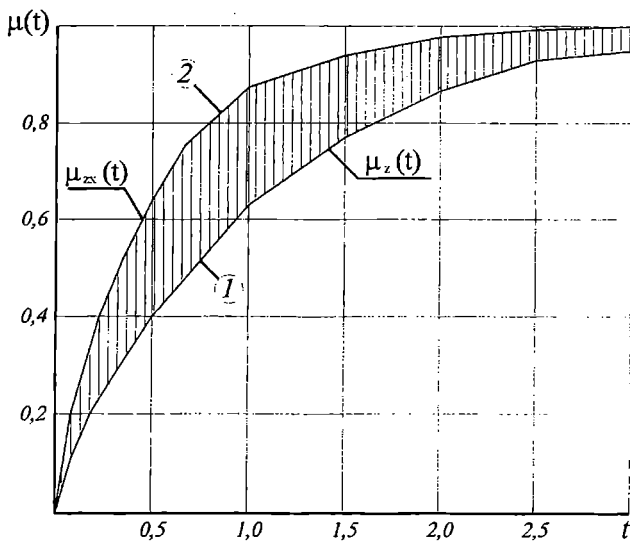


Рис. 13. К иллюстрации влияния устройства дренажных прорезей

Очевидно, что чем больше их мощность, тем кривая ближе к верхней границе области. И наоборот, чем меньше h_2 , тем кривая ближе к нижней границе.

Отклик основания относится исключительно к горизонтальной составляющей консолидационного процесса.

Это позволяет для несовершенных дренажей при фильтрационной анизотропии и условии предварительного определения их оптимального шага предложить определение интегральной степени консолидации грунтового массива в заданный момент времени в виде

$$\mu_{z,x}(t) = 1 - [1 - \mu_z(t)][1 - \alpha\mu_x(t)], \quad (28)$$

где
$$\alpha = (h_2 / h_1)^2. \quad (29)$$

Нетрудно убедиться, что при $h_2 = h_1$ (28) вырождается в (27), а при выполнении условия (24) в (26). Кроме того, при $h_2 = 0$

$$\mu_{z,x}^H(t) = \mu_z(t).$$

Дальнейшие процедуры по определению осадки в заданный момент процесса консолидации сводятся к использованию (9) и искомого значения

$$s(t) = \mu_{z,x}^H(t) s(t = \infty).$$

Понятно, что предложенный инженерный метод расчета подлежит последующей апробации на объектах утилизации грунтов дноуглубления в отвалы.

ВЫВОДЫ

1. Сформулирована постановка задачи прогнозирования осадок утилизируемых грунтов при устройстве дренажных прорезей в грунтовой массе берегового отвала из продуктов дноуглубления на подходных каналах и акваториях портов.

2. Получены решения задачи консолидации грунтов гидроотвала в линейной и нелинейной постановке теории фильтрационной консолидации в конечно-разностной форме.

3. Предложен алгоритм определения осадок отвала во времени, идентичный для линейной и нелинейной постановок при решениях в конечно-разностной форме в условиях дренирования прорезями и устройстве огузочной насыпи.

4. Разработан метод определения оптимального шага дренажных совершенных и несовершенных прорезей с учетом фильтрационной анизотропии грунтового массива.

5. Предложен инженерный метод прогнозирования процесса осадок отвала в аналитическом виде с учетом фильтрационной анизотропии и устройстве совершенных и несовершенных прорезей при предварительном определении оптимального шага.

6. Полученные решения и методы подлежат апробации на конкретных объектах.

7. Результаты исследований доведены до конечных зависимостей и могут рассматриваться как реализация ресурсосберегающей технологии утилизации грунтов в отвалы при дноуглублении на подходных каналах и акваториях морских портов и последующем полезном освоении образованной территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Школа А.В., Маринов К.М. *К нелинейной теории фильтрационной консолидации слабых водонасыщенных оснований порттовых сооружений* // Исследования, проектирование и техническая эксплуатация инженерных сооружений и средств механизации морских портов: Сб. научн. трудов. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. – С. 3-11.
2. Школа А.В. *Вариант нелинейной теории фильтрационной консолидации слабых водонасыщенных оснований* // Морские гидротехнические сооружения и их оборудование: Сб. научн. трудов. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. – С. 32-36.
3. Школа А.В. *Деформации территорий портов и оснований порттовых сооружений в сложных инженерно-геологических условиях: Тексты лекций*. М.: В/О «Мортехинформреклама», 1983. – С. 24.

4. Школа А.В., Мельцов Г.И. Конечно-разностные решения уравнений нелинейной теории фильтрационной консолидации слабых водонасыщенных оснований. В кн.: Инженерное развитие морских портов. – М.: МТИР, 1988. – С. 27-32.
5. Школа А.В. Развитие теории уплотнения береговых гидротехнических сооружений из грунтов дноуглубления // Гидротехнические сооружения. Морские и речные порты: Сб. научн. трудов. Одесса, 1995. – С. 3-17.
6. Школа А.В., Посуховский А.К. Экспериментальное определение характеристик морских шлов Таганрогского и Одесского лиманов: Труды 3 Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению. Том 2. Одесса, 1997, 17-19 сентября. – С. 337-338.
7. Школа А.В., Мосичева И.И. Обоснование областей практического применения инженерных методов расчета уплотнения слабых оснований с несовершенными дренами // Галузеве машинобудування: Зб. наук. пр. Вип. 12. Полтава: Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, 2003.
8. Школа А.В., Мосичева И.И. Инженерный метод расчета предпостроечного уплотнения слабых глинистых оснований с применением несовершенных песчаных дрена при двусторонней вертикальной фильтрации поровой воды // Вісник ОНМУ. № 10. Одеса: 2003. – С. 125-130.
9. Школа А.В., Мосичева И.И. Учет времени создания огрузки при предпостроечном уплотнении слабых глинистых оснований портовых территорий с несовершенными дренами // Буд. констр.: Зб. наук. пр. Вип. 58. Київ. 2003.
10. Флорин В. А. Основы механики грунтов. М.-Л., 1951. Т. 1; 1961. Т. 2,
11. Абелев М. Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. М., 1983.
12. Школа А.В., Маринов К.М. Някои въпроси от нелинейната теория на филтрационата консолидация на слаби водонаситени почви // Строителство. № 11. София, 1980. – С. 11-13.

Надійшла 15.10.07

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ГИПОТЕЗ НАКОПЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НАГРУЗКЕ

Сделан анализ некоторых гипотез накопления усталостных повреждений. Показано, что в случае непрерывного увеличения нагрузки при использовании в качестве модели кривой усталости уравнения Вейбулла с тремя определяемыми параметрами, сумма накопленных повреждений заметно превышает единицу.

Ключевые слова: сопротивление усталости, гипотеза накопления повреждений, непрерывное нагружение.

Для расчётов деталей и конструкций, работающих в условиях нестационарных нагрузок, используются различные теории накопления повреждений. В настоящее время предложено ряд гипотез накопления повреждений, которые позволяют определить повреждённость при воздействии спектра нагрузок, как при случайном, так и закономерном их чередовании.

Первая гипотеза накопления повреждений была предложена Пальмгреном и позднее развита Майнером [1]. В литературе её иногда называют правилом линейного суммирования повреждений. Эта гипотеза является самой простой из всех существующих сегодня и в основном благодаря этому самой распространённой. Согласно гипотезе Пальмгрена – Майнера действие спектра различных уровней напряжений приводит к повреждённости D_i для каждого уровня напряжения σ_i этого спектра. Разрушение произойдёт, когда сумма этих повреждённостей достигнет единицы, т.е.

$$D_1 + D_2 + \dots + D_{i-1} + D_i = 1. \quad (1)$$

Иначе говоря, доля повреждённости прямо пропорциональна отношению числа циклов n_i действия напряжений σ_i к общему числу циклов N_i , при котором произошло бы разрушение на этом уровне

$$\sum_{i=1}^p \frac{n_i}{N_i} = 1, \quad (2)$$

где p – число уровней нагрузки.

К недостаткам гипотезы линейного суммирования повреждений следует отнести то, что она не учитывает очерёдность приложения нагрузки и влияние величины амплитуды напряжений. Кроме того, экспериментальные значения суммы накопленных повреждений могут значительно отличаться от единицы. В зависимости от убывания или возрастания нагрузки их величина колеблется в пределах 0,25-4,0. При квазислучайном изменении нагрузки этот диапазон сильно сужается и составляет 0,6-1,6.

Проведём анализ некоторых нелинейных зависимостей между числом циклов и величиной относительного повреждения.

Гипотеза накопления усталостных повреждений Генри [2] основана на том, что кривые усталости по мере накопления повреждений смещаются влево. Величина повреждённости D определяется по формуле

$$D = (\sigma_R - \sigma_{RП}) / \sigma_R, \quad (3)$$

где σ_R – предел выносливости;

$\sigma_{RП}$ – предел выносливости после повреждения.

Гипотеза Генри предполагает также, что кривая усталости подчиняется уравнению Вейбулла, в котором параметр $m_W = 1$. Для исходного и повреждённого материала эти кривые выражаются соответственно уравнениями

$$(\sigma - \sigma_R)^{m_W} \cdot N = C_W, \quad (4)$$

$$(\sigma - \sigma_{RП})^{m_W} \cdot N = C_{WП}, \quad (5)$$

где m_W , C_W и $C_{WП}$ – параметры.

В качестве допущения в гипотезе Генри принято также то, что после повреждения кривая усталости описывается уравнением равнобочной гиперболы. Кроме того, при выводе формулы для определения величины накопленных повреждений автором было использовано приближённое соотношение

$$\frac{C_{WП}}{C_W} = \frac{\sigma_{RП}}{\sigma_R}. \quad (6)$$

Накопленное повреждение объекта D_i на уровне напряжений σ_i в соответствии с гипотезой Генри выражается зависимостью

$$D_i = \frac{n_i/N}{1 + \left[\sigma_{Ri} / (\sigma_i - \sigma_{Ri}) \right] \cdot (1 - n_i/N)}. \quad (7)$$

Если из этой формулы выразить текущее значение предела выносливости σ_{Ri} и провести ряд преобразований, то получим наиболее удобную форму записи гипотезы Генри

$$\sigma_{Ri} = \frac{\sigma(1 - n/N)}{(\sigma - \sigma_{R0})/\sigma_{R0} + (1 - n/N)}. \quad (8)$$

Гипотеза Генри предполагает любое чередование уровней напряжений, однако в каждом случае в формуле (7) должна фигурировать соответствующая величина предела выносливости σ_{Ri} . Её применение не требует определения дополнительных эмпирических коэффициентов. Наряду с этим ей присущи очевидные недостатки.

Во-первых, параметр m_{ψ} , принимаемый равным единице, на самом деле зависит от целого ряда факторов (в том числе от материала) и изменяется приблизительно в диапазоне значений 0,5...2,0.

Во-вторых, зависимость (6) является приближённой и принята на основе выборочных экспериментальных данных и эвристических соображений.

В-третьих, данная гипотеза предполагает дискретность действия нестационарной нагрузки и использование уравнения (7) для случая непрерывного (плавного) увеличения или понижения нагрузки вызывает определённые трудности.

Гипотеза Марко-Старки [3] является одной из первых нелинейных гипотез накопления повреждений. В основе гипотезы лежат три положения:

1. Повреждаемость объекта D оценивается по формуле

$$D = (n/N)^{m_i}, \quad (9)$$

где m_i – параметр, зависящий от уровня напряжений.

2. Объект разрушается при значении $D = 1$.

3. Сумма цикловых отношений может быть аппроксимирована выражением

$$\sum_{i=1}^p \frac{n_i}{N_i} = \int_0^1 \frac{\left[1 + \frac{N_1}{N_2} + \frac{N_1}{N_3} + \dots + \frac{N_1}{N_i} \right] dN}{\left[1 + \frac{N_1}{N_2} \cdot r_2 \cdot D \left(\frac{r_2 - 1}{r_2} \right) + \frac{N}{N_i} \cdot r_i \cdot D \left(\frac{r_i - 1}{r_i} \right) \right]}, \quad (10)$$

где N_1, N_2, \dots, N_i – число циклов до разрушения при напряжениях;

$\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_i$; $1, 2, \dots, i$ – индексы, указывающие уровень напряжения;

p – количество уровней напряжений;

$r_i = m_i / m_1$ (m_i и m_1 – показатели степени в уравнении (9), соответствующие напряжениям σ_i и σ_1 соответственно).

Анализируя данную гипотезу, следует отметить, что для её реализации необходимо строить эмпирические кривые зависимости доли поврежденности от отношения числа циклов $D = f(n/N)$ на каждом уровне напряжений. Построение этих кривых, естественно, требует большого количества экспериментальных данных.

Согласно гипотезе Гатса [4] величина усталостных повреждений пропорциональна скорости изменения прочности и может быть определена по формуле

$$D(\sigma) = -\frac{1}{k} \cdot \frac{d\sigma}{dn}, \quad (11)$$

где $D(\sigma)$ – функция поврежденности (функция амплитуды напряжения цикла);

$\frac{d\sigma}{dn}$ -- скорость изменения прочности;

k – коэффициент пропорциональности.

В свою очередь функция поврежденности, согласно предположению Гатса, подчинена степенной зависимости

$$D(\sigma) = (\sigma - \sigma_R)^z, \quad (12)$$

где z – эмпирический коэффициент.

Исключив из формул (10) и (11) величину $D(\sigma)$, получим

$$\frac{d\sigma}{dn} = -k \cdot (\sigma - \sigma_R) z. \quad (13)$$

Гатс считал, что поврежденность при напряжениях, превышающих предел выносливости, зависит от энергии деформации. Он ввёл понятие безразмерной (нормированной) кривой усталости и, основываясь на уравнении (13), предложил зависимость для оценки поврежденности в следующем виде:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_{R0}} = \frac{\sigma}{\sigma_{R0}} \left[1 - \frac{1}{\frac{n}{N(1-C)} + \left(1 - \frac{n}{N}\right) \cdot \left(\frac{\sigma}{\sigma_{R0}} - 1\right)} \right], \quad (14)$$

где σ_{R0} – предел выносливости материала;

$C = \frac{\sigma_R}{\sigma_B}$ – константа, зависящая от материала ($C \approx 0,5$);

σ_B – предел прочности материала.

Сравнивая гипотезу Гатса с гипотезой Генри, можно заметить, что вторая из них является частным случаем первой. Действительно, если в формуле (14) вместо $(\sigma_R)_N = C \cdot \sigma$ принять $(\sigma_R)_N = 0$, то получится выражение, эквивалентное зависимости (8)

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_{R0}} = \frac{\sigma}{\sigma_{R0}} \left(1 - \frac{n}{N}\right) \Big/ \left(\frac{\sigma}{\sigma_{R0}} - \frac{n}{N}\right). \quad (15)$$

Рассмотренная гипотеза накопления усталостных повреждений предполагает наличие априорной информации для уточнения эмпирических коэффициентов. Кроме того, константа $C = \sigma_R / \sigma_B$ может быть принята равной 0,5 с грубым приближением. Как известно, в инженерных расчётах принимают $\sigma_R / \sigma_B = 0,43$ (при изгибе) и $\tau_R / \tau_B = 0,58$ (при кручении).

Гипотеза Кортена-Долана [5] основана на шести допущениях.

1. Материал детали повреждается даже при напряжениях, не превышающих предел выносливости.

2. Образование зародышей трещин происходит не мгновенно, а за некоторый промежуток времени (однако для упрощения расчётов всё же было принято, что это время равно нулю).

3. Количество субмикроскопических трещин возрастает при увеличении напряжения.

4. При неизменной амплитуде напряжения скорость накопления усталостных повреждений увеличивается с увеличением числа циклов перемены напряжения.

5. Приращение величины накопленных повреждений за цикл не является постоянным, а увеличивается с увеличением напряжений.

6. История нагружения не влияет на суммарную величину накопления повреждений при разрушении объекта.

Было также сделано предположение о наличии степенной зависимости между удельной повреждённостью и числом циклов

$$D_1 = rN^h, \quad (16)$$

где D_1 – удельная повреждённость;

r – коэффициент роста скорости роста повреждённости;

h – эмпирический коэффициент.

Накопление усталостных повреждений согласно гипотезе Кортена-Долана происходит в соответствии с зависимостью

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_1} \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^d + \frac{n_3}{N_1} \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1} \right)^d + \dots + \frac{n_i}{N_1} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_1} \right)^d = 1, \quad (17)$$

где d – параметр, зависящий от материала (для стали $d = 6, 2 \dots 6, 9$; для алюминиевых сплавов $d \approx 6, 0$).

Этот параметр определяется эмпирическим путём и для его уточнения требуется проведение эксперимента и построение зависимости $\lg(\sigma_2/\sigma_1) = \lg R^{1/h}$. Кроме того, гипотеза разработана для случая блочного нагружения.

Гипотеза накопления повреждений Марина [6] основана на зависимости относительного числа циклов от изменения параметров кривой усталости.

Условие разрушения согласно этой гипотезе записывается в виде

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_1} \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right)^y + \frac{n_3}{N_1} \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_1} \right)^y + \dots + \frac{n_i}{N_1} \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_1} \right)^y = 1, \quad (18)$$

где y – параметр.

Сравнивая гипотезу Марина с гипотезой Кортена-Долана, следует заметить, что они становятся в точности одинаковы при $y = d$.

В соответствии с билинейным правилом суммирования усталостных повреждений Мэнсона [7] процесс накопления повреждений рассматривается как двухэтапный. В этом случае расчёт сумм накопленных повреждений ведётся по линейной гипотезе отдельно для периода зарождения трещины и периода её развития. Установление границы этих периодов Мэнсон предложил проводить эмпирически.

Принимая во внимание, что рассмотренные выше гипотезы накопления повреждений были разработаны для случаев блочного режима нагружения обратимся вновь к линейной гипотезе накопления повреждений, которая с этой точки зрения является более универсальной и применима как при блочном, так и при непрерывном нагружении. Осуществим её экспериментальную проверку при нагружении объектов непрерывной нагрузкой.

Результаты испытаний образцов гладких и с концентраторами напряжений, расчётные значения сумм накопленных повреждений a представлены ниже в таблице.

Величина накопленных усталостных повреждений в соответствии с линейной гипотезой накопления повреждений при непрерывном (плавном) увеличении нагрузки определяется из выражения

$$a = \int_0^{n_C} \frac{dn}{N} = \frac{1}{\alpha} \int_{\sigma_1}^{\sigma_p} \frac{d\sigma}{\sigma_1 N}, \quad (19)$$

где σ_1 – начальное напряжение;

σ_p – напряжение, при котором произошло разрушение;

n_C – суммарное число циклов до разрушения.

Запишем уравнение кривой усталости в таком виде

$$(\sigma - A)^{m'_W} \cdot N = 10^{C'_W}, \quad (20)$$

где m'_W , C'_W и A – параметры.

Решая совместно уравнения (19) и (20), получим

$$a = \frac{(\sigma_p - A)^{m'_W + 1} - (\sigma_1 - A)^{m'_W + 1}}{\alpha (m'_W + 1) 10^{C'_W}}. \quad (21)$$

Результаты испытаний образцов
при различных скоростях увеличения нагрузки

Номер образца	Скорость изменения нагрузки a , Па/цикл	Начальное напряжение σ_1 , МПа	Суммарное число циклов до разрушения n_C , цикл.	Напряжение при разрушении σ_P , МПа	Сумма накопленных повреждений a
Сталь 45, образцы с концентратором напряжений ($\sigma_R = 204$ МПа; $m'_W = 20,66$; $C'_W = 58,95$; $A = 140$ МПа; $R^2 = 0,9346$)					
1	100	180	702700	250,3	0,65
2			786900	258,7	1,06
3			908000	270,8	2,07
4			921100	272,1	2,22
5			978100	277,8	3,01
6	200		502700	280,5	1,73
7			527700	285,5	2,24
8			530900	286,2	2,33
9			540200	288,0	2,55
10			540200	288,0	2,55
Сталь 40X, образцы с концентратором напряжений ($\sigma_R = 159$ МПа; $m'_W = 3,38$; $C'_W = 11,89$; $A = 110$ МПа; $R^2 = 0,9007$)					
1	100	130	762700	206,3	1,36
2			793700	209,4	1,57
3			824600	212,5	1,81
4			991200	229,1	3,56
5			1020800	232,1	3,98
6	200		500100	230,0	1,84
7			531500	236,3	2,32
8			548000	239,6	2,60
9			562900	242,6	2,88
10			579300	245,9	3,21

В случае, когда начальное напряжение σ_1 не превышает предел выносливости ($\sigma_1 \leq \sigma_R$), формула (21) имеет вид

$$a = \frac{(\sigma_P - A)^{m'_W + 1} - (\sigma_R - A)^{m'_W + 1}}{\alpha (m'_W + 1) 10^{C'_W}} \quad (22)$$

Параметры уравнения (22) m'_W , C'_W и A , найденные методом наименьших квадратов при условии получения наивысшего выборочного коэффициента корреляции R^2 , представлены в таблице.

Среднее арифметическое значение величины a для стали 45 составило 2,04 и для стали 40Х-2,51.

Таким образом, значение суммы накопленных повреждений, найденное с помощью линейного суммирования повреждений, превышает единицу более чем в два раза. При этом также прослеживается тенденция увеличения этой величины с увеличением скорости α . При $\alpha = 100$ Па/цикл значения a для образцов из стали 45 и стали 40Х соответственно составили 1,80 и 2,46. При $\alpha = 200$ Па/цикл - 2,28 и 2,57.

Нагружение объектов при непрерывном увеличении нагрузки, как известно, используется в ряде методов ускоренного определения предела выносливости (методы Марселя Про, Эномото и др.). При этом расчёты ведутся с применением линейной гипотезы суммирования повреждений. Основываясь на вышеприведенных результатах эксперимента, можно предположить, что основная доля погрешности этих методов связана именно с использованием данной гипотезы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. – М.: Мир, 1984. – 624 с.
2. Henry D.L. *Theory of Fatigue Damage Accumulation in Steel.* – *ASME Transactions.* 77 (1955). P. 913.
3. Marco S.M., Starkey W.L. *A Concept of Fatigue Damage.* – *ASME Transactions.* 76 (1954). P. 627.
4. Gatts R.R. *Application of a Cumulative Damage Concept to Fatigue.* – *ASME Transactions.* 83, Series D. No. 4 (1961). P. 529.
5. Gorten H.T., Dolan T.J. *Cumulative Fatigue Damage.* – *Proceedings of International Conference on Fatigue of Metals.* – *ASME and IME (1956).* P. 235.
6. Marin J. *Mechanical Behavior of Engineering Materials.* – *Englewood Cliffs. N. J.: Prentice-Hall, 1962.*
7. Mancon S.S. *Interfaces Between Fatigue, Creep, and Fracture.* – *Proceedings of International Conference on Fracture. Vol. 1. Japanese Society for Strength and Fracture of Metals. Sendai. Japan. September. 1965.*

Надійшла 16.10.07.

УДК 621.431.74.004

А.В. Малахов
В.В. Леонов
И.В. Ткаченко
О.Е. Гугуев

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИСКОВЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ

В настоящее время судовые системы гидропривода на пусковых и пиковых режимах эксплуатации нуждаются в совершенствовании системы управления механической частью. Предложен вариант гидродинамического решения проблемы управления посредством установки в рабочих (нагнетательных) линиях гидропривода поворотных дисковых обтекателей. Для данных обтекателей представлены некоторые результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Ключевые слова: судовая система гидропривода, дисковый обтекатель, ближний след, коэффициент местных потерь.

В настоящее время проблема качественного управления основными гидромеханическими, в частности, инерционными характеристиками движущегося потока является очень актуальной для многих технических приложений. Особенно сильно это проявляется в случае эксплуатации судов и плавучих сооружений. Вопросы, связанные с управлением или регулированием судовых систем гидропривода при работе на пиковых нагрузках до сих пор не имеют качественного решения. Эти системы являются очень чувствительными к возникающим динамическим нагрузкам из-за колебаний инерционного напора [1; 2]. На судах практически всех типов система гидропривода используется в большинстве технологических операций во время стоянки судна, на погрузочно-разгрузочных и швартовых работах. Следует отметить, что при эксплуатации технологически замкнутых систем гидропривода очень важным становится процесс регулирования их инерционных параметров. В большинстве случаев при выполнении на судне технологических операций возникает необходимость мгновенной остановки рабочей жидкости в системе рабочих трубопроводов гидропривода. Примером может служить технологическая схема судового гидропривода типа PU-T 5/10,7 F (Project M050C). В таком гидроприводе шестеренчатые насосы при нагнетании рабочей жидкости (гидравлические или синтетические масла) создают рабочее давление в системе рабочих трубопроводов. В последующем рабочая жидкость пода-

ется через узлы управления на командоконтроллеры к исполнительным механизмам, которыми в рассматриваемом варианте гидропривода оказываются гидромотор и гидроцилиндры. Гидромотор является неотъемлемой частью механизма подъема груза, а гидроцилиндры предназначены для использования в работе механизма изменения вылета стрелы или при эксплуатации механизма передвижения секции грузовой стрелы.

С гидромеханической точки зрения наибольшие проблемы в случае гашения инерционного напора рабочей жидкости гидропривода могут возникать в той части схемы, которая относится к механизму подъема. Это связано с тем, что в зависимости от тоннажа груза, который поднимается или опускается подъемным механизмом системы, изменяется частота вращения гидромотора. В настоящее время система рабочих трубопроводов и система управления являются стационарными и рассчитаны на диапазон веса груза от 0 до 5 тонн. В связи с этим при торможении или при пусковой нагрузке в рабочей жидкости гидропривода в первые секунды срабатывания клапана микрорегулирования возникают волны инерционного напора, приводящие к негативным пульсациям оттормаживающего давления в системе и, как следствие, к автоколебаниям подъемного механизма. В этом случае всегда имеет место дополнительный износ его механических узлов и составляющих.

При анализе работы той части гидропривода, в которой используются гидроцилиндры, необходимо отметить, что пульсации пускового давления могут приводить к негативным явлениям при их эксплуатации. Это в основном проявляется в том, что при подходе волны инерционного давления поршень гидроцилиндра может сместиться или пройти технологически необходимое фиксированное положение. При этом необходимо отметить, что из-за большой инерционности гидроцилиндра и большой массы исполнительного механизма эта ситуация с технологической точки зрения не будет иметь опасных последствий, поскольку в этом случае наблюдается незначительное изменение заданного положения фиксации поршня. Можно сделать вывод о том, что в большей степени негативное влияние волн инерционного напора проявляется в той части схемы, которая относится только к подъемному механизму. Для устранения описанных недостатков может быть использована установка дискового гасителя энергии потока рабочей жидкости в рабочем трубопроводе. С целью стабилизации пускового или тормозного давления в системе место установки должно располагаться на выходе из гидромотора.

Второй пример типовой схемы судового гидропривода это схема, которая предназначена для использования в редукторах фирмы Valmet. Чаще всего она используется в гидравлической системе, обеспечивающей выполнение операции разворота лопастей винта регулируемого шага (ВРШ). Та часть схемы судового гидропривода в которой возникают проблемы, рассматриваемые в настоящей работе, функционирует следующим образом. Сервонасос, состоящий из группы масляных насосов высокого

давления, сообщает рабочей жидкости гидропривода необходимое рабочее давление порядка 40-60 бар. Это давление внутри всей системы гидропривода остается постоянным, пока не возникает необходимость выполнения операции по управлению разворотом лопастей ВРШ. При изменении скорости хода судна, т.е. когда необходимо изменить шаг ВРШ, давление внутри системы гидропривода падает до 25-30 бар.

Рабочая жидкость гидропривода по двум трубопроводам поступает на узел системы управления, защиты, регулировки и сигнализации. В дальнейшем по магистральным линиям рабочая жидкость поступает в маслораспределительную коробку, к выходу которой подключены два канала гидроцилиндра. По двум рабочим линиям, которые имеют связь с системой управления, защиты, регулировки и сигнализации, выходящая из распределительной коробки рабочая жидкость, в дальнейшем попадает в два камерных отсека используемого гидроцилиндра.

Гидроцилиндр непосредственно обеспечивает разворот лопастей ВРШ. Он работает следующим образом. Когда поршень за счет различных значений давления в верхнем и нижнем отсеках рабочей камеры изменяет свое положение относительно предыдущего (исходного нулевого положения), происходит разворот лопастей в прямом либо обратном направлении. При таком развороте соответственно изменяется величина и направление упора винта.

Главным недостатком описанной типовой схемы судового гидропривода является то, что при ее работе пусковые нагрузки сервонасоса оказывают влияние на поведение рабочей жидкости во всей системе. За счет возникающего инерционного напора всегда существует инерционность в перемещении поршня внутри рабочей камеры гидроцилиндра. В тех случаях, когда требуется его мгновенная остановка, поршень всегда проходит необходимое фиксированное положение. Такое несоблюдение текущей рабочей позиции поршня вызывает дополнительный разворот лопастей ВРШ, что в конечном итоге приводит к падению качества управления судном (отсутствует мгновенная отработка заданного положения разворота либо мгновенная регулировка хода судна). Этот недостаток сильно проявляется в процессе операций швартовки, где слабая управляемость ходом судна является недопустимой или даже опасной.

В настоящее время рассматриваемая проблема инерционности решается путем использования дополнительных механических систем стабилизации, главным недостатком которых является высокая стоимость и сложность обслуживания. По аналогии с предыдущей схемой судового гидропривода альтернативным вариантом для управления инерционностью перемещения поршня гидроцилиндра может быть вариант управления гидромеханическими характеристиками потока рабочей жидкости в нагнетательных линиях за узлом управления. Отбор избыточной гидромеханической энергии у потока рабочей жидкости может осуществляться гасителем избыточной энергии жидкости.

В большинстве случаев в рабочих линиях, приведенных выше типовых схем судовых гидроприводов, имеют место турбулентные режимы течения. Следствием таких режимов является высокая степень перемешивания рабочей жидкости и нелинейность гидравлических характеристик большинства используемых узлов, работающих в качестве местных сопротивлений. В рабочей линии системы судового гидропривода необходимо предусмотреть возможность создания ламинарного или квазиламинарного режима течения потока. В этом случае при эксплуатации гидропривода на пиковых гидромеханических нагрузках отбор у потока избыточного инерционного напора до его прохождения через регулятор не будет приводить к появлению дополнительных касательных напряжений. Возникновение дополнительной турбулентной вязкости, которая является одной из причин облитерации, указывает на необходимость использования в системе подачи рабочей жидкости дополнительного узла гашения избыточной энергии.

Все известные типы дроссельных регуляторов (за исключением винтового) работают в режиме квадратичного сопротивления, а их пропускная способность описывается выражением

$$Q = \mu_k S_k \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P}, \quad (1)$$

где μ_k – эмпирический коэффициент расхода, зависящий нелинейным образом от числа Рейнольдса потока;

S_k – площадь пропускного сечения, м^2 ;

ΔP – перепад давления, Па;

ρ – плотность рабочей жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Анализ уравнения (1) позволяет сделать вывод о том, что в системе судового гидропривода регуляторы напора должны обладать малым значением величины S_k , что приводит к проявлению их общего недостатка – отсутствию стабильности гидравлической характеристики. Смещение во времени функциональной связи «расход-давление» напрямую определяется следующими факторами:

- возникающими вихревыми гидродинамическими зонами;
- колебаниями вязкости рабочей жидкости в процессе изменения (обычно роста) ее температуры;
- отложением присутствующих в рабочей жидкости механических включений и в результате засорением проходных каналов;
- облитерацией.

Следует отметить, что проведенный анализ существующих конструкций узлов для регулировки избыточной энергии движущейся жидкости указывает на необходимость их совершенствования. Введение в схему

судового гидропривода дополнительных механических узлов управления потоком будет приводить только к усложнению используемых технологических схем. В этом случае оптимальным вариантом является такое техническое решение, при котором предусмотрена возможность отбора у потока избыточной кинетической энергии за счет использования каких либо иных методов.

Одним из вариантов предлагаемого подхода может быть управление гидромеханическими характеристиками движущейся среды. В данном случае предусматривается установка дискового обтекателя внутри цилиндрической рабочей камеры гидропривода. При таком техническом решении характер взаимодействия диска с движущимся потоком будет всегда определяться исключительно условиями его обтекания.

Следует отметить, что до настоящего времени детальное изучение проблемы взаимодействия ограниченного потока с дисковыми обтекателями осуществлялось экспериментальным [3; 4; 5] и частично теоретическим [6] путями.

Применительно к рассматриваемой задаче наиболее подходящими являются теоретические исследования, описанные в работе [6], где приводится решение пространственной задачи об обтекании в цилиндрической трубе тела дисковой формы. В качестве примера подобных расчетов на рис. 1-2 показано поле завихренности потока вблизи диска в горизонтальной плоскости течения. Как видно из рисунков, перед лобовой поверхностью диска возникает сложная вихревая область. В этой части пространства и в ближнем следе позади дискового обтекателя теряется значительная часть энергии движущейся жидкости, что с технической точки зрения позволяет рассматривать обтекатель, как обычное местное сопротивление.

При проведении исследований основная задача заключалась в оценке возможности использования поворотных дисковых обтекателей в качестве основных гасителей инерционного напора рабочей жидкости в судовых системах гидропривода. Для решения этой задачи была разработана математическая модель, позволяющая получать основные интегральные гидромеханические характеристики обтекателя и получены данные, указывающие на возникновение основных энергетических потерь в той части потока, которая прилегает к лобовой и тыльной поверхностям обтекателя. В ходе экспериментов были найдены оптимальная величина степени перекрытия потока (для варианта, когда угол атаки потока равен нулю), распределение давления на поверхности дискового обтекателя, а также кинематические диапазоны характерных режимов обтекания дискового гасителя энергии.

В качестве примера результатов выполненных исследований на рис. 3 показана визуализация ограниченного потока вблизи лобовой поверхности обтекателя. На фотографии хорошо виден внешний контур вихревой области перед лобовой поверхностью тела.

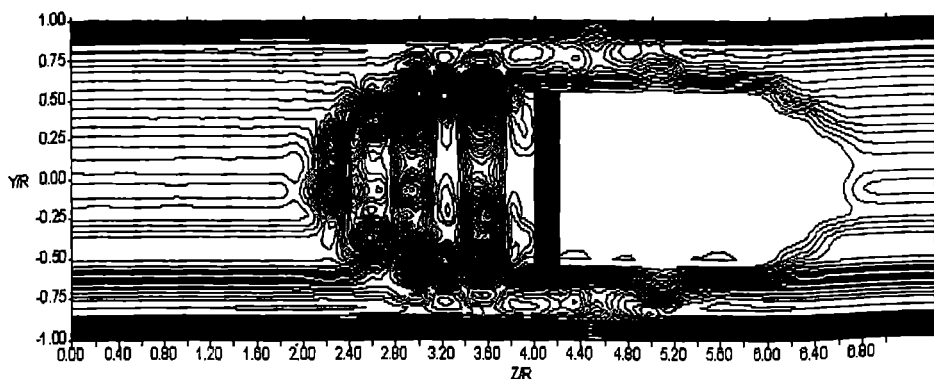


Рис. 1. Нестационарное поле завихренности возле диска:
 $t = 378,7$ сек.; $Re = 500$. Поток движется слева направо



Рис. 2. Изолинии поля завихренности перед диском:
 а – $t = 378,7$ сек.; $Re = 500$; б – $t = 17$ сек.; $Re = 10^4$
 Поток движется слева направо

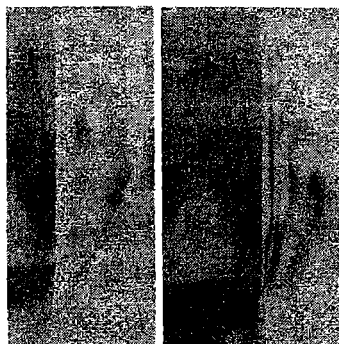


Рис. 3. Вихревая область перед обтекателем в различные моменты времени: $Re = 1951$. Поток движется справа налево

При проведении вычислительных экспериментов наблюдалось изменение во времени коэффициента сопротивления диска с его последу-

ющим выходом на стационарное значение. Динамика изменения этого параметра для двух дисков различной толщины представлена на рис. 4. Здесь же приведены данные из работы [7]. Сравнительный анализ графиков указывает на хорошее совпадение полученных результатов с уже известными.

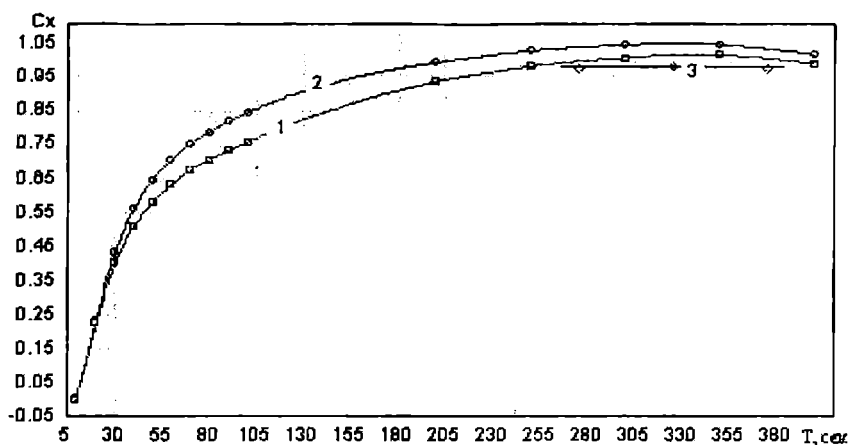


Рис. 4. Изменение во времени коэффициента сопротивления диска:
1 – толщина 20 мм; 2 – толщина 3 мм; 3 – данные [7]

В ходе численных экспериментов были получены поля скорости и давления вблизи моделируемого дискового обтекателя. Так, на рис. 5, для конечного угла поворота диска ($\alpha = 90^\circ$) показаны поля скорости и завихренности вблизи обтекаемой поверхности.

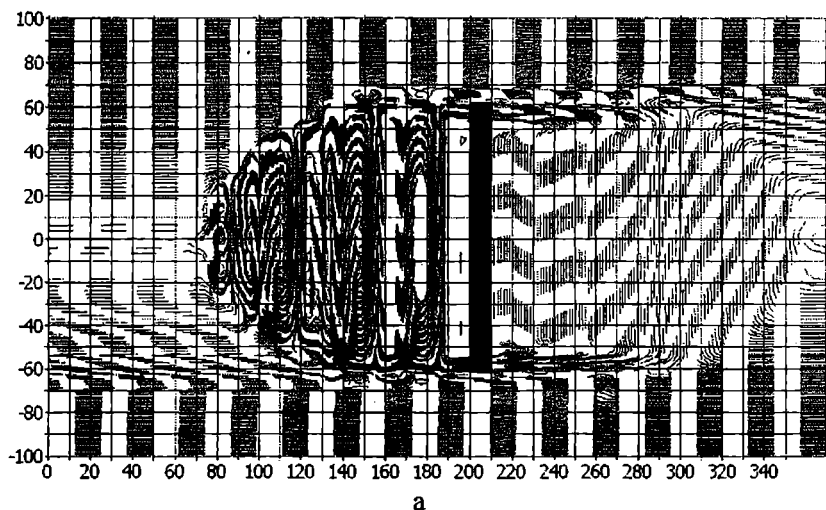
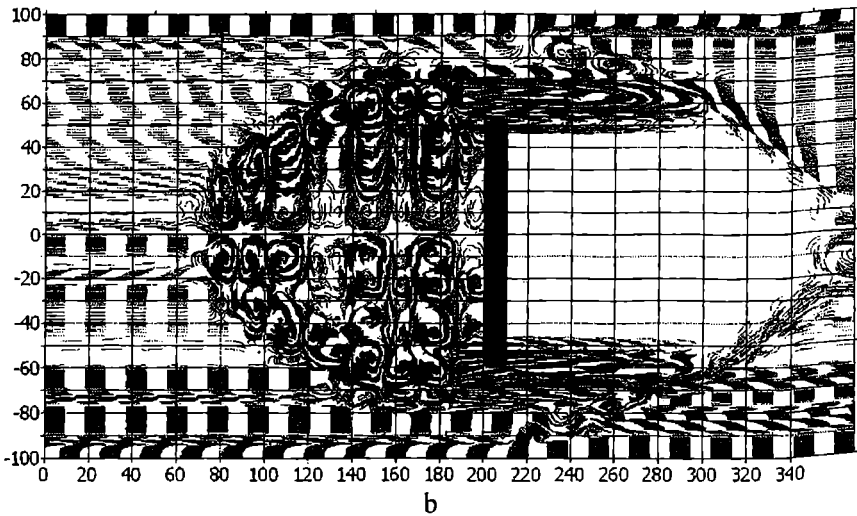


Рис. 5. Поле течения вблизи диска при его рабочем (конечном) положении: $Re = 10000$; $t = 239,7$ с.;
а – поле скорости



Продолжение рис. 5. Поле течения вблизи диска при его рабочем (конечном) положении: $Re = 10000$; $t = 239,7$ с.;
 b – поле завихренности

В ходе численных экспериментов было установлено, что длина ближнего следа за обтекателем зависит от его толщины и этот параметр должен всегда увеличиваться при уменьшении толщины обтекаемого тела. При этом максимум длины ближнего следа приходится на случай обтекания самого тонкого диска. Эти данные представлены на рис. 6, где показана зависимость изменения скорости потока на оси трубопровода.

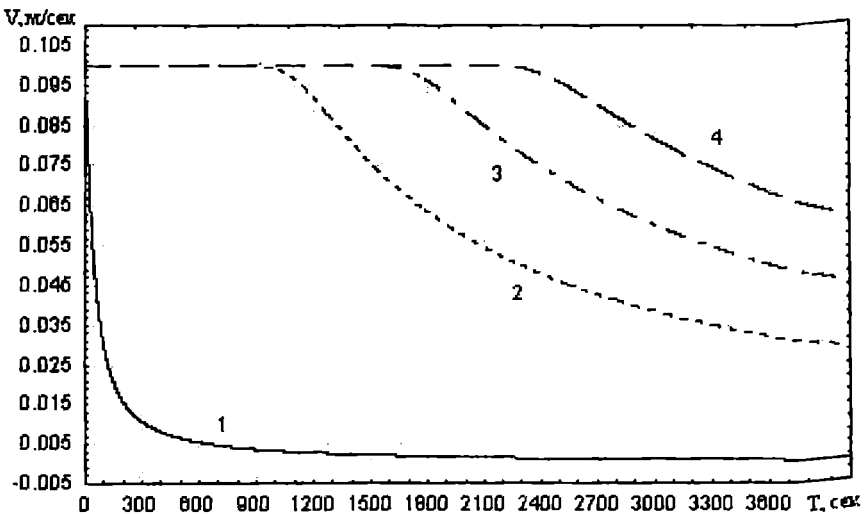


Рис. 6. Изменение скорости при обтекании диска:
 1 – $L/D_{диск} = 0,016$; 2 – $L/D_{диск} = 0,583$;
 3 – $L/D_{диск} = 0,917$; 4 – $L/D_{диск} = 1,25$

В качестве результата расчета, полученного при моделировании процесса обтекания диска, толщиной 10 мм, можно указать на изменение коэффициента местных потерь обтекателя ξ . Графическое представление этой зависимости можно увидеть на рис. 7, где видно, что с момента времени, равного $t = 200$ с, величина ξ при неизменном числе Рейнольдса потока асимптотически стремится к своему постоянному значению.

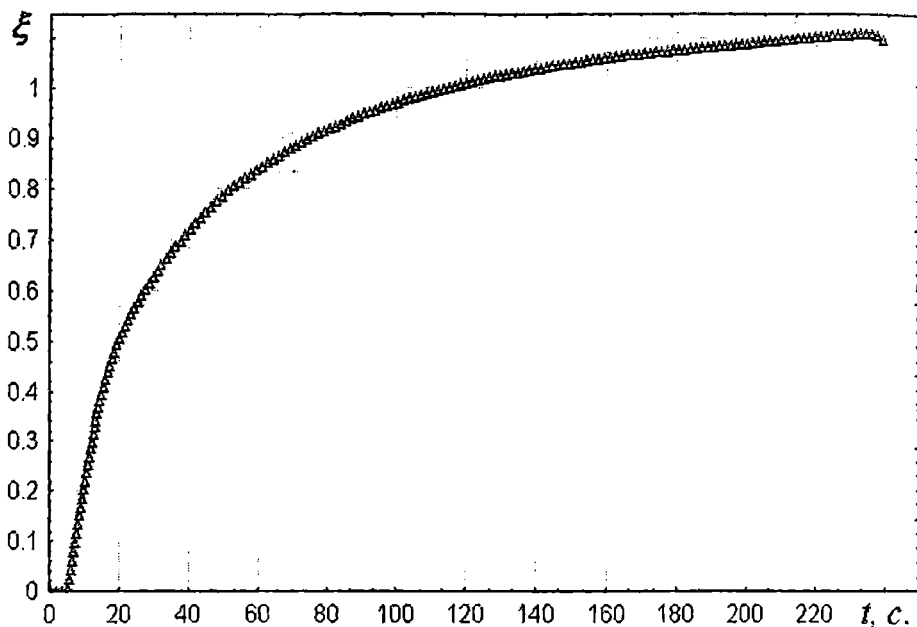


Рис. 7. Изменение во времени коэффициента местных потерь диска толщиной 10 мм при скорости потока на входе в расчетную область 0,1 м/с

В работе [8] показано, что при двумерном обтекании диска и угле атаки потока 90° коэффициент сопротивления зависит только от отношения скоростей потока на бесконечности и на границе или поверхности струи. Следует отметить, что в случае учета вязких и нестационарных эффектов при проведении расчетов подобный вывод оказался неверным. Численные эксперименты показали, что скорость потока в каждой точке, возникающей перед телом сложной вихревой зоны, различна и это указывает на тот факт, что возмущения в локально рассматриваемой части пространства по всем направлениям передаются с разной скоростью и интенсивностью. В силу рассмотренных причин закон изменения коэффициента сопротивления диска имеет нестационарный характер. Это видно на рис. 8, где изображено изменение коэффициентов сопротивления двух дисков, характеризующихся различными значениями толщины при неизменности всех геометрических и гидродинамических параметров.

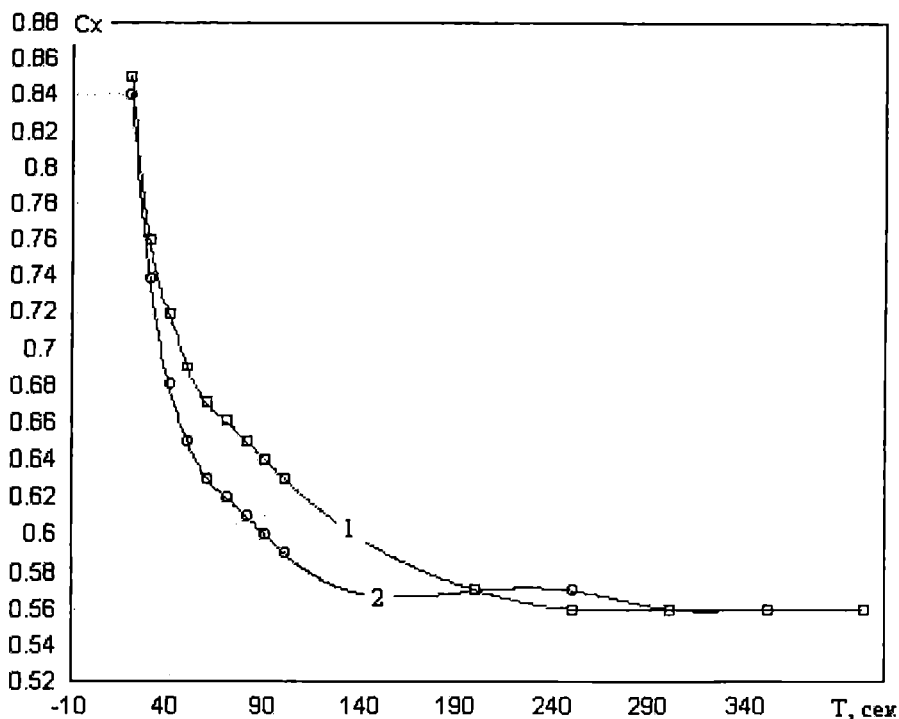


Рис. 8. Изменение во времени коэффициента сопротивления диска в зависимости от степени его удлинения:
 1 – толщина диска 3 мм; 2 – толщина диска 20 мм

Одним из гидромеханических параметров, описывающих взаимодействие ограниченного потока с диском, является распределение давления по поверхности обтекателя. Его локальные значения были измерены в 89 точках, расстановка которых производилась по принципу разбивки лобовой поверхности диска на равновеликие площади. Каждая точка соответствовала центру такой площадки. При проведении экспериментов степень перекрытия потока была величиной переменной. В таблице 1 для различных углов поворота дискового гасителя энергии приведены значения этой величины. Эта таблица соответствует трем сериям опытов и в ней показаны экспериментально измеренные значения: скорости потока, V , м/с; параметра Рейнольдса, просчитанного по обтекаемому диску, Re ; коэффициента местного сопротивления диска, ξ .

На рис. 9-10 для различных углов поворота α показана зависимость коэффициента местных потерь диска от скорости рабочего потока. На графиках видно, что начиная с числа Рейнольдса, равного $Re = 7000$, величина ξ попадает в зону автомодельности, причем полученные численные значения намного превосходят аналогичные данные для известных типов шиберных заслонок.

Экспериментальные данные для различных углов поворота дискового гасителя энергии

Величина	Угол поворота дискового обтекателя от вертикали			
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 50^\circ$
Первый динамический режим				
V, м/с	9,3482	6,9226	4,4422	4,1127
Re	9386,135	6950,7303	4460,2068	4129,3491
$S_{\text{диска}}/S_{\text{трубы}}$	0,6084	0,5992	0,5269	0,3911
ξ	12,23	11,265	7,278	7,388
Второй динамический режим				
V, м/с	15,4181	15,7503	14,7330	13,8045
Re	15209,61	15814,203	14792,8325	13860,514
$S_{\text{диска}}/S_{\text{трубы}}$	0,6084	0,5992	0,5269	0,3911
ξ	12,122	11,649	10,857	9,681
Третий динамический режим				
V, м/с	16,6211	16,7057	16,9569	17,5291
Re	16688,57	16773,495	17025,7426	17600,266
$S_{\text{диска}}/S_{\text{трубы}}$	0,6084	0,5992	0,5269	0,3911
ξ	11,269	10,882	10,653	9,384

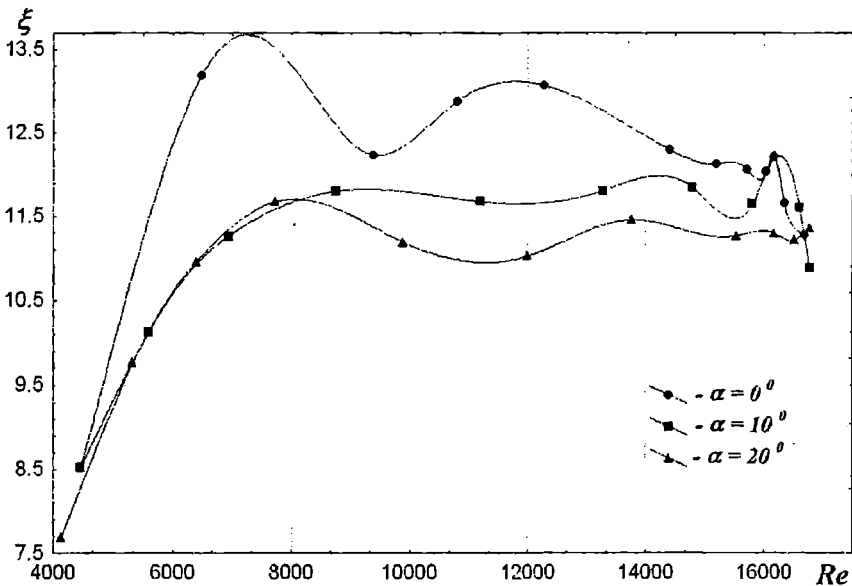


Рис. 9. Зависимость коэффициента местных потерь ξ от числа Рейнольдса потока для тела в виде диска

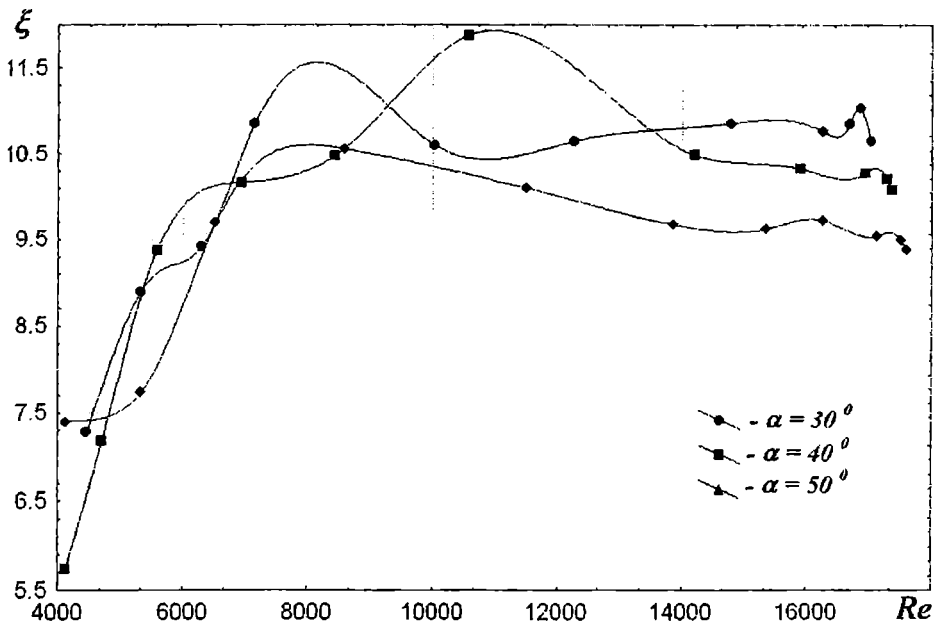


Рис.10. Зависимость коэффициента местных потерь ξ от числа Рейнольдса потока для тела в виде диска

Таким образом, на основании приведенного в статье материала можно сформулировать следующие выводы:

1. Дисковые обтекатели могут использоваться в качестве гидродинамических гасителей инерционной энергии ограниченного потока. Простота их конструктивного исполнения и последующей эксплуатации в судовых системах гидропривода характеризуется заведомо низкой стоимостью эксплуатации и высокими показателями долговечности и надежности.

2. Проведенные расчеты указывают на быстрое наступление времени стабилизации основных гидромеханических характеристик потока при отборе его избыточного напора в системе рабочих линий судового гидропривода.

3. Измеренные значения коэффициентов местных потерь и сопротивления дисковых обтекателей указывают на возможность полного отбора у движущегося потока его избыточной энергии.

4. В ходе обтекания диска ограниченным потоком отбор избыточного инерционного напора будет осуществляться в заведомо ограниченной малой области. Такая вихревая зона всегда будет соответствовать контуру вертикальной проекции обтекаемого диска.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Башта Т. М., Руднев С. С. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.*
2. *Кондратьева Т. Ф. Предохранительные клапаны. – Л.: Машиностроение, 1976. – 231 с.*
3. *Альтишур А. Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1970. – 216 с.*
4. *Малахов А. В. Влияние эксцентриситета на коэффициент сопротивления обтекаемых тел в трубопроводе // Ядерная и радиационная безопасность. – Т. 2. – Вып. 3. – 1999. С. 56-61.*
5. *Янин Б.И. Затворы и переходы трубопроводов. – М.: Машгиз, 1962. – 180 с.*
6. *Малахов А. В. Гидромеханика ограниченных потоков. – Одесса: Астропринт, 1999. – 205 с.*
7. *Биркгоф Г. Гидродинамика / Пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 244 с.*
8. *Дейли Дж., Харлеман Д. Механика жидкости. – М.: Энергия, 1971. – 480 с.*

Надійшла 01.10.07

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАСЧЕТА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СТАНКОВ

Разработана методика построения конечно-элементной модели пространственной конструкции (поперечины) в программном комплексе ANSYS. Исследовано напряженно-деформированное состояние, получены поля перемещений, произведено сравнение результатов традиционных и современных технологий расчета сложных металлоконструкций на примере стойки станка портального типа.

Ключевые слова: жесткость, металлорежущий станок, несущая система, поперечина, конечный элемент, ANSYS.

Основной задачей статического расчета базовых деталей металлорежущих станков является оценка их жесткости.

Традиционные расчеты на жесткость металлоконструкций станков основаны на предположениях плоской расчетной схемы, тогда как их элементы работают как пространственные системы. Например, расчет поперечины сверлильного станка портального типа обычно заключается в расчете балки постоянного поперечного сечения на двух опорах.

Данный подход, как правило, обусловлен тем, что методы расчета развивались, опираясь на «ручной» способ вычисления с применением простых расчетных формул. В случае конструкции сложной геометрической формы трудно оценить точность таких расчетов без экспериментальной проверки на моделях и изделиях.

В настоящее время в связи с развитием вычислительной техники, в том числе разработкой специализированных программ расчета пространственных конструкций, постепенно исчезает необходимость в разбивке на плоские элементы. На базе метода конечных элементов созданы такие мощные программные средства, как ANSYS, Nastran, Cosmos и др.

Для оценки жесткости поперечины специализированного сверлильного станка портального типа ОС – 4037 необходимые расчеты с целью оценки сходимости результатов были выполнены как традиционными методами [2], так и с помощью метода конечных элементов [1].

При использовании программы ANSYS была рассмотрена металлоконструкция поперечины, с учетом технологических окон и отверстий, внутреннего оребрения и других конструктивных особенностей.

Аппроксимация модели выполнена оболочечным конечным элементом Shell 181 из библиотеки конечных элементов программы ANSYS (рис. 1), который определяется как многослойная оболочка с конечными деформациями [3] и имеет четыре узла с шестью степенями свободы в каждом из них.

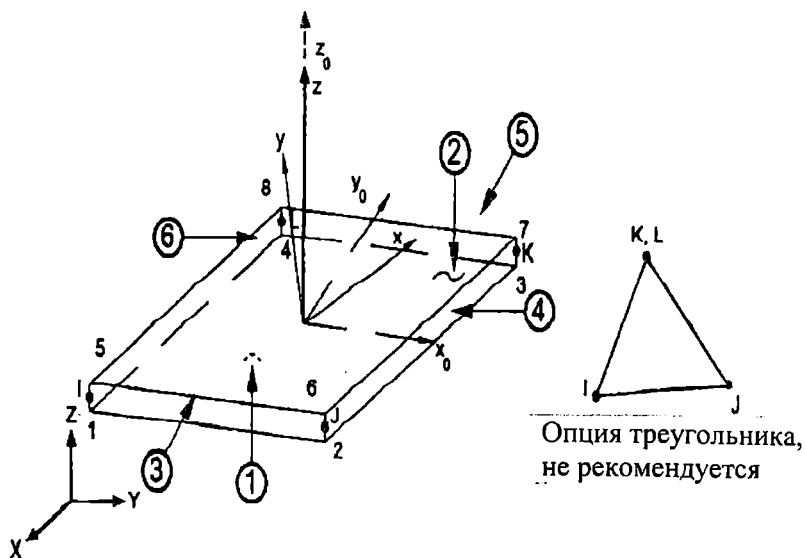


Рис. 1. Конечный элемент Shell 181

Конечно-элементная модель поперечины (рис. 2) содержит соответственно 8653 элемента и 8843 узла.

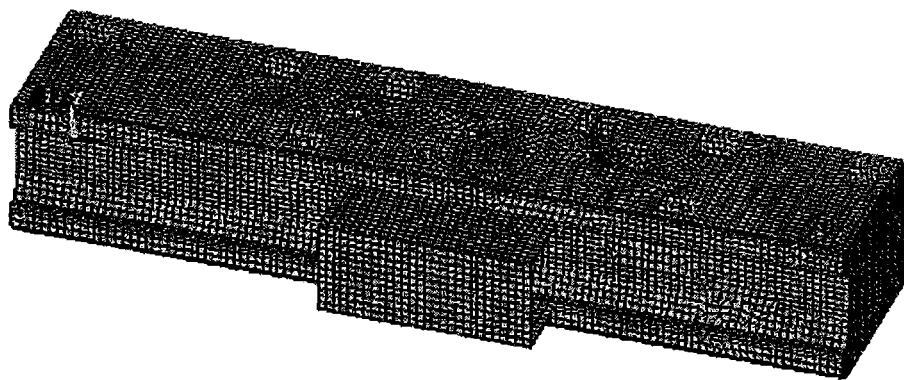


Рис. 2. Конечно-элементная модель поперечины

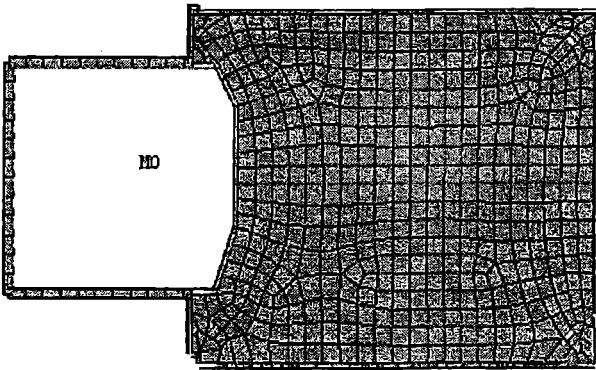
Не обошлось и без допущений при конечно-элементном методе расчета. В расчетной схеме поперечины учитывалась распределенная нагрузка, в то время как реально действующая нагрузка имеет переменную, хотя и близкую к равномерной, интенсивность.

Особенности выбора расчетной схемы:

- схематически смоделирован шпиндельный блок, где учтены основные габаритные размеры (рис. 3 а);
- интенсивность вертикальной распределенной нагрузки принята соответствующей весу шпиндельного блока; с учетом веса каретки, пинолей, проставок, шпинделей, коробки скоростей с узлами привода главного движения, механизмов отжима и зажима инструмента она составляет 50 кН.

При рассмотрении поперечины ее основание было принято закрепленным в местах соединения с каждой из двух стоек. Здесь накладывается запрет осевых смещений в направлении осей X, Y, Z, и углов поворотов φ_x , φ_y , φ_z вокруг этих осей (рис. 3 б).

а



б

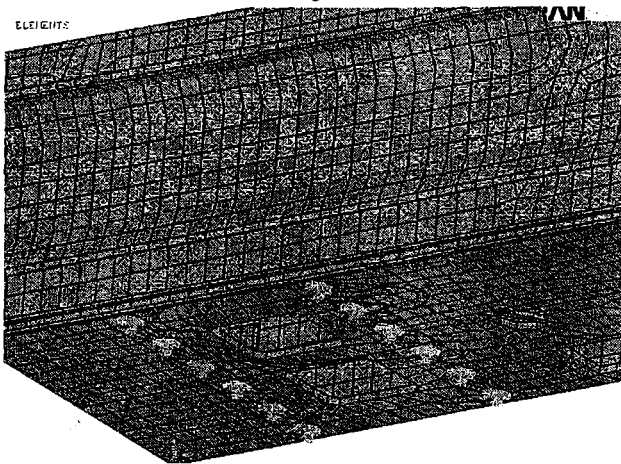


Рис. 3. Граничные условия в расчете поперечины:
а) схематизация шпиндельного блока;
б) закрепление поперечины

Конечно-элементный комплекс ANSYS позволяет не только рассматривать конструкцию в целом, но и предусматривать расчетные закрепления в любой их комбинации, оперативно изменять сочетание нагрузок, получать исчерпывающие расчетные данные по любому элементу конструкции. Сравнить полученные результаты с приближенным аналитическим расчетом можно по полученным величинам перемещений в наиболее нагруженных элементах, подтверждая или опровергая результаты приближенного расчета.

В то же время для определения некоторых регламентируемых параметров, например перемещения посередине пролета поперечины, при проведении расчета традиционным методом достаточно применить соответствующую формулу – и достигается результат, а в программе конечно-элементного анализа требуется изменить все приложенные нагрузки и повторить расчет, что более трудоемко.

Полученные в результате расчета поля перемещений (рис. 4), наглядно указывают на недостаточную жесткость поперечины посередине пролета, что дает возможность рационально усилить конструкцию внутренним оребрением.

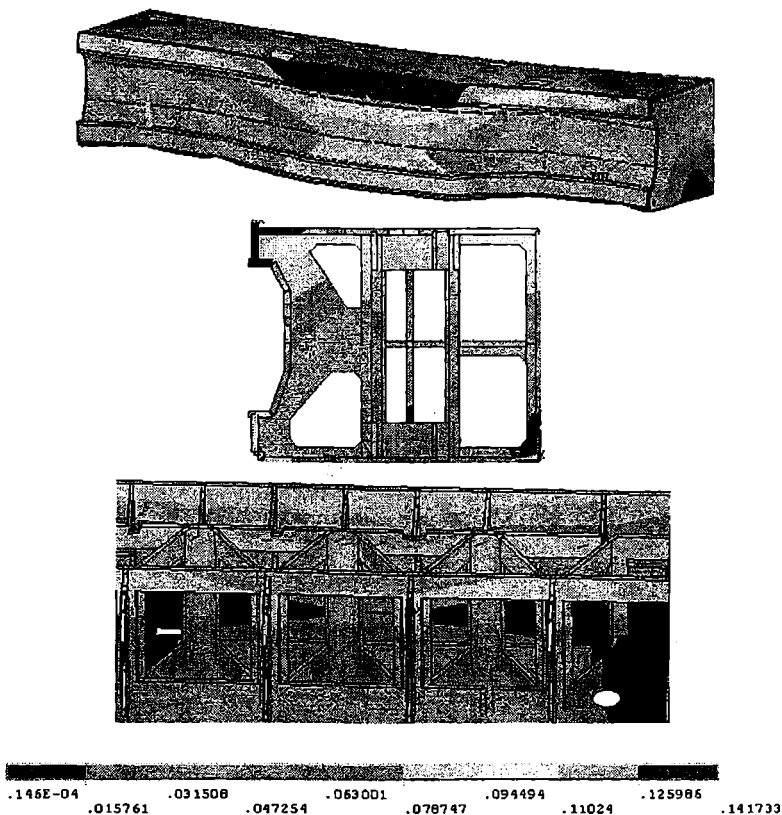


Рис. 4. Суммарные перемещения в поперечине

В таблице приведены некоторые результаты расчетов обоими методами для случая, когда шпиндельная бабка находится в среднем положении по длине поперечины, а шпиндель на среднем вылете.

Таблица

Максимальные значения перемещений в поперечине

Перемещение	ПРИБЛИЖЕННЫЙ РАСЧЕТ, мм	ANSYS, мм	Уменьшение перемещений, %
металлоконструкция поперечины в целом			
В направлении оси OX	0,0225	0,0137	39,1
В направлении оси OY	0,0323	0,0201	37,77
В направлении оси OZ	0,2441	0,151	38,14
горизонтальные грани направляющих поперечины			
В направлении оси OX	0,0052	0,0045	13,46
В направлении оси OY	0,111	0,0942	15,135
В направлении оси OZ	0,134	0,1037	22,6

Из представленных результатов видно, что при использовании приближенных методов расчета создание конструкции, отвечающей всем требованиям безопасной эксплуатации станка, достигается при больших запасах жесткости. Расчет с помощью программы ANSYS обеспечивает применение более рациональных и экономичных конструктивных решений, способствующих экономии материалов, а следовательно – снижению себестоимости изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов В.А., Дащенко А.Ф., Коломиец Л.В., Оробей В.Ф., Сурьянинов Н.Г. Численные методы в механике. Одесса: СТАНДАРТЬ, 2005. – 563 с.
2. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 568 с.
3. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. Изд. 2-е, испр. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.

Надійшла 20.10.07

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ ХЛАДАГЕНТОВ R134a/R290

По уравнению состояния смеси хладагентов R134a/R290, описывающему термодинамические свойства пара в интервале температур 255-400 К при давлениях до 6 МПа и свойства насыщенных пара и жидкости, рассчитаны таблицы значений плотности, энтальпии и энтропии для четырех составов смеси в интервалах температур 240-420 К и давлений 0,1-6 МПа. Табличные данные удовлетворительно согласуются с данными, полученными с помощью автоматизированной системы REFPROP, и могут быть использованы для расчетов холодильных установок.

Ключевые слова: смесь R134a/R290, плотность, энтальпия, энтропия.

Природные хладагенты (в частности, аммиак, пропан и изобутан) успешно применяются в холодильной технике. Они имеют нулевой потенциал разрушения озонового слоя и ничтожный потенциал глобального потепления, однако их недостатками являются взрывоопасность и горючесть. Смеси природных и фторсодержащих углеводородов имеют более низкий потенциал глобального потепления, чем фторуглеводороды, и менее горючи, чем природные хладагенты. Такой является перспективная смесь R134a/R290. Для нее нами составлено уравнение состояния [1], описывающее экспериментальные данные о плотности пара со средним квадратическим отклонением 0,14 % и опорные данные о плотности насыщенной жидкости, рассчитанных нами на основании данных для компонентов смеси, с погрешностью 0,06 %. Уравнение позволяет рассчитывать свойства перегретого пара в интервале температур от 255 до 400 К при давлениях до 6 МПа и свойства насыщенных пара и жидкости.

Уравнение состояния смеси R134a/R290, составленное по методике [2], имеет вид:

$$A = A^{id} + A^E, \quad (1)$$

где A и A^{id} – свободные энергии Гельмгольца реальной и идеальной смеси, A^E – добавка к энергии Гельмгольца от смешения. Величины A^{id} и A^E для бинарной смеси могут быть рассчитаны по выражениям

$$\frac{A^{id}}{RT} = \alpha^0(\omega, \vartheta, x) = \sum_{k=1}^2 x_k \left[\alpha_k^0(\omega, \vartheta) + \alpha_k^r(\omega, \vartheta) + \ln x_k \right], \quad (2)$$

$$\frac{A^E}{RT} = \alpha^E(\omega, \vartheta, x) = x_1 x_2 \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^r a_{ij} \omega^i \vartheta^{-j} + \exp(-\omega^2) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^s b_{ij} \omega^i \vartheta^{-j} \right], \quad (3)$$

где в выражении (2) α_k^0 и α_k^r – идеально-газовая и реально-газовая части свободной энергии Гельмгольца компонента k , x_k – мольные доли компонентов смеси. В выражении (3) a_{ij} и b_{ij} – коэффициенты функции взаимодействия, которые определяются на основании экспериментальных данных о термодинамических свойствах смеси, $\omega = v_{кр}/v$ – приведенная плотность и $\vartheta = T_{кр}/T$ – обратное значение приведенной температуры смеси. Величины $v_{кр}$ и $T_{кр}$ – это критические значения удельного объема и температуры смеси, рассчитываемые с помощью выражений:

$$v_{кр} = x_1 v_{кр1} + x_2 v_{кр2}, \quad (4)$$

$$T_{кр} = x_1 T_{кр1} + x_2 T_{кр2}, \quad (5)$$

Значения коэффициентов a_{ij} и b_{ij} функции взаимодействия (3) для смеси R134a/R290, найденные методом пошагового регрессионного анализа, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты a_{ij} и b_{ij} функции взаимодействия (3) смеси R134a/R290

		a_{ij}			b_{ij}
		$7,44692395 \cdot 10^{-1}$			$-2,46403707 \cdot 10^0$
		$-1,30015215 \cdot 10^{-1}$			$1,42046848 \cdot 10^0$
		$-1,12057011 \cdot 10^{-1}$			$2,71516524 \cdot 10^0$
		$-2,29507807 \cdot 10^{-3}$			$-2,77196367 \cdot 10^0$
		b_{ij}			$6,92805567 \cdot 10^{-1}$
		$-1,82792216 \cdot 10^{-1}$			$-1,63864283 \cdot 10^{-2}$
		$5,77442555 \cdot 10^{-1}$			

По уравнению состояния нами рассчитаны термодинамические свойства смеси R134a/R290 в однофазной области и на кривой насыщения в интервалах температур 240-420 К и давлений 0,1-6 МПа для четырех составов смеси (0,2; 0,4; 0,6; 0,8 мольной доли R134a). Значения плотности ρ , энтальпии h и энтропии s определены путем дифференцирования свободной энергии Гельмгольца с помощью выражений, полученных на основании уравнения состояния (1) и известных дифференциальных соотношений термодинамики:

$$\rho = \frac{p}{RT} \cdot \frac{1}{1 + \omega \left(\frac{\partial \alpha^r}{\partial \omega} \right)_{\vartheta, x}}, \quad (6)$$

$$\frac{h}{RT} = \frac{h^0}{RT} + \omega \cdot \left(\frac{\partial \alpha^r}{\partial \omega} \right)_{\vartheta, x} + \vartheta \cdot \left(\frac{\partial \alpha^r}{\partial \vartheta} \right)_{\omega, x}, \quad (7)$$

$$\frac{h^0}{RT} = 1 + \sum_{k=1}^2 x_k \vartheta_{0k} \frac{\partial \alpha_k^0}{\partial \vartheta_{0k}}, \quad (8)$$

$$\frac{s}{R} = \frac{s^0}{R} + \vartheta \cdot \left(\frac{\partial \alpha^r}{\partial \vartheta} \right)_{\omega, x} - \sum_{k=1}^2 x_k \alpha_k^r(\omega, \vartheta) + \alpha^E(\omega, \vartheta, x), \quad (9)$$

$$\frac{s^0}{R} = \sum_{k=1}^2 x_k \vartheta_{0k} \frac{\partial \alpha_k^0}{\partial \vartheta_{0k}} - \sum_{k=1}^2 x_k \left[\alpha_k^0(\rho, T) + \ln x_k \right]. \quad (10)$$

В уравнениях (9) и (10) α_k^0 и α_k^r – соответственно безразмерная идеально-газовая и реально-газовая энергия Гельмгольца компонента k смеси; α^E – добавка к энергии Гельмгольца от смешения, которая имеет форму (3). Выражение для α_k^r имеет следующий вид:

$$\alpha_k^r = \sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^r a_{ij} \omega^i \vartheta^j + \exp(-\omega^2) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^s b_{ij} \omega^i \vartheta^j, \quad (11)$$

где a_{ij} и b_{ij} – коэффициенты полиномиальной и экспоненциальной части уравнения состояния чистого компонента. Нами использованы для R134a уравнение состояния [3], а для R290 уравнение [4].

Идеально-газовая часть свободной энергии Гельмгольца для пропана рассчитывается на основе уравнения для теплоемкости c_{p0} идеального газа и значений энтальпии и энтропии в выбранной точке с параметрами p_0 и T_0 :

$$\alpha^0 = \frac{h(T_0)\vartheta}{RT_{кр}} - \frac{s(\rho_0, T_0)}{R} - 1 + \ln\left(\frac{\vartheta_0}{\vartheta}\right) - \frac{\vartheta}{R\vartheta_0} \int \frac{c_{p0}}{\vartheta^2} d\vartheta + \frac{1}{R\vartheta_0} \int \frac{c_{p0}}{\vartheta} d\vartheta, \quad (12)$$

С учетом выражения для теплоемкости c_{p0} пропана, полученного в [4], интегралы, которые присутствуют в выражении (12), запишутся следующим образом:

$$\int_{\vartheta_0}^{\vartheta} \frac{c_{p0}}{\vartheta^2} d\vartheta = \sum_{i=1}^{10} \frac{a_i T_{кр}^{i-1}}{100^{i-1}} \left(\frac{1}{i\vartheta_0^i} - \frac{1}{i\vartheta^i} \right), \quad (13)$$

$$\int_{\vartheta_0}^{\vartheta} \frac{c_{p0}}{\vartheta} d\vartheta = a_1 (\ln \vartheta - \ln \vartheta_0) + \sum_{i=2}^{10} \frac{a_i T_{кр}^{i-1}}{100^{i-1}} \left(\frac{1}{(i-1)\vartheta_0^{i-1}} - \frac{1}{(i-1)\vartheta^{i-1}} \right), \quad (14)$$

где ϑ_0 – обратное значение приведенной температуры в точке начала отсчета ($T_0 = 273,15$ К);

a_i – коэффициенты, значения которых приведены в таблице 2.

В качестве начала отсчета для энтальпии и энтропии принята точка на линии насыщенной жидкости при $T_0 = 273,15$ К. Значения констант $h(T_0)$ и $s(\rho_0, T_0)$ в выражении (14) равны соответственно 593,548 кДж/кг и 1,6575 кДж/(кг·К). Они были определены из условия, чтобы энтальпия и энтропия насыщенной жидкости при данной температуре T_0 были равны 200 кДж/кг и 1 кДж/(кг·К), как принято в большинстве существующих таблиц свойств хладагентов.

Выражение для идеально-газовой части свободной энергии Гельмгольца компонента R134a получено в [3]. Оно имеет безразмерную форму и записывается в виде:

$$\alpha^0 = \ln \omega + a_1 + a_2 \vartheta + a_3 \ln \vartheta + \sum_{i=4}^5 a_i \vartheta^{n_i}. \quad (15)$$

Коэффициенты a_1, a_2, a_3 выражения (15), определяющие числовые значения энтальпии и энтропии при температуре $T_0 = 273,15$ К в точке начала отсчета, как и для пропана, приняты таким образом, что энтальпия и энтропия насыщенной жидкости в этой точке имеют значения 200 кДж/кг и 1 кДж/(кг·К). Часть выражения (15), которая находится под знаком суммы, относится к температурной функции идеально-газовой теплоемкости. Коэффициенты a_i выражения (15) также приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов a_i и n_i в выражениях (13) – (15).

R290				R134a		
i	a_i	i	a_i	i	a_i	n_i
1	$0,8929236 \cdot 10^0$	6	$-0,3613520 \cdot 10^0$	1	$-1,0195345$	—
2	$-0,1034171 \cdot 10^1$	7	$0,6889628 \cdot 10^{-1}$	2	$9,0471354$	—
3	$0,2457288 \cdot 10^1$	8	$-0,7903528 \cdot 10^{-2}$	3	$-1,6297890$	—
4	$-0,2242043 \cdot 10^1$	9	$0,5008473 \cdot 10^{-3}$	4	$-9,7239160$	$-0,5$
5	$0,1162396 \cdot 10^1$	10	$-0,1346702 \cdot 10^{-4}$	5	$-3,9271700$	$-0,75$

В таблицах 3-7 приведены рассчитанные значения давления насыщенных жидкости и пара p_s' и p_s'' (МПа) и значения плотности ρ (кг/м³), энтальпии h (кДж/кг) и энтропии s (кДж/кг·К) в состоянии насыщения и однофазной области для четырех составов смеси R134a/R290.

Таблица 3

Термодинамические свойства смеси R134a/R290
в состоянии насыщения

T , К	p' , МПа	p'' , МПа	ρ' , кг/м ³	ρ'' , кг/м ³	h' , кДж/кг	h'' , кДж/кг	s' , кДж/кг·К	s'' , кДж/кг·К
$x_{R134a} = 0,2$								
240	0,178	0,171	728,5	5,076	123,8	454,4	0,702	2,232
250	0,265	0,252	712,8	7,339	147,9	463,4	0,801	2,203
260	0,378	0,359	696,7	10,29	170,9	472,2	0,891	2,180
270	0,522	0,497	680,1	14,08	193,1	480,8	0,975	2,160
280	0,703	0,670	662,8	18,88	214,9	489,2	1,054	2,143
290	0,924	0,883	644,6	24,91	236,8	497,2	1,130	2,128
300	1,191	1,143	625,2	32,46	258,8	504,8	1,204	2,115
310	1,510	1,455	604,2	41,94	281,3	511,8	1,277	2,103
320	1,888	1,826	581,1	53,93	304,7	517,9	1,351	2,090
330	2,331	2,264	555,1	69,43	329,2	522,6	1,425	2,075
340	2,850	2,778	524,8	90,36	355,5	525,0	1,502	2,055
350	3,457	3,383	487,9	121,8	384,3	522,7	1,584	2,022
$x_{R134a} = 0,4$								
240	0,180	0,163	890,3	5,883	129,5	410,7	0,722	2,152
250	0,268	0,254	870,9	9,023	152,5	417,7	0,817	2,109
260	0,384	0,375	851,0	13,17	173,8	424,5	0,901	2,074
270	0,533	0,527	830,6	18,42	193,8	431,2	0,977	2,045
280	0,720	0,716	809,5	24,99	213,2	437,7	1,048	2,022
290	0,949	0,948	787,2	33,23	232,2	444,0	1,115	2,002

300	1,229	1,228	763,6	43,54	251,1	449,9	1,179	1,984
310	1,563	1,563	738,2	56,50	270,3	455,3	1,243	1,967
320	1,961	1,961	710,1	73,01	290,0	459,9	1,305	1,949
330	2,431	2,431	678,4	94,65	310,6	463,3	1,369	1,929
340	2,985	2,983	641,3	125,1	332,7	464,0	1,435	1,902
350	3,644	3,642	596,3	177,0	356,9	457,9	1,506	1,854
$x_{R134a} = 0,6$								
240	0,178	0,117	1057	4,846	137,1	389,7	0,751	2,171
250	0,264	0,185	1033	7,536	157,6	396,5	0,836	2,125
260	0,376	0,282	1009	11,28	176,6	403,1	0,911	2,085
270	0,520	0,412	985,0	16,35	194,5	409,4	0,980	2,049
280	0,700	0,583	959,7	23,05	211,8	415,3	1,043	2,017
290	0,922	0,799	933,4	31,76	228,6	420,8	1,103	1,988
300	1,192	1,068	905,4	42,96	245,4	425,8	1,161	1,961
310	1,517	1,397	875,4	57,31	262,4	430,4	1,218	1,936
320	1,905	1,791	842,4	75,78	279,8	434,2	1,274	1,912
330	2,364	2,260	805,2	100,1	298	436,9	1,331	1,886
340	2,906	2,816	762,0	133,8	317,3	437,5	1,390	1,855
350	3,553	3,480	709,8	189,2	338,4	433,1	1,453	1,808
$x_{R134a} = 0,8$								
240	0,162	0,090	1 227	4,226	146,2	380,1	0,785	2,198
250	0,239	0,143	1 200	6,568	163,3	386,7	0,856	2,152
260	0,339	0,218	1 172	9,835	179,5	393,1	0,921	2,111
270	0,466	0,321	1 143	14,27	195,1	399,3	0,982	2,074
280	0,625	0,458	1 114	20,18	210,5	405,3	1,039	2,041
290	0,822	0,635	1 083	27,92	225,7	410,9	1,094	2,011
300	1,062	0,859	1 051	37,97	241,0	416,1	1,147	1,983
310	1,353	1,137	1 016	50,95	256,5	420,8	1,199	1,956
320	1,701	1,478	978,3	67,78	272,4	424,8	1,252	1,929
330	2,115	1,891	936,0	89,84	289,0	427,9	1,305	1,902
340	2,605	2,386	887,3	119,7	306,5	429,7	1,359	1,872
350	3,184	2,980	828,9	163,0	325,5	429,0	1,417	1,835

В связи с отсутствием в научной литературе таблиц термодинамических свойств смеси R134a/R290 мы сравнили рассчитанные значения давления, плотности, энтальпии и энтропии с данными, полученными с помощью автоматизированной системы REFPROP (версия 7.0) [5], предназначенной для расчета свойств хладагентов и их смесей.

Сравнение показало, что отклонения значений давления насыщенного пара, полученных с помощью системы REFPROP, от рассчитанных нами ($\delta p'' = [(p''_{RP} - p''_{табл})/p''_{табл}] \cdot 100, \%$) не превышают 2 %, а примерно для 2/3 точек лежат в пределах $\pm 1 \%$.

*Термодинамические свойства смеси R134a/R290 (0,2/0,8)
в однофазной области*

Т, К	p = 0,1 МПа			p = 0,2 МПа			p = 0,4 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	2,894	458,2	2,340	728,5	123,8	0,702	728,8	123,9	0,701
260	2,645	483,2	2,443	5,445	479,2	2,306	696,8	170,9	0,891
280	2,44	509,3	2,542	4,986	506,2	2,409	10,45	499,5	2,266
300	2,268	536,5	2,638	4,610	534,0	2,507	9,549	528,8	2,369
320	2,119	565,0	2,732	4,294	563,0	2,603	8,825	558,7	2,468
340	1,990	594,8	2,824	4,022	593,1	2,696	8,221	589,6	2,564
360	1,876	626	2,915	3,785	624,5	2,788	7,705	621,5	2,657
380	1,775	658,5	3,004	3,576	657,2	2,878	7,257	654,5	2,748
400	1,684	692,3	3,093	3,389	691,2	2,966	6,863	688,8	2,838
420	1,603	727,5	3,180	3,222	726,4	3,054	6,512	724,3	2,926
Т, К	p = 0,6 МПа			p = 0,8 МПа			p = 1 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	729,2	124,1	0,701	729,5	124,2	0,700	729,8	124,3	0,700
260	697,2	171,0	0,890	697,6	171,1	0,889	698,0	171,2	0,889
280	16,56	492,1	2,171	663,1	215,0	1,053	663,6	215,1	1,053
300	14,89	523,2	2,282	20,74	517,1	2,214	27,25	510,3	2,155
320	13,63	554,3	2,385	18,76	549,5	2,321	24,28	544,4	2,269
340	12,62	585,9	2,483	17,24	582,0	2,422	22,11	578	2,373
360	11,77	618,3	2,578	16,00	615,1	2,519	20,41	611,7	2,472
380	11,05	651,8	2,670	14,97	649,0	2,613	19,02	646,2	2,567
400	10,42	686,4	2,760	14,08	684,0	2,704	17,84	681,5	2,659
420	9,872	722,2	2,849	13,31	720,0	2,794	16,82	717,8	2,750
Т, К	p = 2 МПа			p = 4 МПа			p = 6 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	731,4	125,0	0,697	734,5	126,4	0,691	737,5	127,8	0,685
260	700,0	171,8	0,885	703,9	173,0	0,879	707,6	174,2	0,872
280	666,2	215,4	1,048	671,3	216,2	1,040	676,0	217,2	1,033
300	628,2	258,8	1,200	635,3	259,0	1,189	641,7	259,4	1,180
320	581,8	304,6	1,350	593,2	303,4	1,335	602,8	302,7	1,322
340	52,08	553,9	2,190	538,1	352,6	1,487	555,3	349,4	1,466
360	45,94	592,9	2,305	158,8	520,6	1,996	489,3	403,4	1,624
380	41,63	630,6	2,410	108,7	588,5	2,192	322,3	493,2	1,878
400	38,32	668,1	2,509	91,91	635,9	2,318	182,0	589,4	2,143
420	35,65	706,1	2,604	81,63	679,6	2,428	145,3	646,8	2,289

*Термодинамические свойства смеси R134a/R290 (0,4/0,6)
в однофазной области*

Т, К	p = 0,1 МПа			p = 0,2 МПа			p = 0,4 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	3,506	414,0	2,249	890,4	129,5	0,722	890,7	129,6	0,722
260	3,201	435,7	2,340	6,600	432,0	2,208	851,1	173,8	0,901
280	2,951	458,1	2,427	6,034	455,3	2,299	12,67	449,3	2,160
300	2,741	481,4	2,511	5,575	479,2	2,385	11,56	474,5	2,252
320	2,561	505,7	2,593	5,190	503,9	2,468	10,67	500,2	2,338
340	2,404	531,0	2,673	4,860	529,5	2,549	9,935	526,4	2,422
360	2,267	557,5	2,751	4,572	556,2	2,628	9,309	553,5	2,502
380	2,144	584,9	2,828	4,319	583,8	2,706	8,765	581,5	2,581
400	2,035	613,5	2,904	4,094	612,5	2,782	8,288	610,5	2,658
420	1,936	643,1	2,979	3,892	642,2	2,857	7,864	640,4	2,733
Т, К	p = 0,6 МПа			p = 0,8 МПа			p = 1 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	891,1	129,7	0,721	891,5	129,8	0,721	891,9	130,0	0,72
260	851,6	173,9	0,900	852,0	174,0	0,900	852,5	174,1	0,899
280	20,13	442,4	2,068	809,7	213,2	1,048	810,3	213,3	1,047
300	18,04	469,6	2,167	25,14	464,1	2,101	33,07	458,0	2,045
320	16,49	496,2	2,258	22,7	492,1	2,197	29,37	487,7	2,146
340	15,25	523,2	2,343	20,83	519,9	2,285	26,72	516,4	2,238
360	14,22	550,8	2,426	19,33	548,1	2,369	24,65	545,2	2,324
380	13,35	579,2	2,506	18,07	576,8	2,451	22,95	574,4	2,407
400	12,59	608,4	2,583	17,00	606,4	2,529	21,52	604,3	2,486
420	11,92	638,6	2,660	16,06	636,7	2,606	20,29	634,9	2,564
Т, К	p = 2 МПа			p = 4 МПа			p = 6 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	893,9	130,5	0,718	897,6	131,6	0,713	901,3	132,7	0,708
260	854,9	174,5	0,896	859,6	175,4	0,891	864,0	176,4	0,885
280	813,5	213,6	1,044	819,4	214,2	1,037	825,1	215,0	1,030
300	767,1	251,1	1,176	775,4	251,2	1,167	783,0	251,6	1,159
320	710,4	290,0	1,305	723,7	288,9	1,292	735,1	288,4	1,281
340	62,57	496,3	2,065	655,1	330,5	1,423	676,0	327,7	1,405
360	55,25	529,5	2,166	172,9	477,3	1,904	590,9	373,9	1,543
380	50,10	561,4	2,257	127,9	528,2	2,057	315,1	467,3	1,825
400	46,13	593,2	2,343	109,3	567,4	2,166	208,8	532,5	2,013
420	42,92	625,2	2,425	97,52	603,8	2,26	170,7	578,4	2,135

*Термодинамические свойства смеси R134a/R290 (0,6/0,4)
в однофазной области*

Т, К	p = 0,1 МПа			p = 0,2 МПа			p = 0,4 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	4,123	390,5	2,200	1057	137,1	0,751	1057	137,2	0,750
260	3,759	409,7	2,283	7,770	406,3	2,154	1009	176,6	0,911
280	3,464	429,5	2,362	7,093	426,9	2,236	14,95	421,3	2,101
300	3,216	450,0	2,437	6,547	448,0	2,314	13,60	443,7	2,184
320	3,004	471,3	2,510	6,092	469,7	2,389	12,54	466,2	2,262
340	2,820	493,5	2,581	5,702	492,1	2,461	11,67	489,3	2,336
360	2,658	516,6	2,651	5,363	515,4	2,531	10,93	513,0	2,408
380	2,514	540,5	2,719	5,065	539,5	2,600	10,28	537,4	2,478
400	2,385	565,3	2,786	4,800	564,4	2,667	9,720	562,6	2,546
420	2,270	591,0	2,852	4,563	590,2	2,733	9,221	588,6	2,613
Т, К	p = 0,6 МПа			p = 0,8 МПа			p = 1 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	1058	137,3	0,750	1058	137,4	0,749	1058	137,5	0,749
260	1010	176,7	0,910	1011	176,8	0,91	1011	176,8	0,909
280	26,98	384,8	1,871	960,1	211,8	1,043	960,9	211,8	1,042
300	21,29	439,1	2,101	29,77	433,9	2,037	39,35	428,1	1,980
320	19,41	462,6	2,183	26,77	458,8	2,124	34,71	454,8	2,074
340	17,93	486,4	2,260	24,52	483,3	2,203	31,48	480,1	2,157
360	16,70	510,5	2,334	22,72	508	2,279	28,99	505,4	2,235
380	15,67	535,3	2,405	21,22	533,2	2,351	26,96	531,0	2,308
400	14,77	560,8	2,474	19,95	558,9	2,421	25,26	557,0	2,379
420	13,98	587,0	2,541	18,84	585,3	2,489	23,81	583,7	2,448
Т, К	p = 2 МПа			p = 4 МПа			p = 6 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	1061	137,9	0,747	1065	138,8	0,742	1070	139,8	0,738
260	1014	177,2	0,907	1019	178	0,902	1025	178,8	0,897
280	964,5	212,1	1,039	971,4	212,6	1,033	978,0	213,2	1,028
300	909,5	245,5	1,158	919,1	245,6	1,151	927,9	245,9	1,144
320	843,2	279,8	1,274	858,3	279,0	1,263	871,3	278,5	1,253
340	74,43	461,5	1,987	778,4	315,5	1,379	801,9	313,2	1,363
360	65,30	491,0	2,080	215,2	440,8	1,815	703,0	353,5	1,487
380	59,02	519,2	2,163	152,3	489,0	1,967	388,8	432,8	1,737
400	54,24	547,0	2,239	129,2	523,8	2,067	248,4	492,7	1,919
420	50,40	575,0	2,312	114,8	555,9	2,153	201,6	533,3	2,032

*Термодинамические свойства смеси R134a/R290 (0,8/0,2)
в однофазной области*

Т, К	p = 0,1 МПа			p = 0,2 МПа			p = 0,4 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	11,24	284,2	1,367	1227	146,2	0,785	1227	146,3	0,785
260	4,321	397,1	2,254	8,959	393,8	2,127	1172	179,5	0,921
280	3,979	414,9	2,326	8,165	412,4	2,203	17,30	407,0	2,07
300	3,693	433,3	2,395	7,530	431,3	2,275	15,70	427,3	2,147
320	3,449	452,4	2,462	7,001	450,8	2,343	14,45	447,5	2,218
340	3,236	472,2	2,527	6,550	470,9	2,409	13,43	468,2	2,286
360	3,050	492,8	2,590	6,158	491,6	2,472	12,56	489,4	2,352
380	2,885	514,1	2,652	5,814	513,1	2,535	11,82	511,1	2,415
400	2,737	536,1	2,712	5,509	535,3	2,595	11,16	533,5	2,477
420	2,604	558,9	2,771	5,236	558,1	2,655	10,59	556,6	2,537
Т, К	p = 0,6 МПа			p = 0,8 МПа			p = 1 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	1228	146,4	0,784	1228	146,5	0,784	1229	146,6	0,784
260	1173	179,6	0,921	1173	179,6	0,920	1174	179,7	0,920
280	155,4	238,5	1,178	1115	210,5	1,038	1116	210,6	1,038
300	24,68	422,8	2,065	34,75	417,7	2,000	115,0	294,4	1,402
320	22,43	444,1	2,141	31,04	440,4	2,081	40,45	436,4	2,032
340	20,67	465,4	2,211	28,34	462,4	2,155	36,49	459,4	2,109
360	19,23	487,0	2,278	26,20	484,6	2,224	33,50	482,1	2,180
380	18,02	509,1	2,343	24,44	507,1	2,290	31,09	504,9	2,248
400	16,97	531,8	2,405	22,95	530,0	2,353	29,09	528,2	2,312
420	16,06	555,0	2,466	21,65	553,5	2,415	27,38	551,9	2,374
Т, К	p = 2 МПа			p = 4 МПа			p = 6 МПа		
	ρ	h	s	ρ	h	s	ρ	h	s
240	1231	146,9	0,782	1236	147,7	0,778	1241	148,5	0,774
260	1177	180,0	0,918	1183	180,7	0,913	1189	181,4	0,909
280	1120	210,8	1,035	1127	211,3	1,030	1135	211,8	1,025
300	1056	241,0	1,144	1067	241,1	1,137	1077	241,4	1,131
320	981,0	272,3	1,250	997,5	271,7	1,241	1012	271,4	1,232
340	88,79	440,4	1,936	909,3	304,8	1,348	933,9	303,1	1,334
360	76,58	467,9	2,026	761,8	346,0	1,478	828,1	338,9	1,446
380	68,67	493,5	2,103	186,6	462,1	1,899	622,4	389,0	1,602
400	62,83	518,6	2,174	153,3	495,4	1,999	311,7	462,4	1,841
420	58,22	543,6	2,241	134,5	525,0	2,081	241,7	502,3	1,958

Различия между значениями давления насыщенной жидкости несколько выше и достигают – 2,5 %. Отклонения значений плотности насыщенных пара и жидкости более чем в половине точек не превышают ± 3 %, но с приближением к критической области возрастают и достигают 14 % для пара и – 20 % для жидкости (при содержании R134a 0,4 мольные доли). Рост отклонений можно объяснить не только снижением точности аналитического уравнения состояния в критической области, но и погрешностью данных REFPROP, полученных для малоисследованных смесей с помощью обобщенного выражения для функции взаимодействия [6], имеющего ограниченную точность. Большинству точек, в которых наблюдаются значительные расхождения с данными REFPROP, соответствуют гораздо меньшие расхождения с опытными и опорными данными.

Отклонения для энтальпии насыщенного пара ($\Delta h'' = h''_{RP} - h''_{табл.}$) принимают значения от $\pm 0,4$ до ± 7 кДж/кг, а рассчитанные по REFPROP значения энтальпии насыщенной жидкости отличаются от полученных нами в пределах от $\pm 0,3$ до ± 21 кДж/кг. Рассчитанные значения энтропии насыщенной жидкости согласуются с данными REFPROP в пределах от $\pm 0,001$ кДж/(кг·К) до $\pm 0,053$ кДж/(кг·К). Расхождения между значениями энтропии насыщенного пара ($\Delta s'' = s''_{RP} - s''_{табл.}$) больше, чем для насыщенной жидкости, и лежат в пределах (-0,06)-(-0,41) кДж/(кг·К), возрастая с понижением температуры.

Рассчитанные с помощью системы REFPROP значения плотности пара на докритических изобарах, а также на сверхкритических изобарах при высоких температурах (в экспериментально исследованной области) согласуются с рассчитанными нами в большинстве точек в пределах $\pm 0,3$ %. Сравнимые значения плотности жидкости, для которой отсутствуют экспериментальные данные, более существенно отличаются между собой (до – 15 %). Значения энтальпии пара по REFPROP отличаются от рассчитанных нами на 0,4-5,6 кДж/кг. Для жидкости наблюдается рост значений Δh по сравнению с паром (до 12,4 кДж/кг при минимальной температуре 240 К и в критической области). Расхождения между значениями энтропии жидкости, полученными с помощью системы REFPROP и нами, не превышают – 0,155 кДж/(кг·К). В области пара расхождения возрастают и лежат в интервале от – 0,15 до – 0,44 кДж/(кг·К).

На основании сравнения рассчитанных данных с полученными с помощью системы REFPROP можно заключить, что представленные в таблицах 3-7 значения термодинамических свойств смеси R134a/R290 имеют приемлемую точность и могут быть использованы для расчетов холодильных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вассерман А. А., Мальчевский В. П. Уравнение состояния для смесей хладагентов R134a/R290 // Проблемы техники. – 2006. – № 1. – С. 66-73.
2. Lemmon E. W., Jacobsen R. T. A generalized model for the thermodynamic properties of mixtures // *Int. J. of Thermophys.* – 1999. – V. 20. – No. 3. – P. 825-835.
3. R. Tillner-Roth, A. Yokozeki, H. Sato, and K. Watanabe / *Thermodynamic Properties of Pure and Blended Hydrofluorocarbon (HFC) Refrigerants.* – Japan Soc. of Refr. and Air Condit. Engineers. – Tokyo. – 1998.
4. Термодинамические свойства пропана / В.В. Сычёв, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов, В.А. Цымарный. – М.: Изд. Стандартов, 1989. – 268 с.
5. Lemmon E.W., McLinden M.O., and Huber M.L. REFPROP, *Thermodynamic and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures. Standard Reference Database 23 –Version 7.0, NIST, USA, 2002.*
6. McLinden M.O., Lemmon E.W., Huber M. L. *The REFPROP database for the thermophysical properties of refrigerants // International Congress of Refrigeration.* – D. C. Washington (USA). – 2003. – P. 1-8.

Надійшла 02.11.07

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ВОЗДУХООБРАБОТКИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ СКВ

На основе исследования статических свойств агрегатов центральной системы кондиционирования воздуха (СКВ) разработаны математические модели нестационарных режимов ее работы. Полученные результаты позволяют обоснованно подходить к проектированию и эксплуатации средств автоматизации СКВ.

***Ключевые слова:** кондиционирование, статика, динамическая модель, передаточные функции, переходные характеристики*

В настоящее время в общем объеме капитального строительства СКВ занимают все больший процент. Эксплуатационные расходы на СКВ постоянно растут. В этих условиях создание экономичных и надежных автоматизированных установок кондиционирования воздуха – актуальная задача, решение которой существенно зависит от правильного расчета системы автоматического управления (САУ). Исследования и практика работы САУ центральных СКВ, построенных на устройствах, не учитывающих особенностей кондиционеров как объектов регулирования показывают, что они неработоспособны в диапазоне нагрузок 0-30% из-за нарушения устойчивости или ухудшения точности регулирования [1; 2]. Разработка САУ СКВ, в свою очередь, невозможна без достоверного описания нестационарных режимов работы ее технологического оборудования, формализованного представления технологических процессов в виде математических моделей. Критическое изучение с этих позиций схем регулирования еще на стадии проектирования САУ уменьшает технико-экономические расходы на аппаратуру контроля и регулирования. Одним из шагов по решению задачи автоматизации СКВ является разработка математических моделей динамики центральной СКВ в различных режимах ее работы при круглогодичной обработке воздуха. Такие режимы работы СКВ обеспечиваются структурой, реализуемой совокупностью оборудования, состоящего из смесительной камеры, электровентилятора, воздухонагревателя (воздухоохладителя) и увлажнителя воздуха. Зная динамические характеристики отдельных элементов СКВ, можно определить динамические характеристики всей системы. При проведении исследований в качестве объекта была выбрана центральная СКВ на базе судового центрального кондиционера КВ 63/25. (АООТ «Экватор»).

Составим представление о физической картине переходного процесса, т.е. изменения температуры и относительной влажности воздуха на выходе СКВ при скачкообразном возмущении параметров на ее входе. Нахождение передаточной функции всей СКВ как объекта управления производится по правилам определения суммарной передаточной функции при различном соединении звеньев. Динамические свойства судовой центральной СКВ, работающей в «летнем» режиме, по каналам изменения температуры и относительной влажности в процессе воздухообработки могут быть описаны следующей системой уравнений:

$$\Delta t_0(p) = W_1(p) \cdot \Delta t_{H.B} + W_2(p) \Delta t_{y.B} - W_3(p) \cdot \Delta G_B(p) + \\ + W_4(p) \cdot \Delta t_{w1}(p) - W_5(p) \cdot \Delta G_w(p);$$

$$\Delta \varphi_0(p) = W_6(p) \cdot \Delta \varphi_{H.B}(p) + W_7(p) \cdot \varphi_{y.B}(p) - W_8(p) \cdot \Delta t_{H.B}(p) + \\ + W_9(p) \cdot \Delta t_{y.B}(p) - W_{10}(p) \cdot \Delta G_B(p) + W_{11}(p) \cdot \Delta t_{w1}(p) - W_{12}(p) \cdot \Delta G_w(p), \quad (1)$$

где
$$W_1(p) = W_{C.1}(p) \cdot W_{ЭВ}(p) \cdot W_{O.1}(p);$$

$$W_2(p) = W_{C.2}(p) \cdot W_{ЭВ}(p) \cdot W_{O.1}(p);$$

$$W_3(p) = W_{0.2}(p); \quad W_4(p) = W_{0.3}(p); \quad W_5(p) = \Delta G_w(p);$$

$$W_6(p) = W_{C.4}(p) \cdot W_{O.5}(p);$$

$$W_7(p) = W_{C.5}(p) \cdot W_{O.5}(p);$$

$$W_8(p) = [W_{C.1}(p) \cdot W_{C.3}(p) \cdot W_{O.5}(p) + W_{C.1}(p) \cdot W_{O.9}(p) - W_{C.1}(p) \cdot W_{ЭВ}(p) \cdot W_{O.1}(p) \cdot W_{O.10}(p)];$$

$$W_9(p) = [W_{C.2}(p) \cdot W_{C.3}(p) \cdot W_{O.5}(p) + W_{C.2}(p) \cdot W_{O.9}(p) + W_{C.2}(p) \cdot W_{ЭВ}(p) \cdot W_{O.1}(p) \cdot W_{O.10}(p)];$$

$$W_{10}(p) = W_{0.2}(p) \cdot W_{O.10}(p) + W_{O.6}(p); \quad W_{11}(p) = W_{0.3}(p) \cdot W_{O.10}(p) - W_{O.7}(p);$$

$$W_{12}(p) = W_{0.4}(p) \cdot W_{O.10}(p) + W_{O.8}(p);$$

$\Delta t_{H.B}$, $\Delta t_{y.B}$, $\Delta \varphi_{H.B}$, $\Delta \varphi_{y.B}$ – приращения температуры и относительной влажности наружного воздуха и воздуха из помещений;

ΔG_B , ΔG_w – приращения массовых расходов воздуха и рассола;

$\Delta t_{w.1}$ – приращения температуры рассола на входе в воздухоохладитель;

$W_{c.1}(p)$, $W_{c.2}(p)$, $W_{c.4}(p)$, $W_{c.5}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий по температуре и относительной влажности воздуха в смесительной камере;

$W_{c.3}(p)$ – передаточная функция, учитывающая связность параметров воздуха, а именно, зависимость изменения относительной влажности смешанного воздуха от изменения его температуры в смесительной камере;

$W_{эв}(p)$ – передаточная функция электровентилятора;

$W_{0.1}(p) \dots W_{0.4}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий для воздухоохладителя по температуре;

$W_{0.5}(p) \dots W_{0.8}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий для воздухоохладителя по относительной влажности;

$W_{0.9}(p)$ и $W_{0.10}(p)$ – передаточные функции, учитывающие связность параметров воздуха в воздухоохладителе.

Уравнения (1), записанные в операторной форме, представляют собой уравнения динамической модели центральной СКВ. Модель системы в стационарном состоянии определяется из системы уравнений, приравниванием оператора P нулю. Разработанной модели динамики судовой СКВ (1), как объекта автоматизации соответствует структурная схема, приведенная на рис. 1.

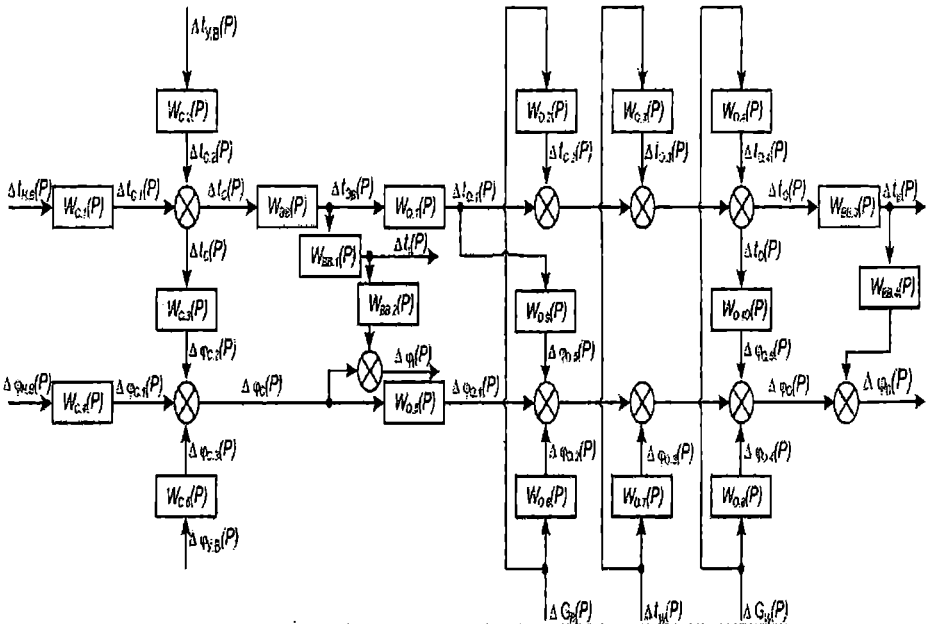


Рис. 1. Структурная схема центральной СКВ как объекта автоматизации в «летнем» режиме работы

В модели СКВ (1) используются динамические характеристики смесительной камеры, электровентилятора и воздухоохладителя. Возмущения воздействуют на камеру как со стороны наружного воздуха при изменениях температуры $\Delta t_{н.в}$ и относительной влажности $\Delta \phi_{н.в}$, так и рециркуляционного воздуха при изменениях температуры $\Delta t_{у.в}$ и относительной влажности $\Delta \phi_{у.в}$. Для получения системы уравнений (1) использовались уравнения теплового и материального балансов, описывающих процессы смешения в статике, а также преобразования Лапласа. Входящие в систему уравнений (1) передаточные функции $W_{с.1}(p)$, $W_{с.2}(p)$, $W_{с.3}(p)$, $W_{с.4}(p)$ и $W_{с.5}(p)$ представляют собой усилительные звенья, характеризуемые рассчитанными коэффициентами передачи.

Один из основных типов теплообменников аппаратов, применяемых в судовых центральных СКВ это поверхностные воздухоохладители. Их характеристики определяют процессы тепловлажностной обработки воздуха в кондиционере, существенно влияют на выбор управляющих воздействий и на качество переходных процессов в САУ. Динамические характеристики теплообменника зависят от схемы направления потоков, от конструкции оребренной поверхности, от распределения температур вдоль направления потока среды и многих других факторов. Динамика теплообменного аппарата описывается в общем случае нелинейной системой дифференциальных уравнений в частных производных. Решение таких уравнений приводит к получению трансцендентных передаточных функций, использование которых в инженерной практике автоматического регулирования затруднительно. Поэтому при расчетах процессов в системе регулирования целесообразно в первом приближении использовать упрощенную модель объекта регулирования. Приближенные методы определения динамических характеристик теплообменных аппаратов, рассматриваемых как звенья САУ с сосредоточенными параметрами, позволяют получить решения с точностью достаточной для сосредоточенной модели.

В воздухоохладителе возмущающими воздействиями являются температура и относительная влажность воздуха на входе и $\Delta t_{эв}$ и $\Delta \phi_{с}$, расход воздуха $\Delta G_{в}$, температура рассола Δt_{w} . Управляющими воздействиями могут быть расход рассола ΔG_{w} или температура рассола Δt_{w1} на входе. При определении передаточных функций $W_{0.1}(p) \dots W_{0.4}(p)$, входящих в систему уравнений (1) и характеризующих динамические характеристики теплообменного аппарата, использовались уравнения теплового баланса и теплопередачи, описывающих статику воздухоохладителя. На основе уравнения теплового баланса, полученного с учетом приращений переменных и взятых в области их возможных значений, для установившегося режима использовалась следующая система уравнений:

$$\frac{\alpha_H \cdot F_T \cdot M_T}{G_B} \cdot \frac{\Delta t_0}{\Delta \tau} = k_0 \cdot F_T \cdot \left(\frac{\Delta t_{эс} - \Delta t_0}{2} - \frac{\Delta t_{w1} + \Delta t_{w2}}{2} \right) - G_w \cdot c_w \cdot (\Delta t_{w2} - \Delta t_{w1});$$

$$T_0 \cdot \frac{\Delta t_0}{\Delta \tau} = k \cdot (\Delta G_W) - \Delta t_0, \quad (2)$$

где $t_{эв}$, t_0 – температуры воздуха до и после воздухоохладителя;
 t_{w1} , t_{w2} – начальная и конечная температура рассола;
 G_W – расход рассола;
 c_W – удельная теплоемкость рассола;
 k_0 – коэффициент теплопередачи при сухом охлаждении воздуха;
 M_T – масса теплообменника;
 F_T – площадь поверхности теплообменника;
 τ – время.

При условии $\tau \rightarrow 0$ система уравнений (2) может быть записана в следующем виде:

$$\frac{\alpha_H \cdot F_T \cdot M_T}{G_B} \cdot \frac{dt_0}{d\tau} = \left(\frac{k_0 \cdot F_T}{2} - G_B \cdot c_B \right) \cdot \Delta_{эв} - \left(\frac{k_0 \cdot F_T}{2} - \frac{k_0 \cdot c_B \cdot F_T \cdot G_B}{2 \cdot G_W \cdot c_W} - G_B \cdot c_B \right) \cdot \Delta_0 - k_0 \cdot F_T \cdot \Delta_{w1} - \frac{k_0 \cdot c_B \cdot F_T \cdot G_B}{2 \cdot G_W \cdot c_W} \cdot G_B;$$

$$T_0 \cdot \frac{dt_0}{d\tau} = k \cdot (\Delta G_W) - \Delta t_0. \quad (3)$$

После соответствующих преобразований, а также, применяя к системе уравнений (3) преобразование Лапласа, для системы уравнений (2) были определены передаточные функции $W_{0.1}(p) \dots W_{0.4}(p)$, входящие в них постоянная времени T_0 и коэффициенты передачи по формулам

$$W_{0.1}(p) = \frac{k_{0.1}}{T_0 \cdot p + 1}; \quad W_{0.2}(p) = \frac{k_{0.2}}{T_0 \cdot p + 1}; \quad W_{0.3}(p) = \frac{k_{0.3}}{T_0 \cdot p + 1};$$

$$W_{0.4}(p) = \frac{k}{T_0 \cdot p + 1};$$

$$T_0 = \frac{2 \cdot \alpha_H \cdot F_T \cdot M_T}{G_B \cdot \left(k_0 \cdot F_T - \frac{k_0 \cdot c_B \cdot F_T \cdot G_B}{G_W \cdot c_W} - 2 \cdot G_B \cdot c_B \right)};$$

$$k_{0.1} = \frac{k_0 \cdot F_T - 2 \cdot G_B \cdot c_B}{k_0 \cdot F_T - \frac{k_0 \cdot c_B \cdot F_T \cdot G_B}{G_W \cdot c_W} - 2 \cdot G_B \cdot c_B};$$

$$k_{0.2} = \frac{k_0 \cdot F_T \cdot c_B \cdot t_{\text{зв}}}{G_W \cdot c_W \cdot \left(k_0 \cdot F_T - \frac{k_0 \cdot c_B \cdot F_T \cdot G_B}{G_W \cdot c_W} - 2 \cdot G_B \cdot c_B \right)};$$

$$k_{0.3} = \frac{2 \cdot k_0 \cdot F_T}{k_0 \cdot F_T - \frac{k_0 \cdot c_B \cdot F_T \cdot G_B}{G_W \cdot c_W} - 2 \cdot G_B \cdot c_B};$$

$$k = \frac{2 \cdot (t_{\text{зв}} - t_{W1})}{G_W} \cdot \frac{n \cdot \frac{2 \cdot G_B \cdot c_B}{k_0 \cdot F_T} + \frac{G_B \cdot c_B}{G_W \cdot c_W}}{\left(\frac{2 \cdot G_B \cdot c_B}{k_0 \cdot F_T} + \frac{G_B \cdot c_B}{G_W \cdot c_W} + 1 \right)^2},$$

где n – показатель степени;

c_T – теплоемкость металла трубок оребрения;

α_n – коэффициент теплоотдачи.

При определении передаточных функций $W_{0.5(p)} \dots W_{0.10(p)}$ использовались уравнения материального баланса по каналам изменения относительной влажности воздуха, описывающих статику воздухоохладителя. При этом учитывалась связность параметров воздуха в воздухоохладителе.

В расчетах параметров динамической модели использовались соответствующие конструктивно-технологические параметры воздухоохладителя, аналогом которого является ОВВК-63,0-1 (ОСТ 5.5147-83), а также справочные данные из технических каталогов оборудования кондиционеров АОТ «Экватор».

В центральной СКВ используется электроventильятор, который можно рассматривать как нагревательный элемент. Как объекту исследования динамических характеристик ему соответствует усилительное звено.

Существенным требованием к параметрам микроклимата является точность поддержания этих параметров. Для определения пределов изменения температуры и относительной влажности необходимо произведе-

сти расчет нелинейных многосвязных САУ в динамическом режиме. Такая задача для данного класса систем из-за высокого ее порядка, а также переменной структуры в различных режимах тепловлажностной обработки воздуха является весьма громоздкой. Поэтому для решения поставленной задачи целесообразно применить машинное моделирование СКВ в «летнем» периоде ее работы.

Используя уравнения динамики центральной СКВ в рамках программы MATLAB 6.5 – Simulink были проведены исследования переходных процессов изменений температуры и относительной влажности кондиционируемого воздуха. Разработанная модель системы приведена на рис. 2. При проведении исследований осуществлялась подача возмущающих и управляющих воздействий ступенчатого характера на соответствующие входы модели. Полученная математическая модель центральной СКВ в «летнем» режиме работы, а также результаты исследования ее динамики отражают реальный характер изменений параметров обрабатываемого воздуха. Они могут быть использованы при разработке и эксплуатации устройств для СКВ, обеспечивающих качественный автоматический режим кондиционирования воздуха. Схема такой САУ приведена на рис. 4.

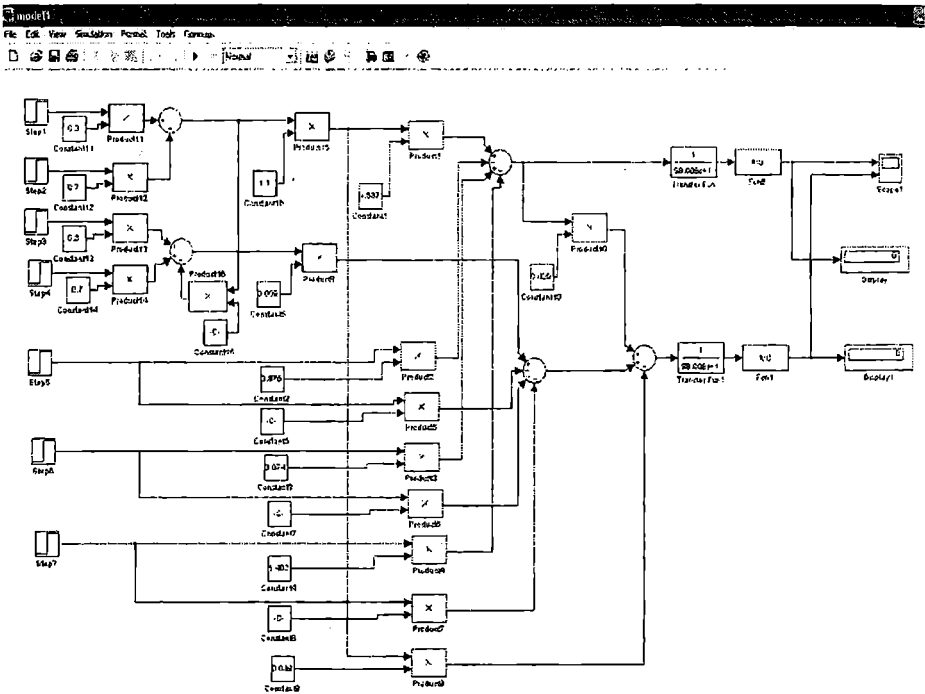


Рис. 2. Модель центральной СКВ в MATLAB в «летнем» периоде работы

САУ (рис. 3) включает в себя регулирующие звенья по температуре и относительной влажности (передаточные функции $W_{pt}(P)$ и $W_{p\phi}(P)$),

корректирующие звенья регулирования (передаточные функции $W_{ki}(P)$ и $W_{k\phi}(P)$), электронный коммутатор (ЭК). В зависимости от величины отклонений текущих значений температуры и относительной влажности на выходе СКВ (t_0, ϕ_0) от их заданных значений (t_3, ϕ_3), в САУ формируются управляющие воздействия U_t и U_ϕ , приложенные к ЭК. Величины отклонений текущих значений от заданных параметров воздуха Δt и $\Delta \phi$ используются для выбора в ЭК необходимых управляющих каналов САУ. Тем самым обеспечиваются изменения соотношений наружного и рециркуляционного воздуха в смеси G_H/G_Y , массовых расходов воздуха G_B и рассола G_W , температуры рассола t_w . Параметры регулирующих и корректирующих звеньев САУ определяются на основе использования параметров динамической модели исследуемой центральной СКВ.

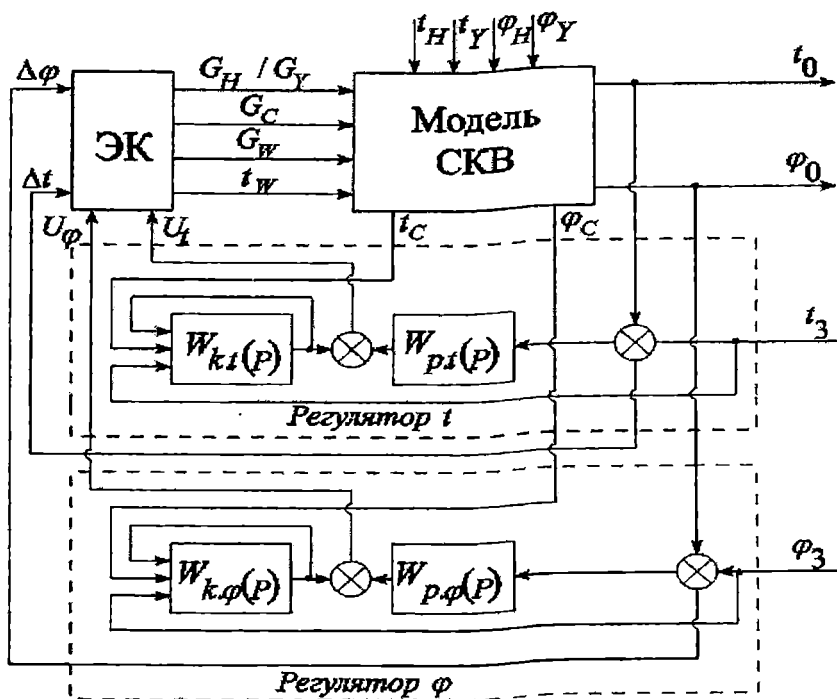


Рис. 3. Функциональная схема САУ центральной СКВ в «летнем» режиме работы

Кроме «летнего» режима работы центральная СКВ функционирует в «зимнем» режиме. Такой режим работы СКВ часто обеспечивается структурой, реализуемой совокупностью оборудования, состоящего из смесительной камеры, воздухонагревателя первой ступени, электровентилятора, парового увлажнителя, воздухонагревателя второй ступени.

Динамические свойства судовой центральной СКВ, работающей в «зимнем» режиме, по каналам изменения температуры и относительной

влажности в процессе воздухообработки могут быть описаны следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \Delta t_{BH}(P) &= W_1(P) \cdot \Delta t_1(P) + W_2(P) \cdot \Delta t_2(P) - W_3(P) \cdot \Delta G_B + W_4(P) \cdot \Delta G_{\Pi} + \\ &+ W_5(P) \cdot t_{\Pi}(P) + W_6(P) \cdot \Delta G_B(P) \cdot \Delta G_{\Pi}(P); \\ \Delta \varphi_{BH}(P) &= W_7(P) \cdot \Delta \varphi_1(P) + W_8(P) \cdot \Delta \varphi_2(P) - W_9(P) \cdot \Delta t_1(P) - W_{10}(P) \cdot \Delta t_2(P) + \\ &+ W_{11}(P) \cdot \Delta G_B(P) - W_{12}(P) \cdot \Delta G_{\Pi}(P) - W_{13}(P) \cdot \Delta t_{\Pi}(P) + W_{14}(P) \cdot \Delta G_B(P) \cdot \Delta G_{\Pi}(P) - \\ &- W_{15}(P) \cdot \Delta t_{H1}(P) - W_{16}(P) \cdot \Delta t_y(P) - W_{17}(P) \cdot \Delta t_{H2}(P), \end{aligned} \quad (4)$$

где $W_1(P) = W_{C.1}(P) \cdot W'_{H.1}(P) \cdot W_B(P) \cdot W_{Y.1}(P) \cdot W_{Y.4}(P) \cdot W''_{H.1}(P);$

$$W_2(P) = W_{C.2}(P) \cdot W'_{H.1}(P) \cdot W_B(P) \cdot W_{Y.1}(P) \cdot W_{Y.4}(P) \cdot W''_{H.1}(P);$$

$$W_3(P) = W'_{H.2}(P) \cdot W_B(P) \cdot W_{Y.1}(P) \cdot W_{Y.4}(P) \cdot W''_{H.1}(P) + W''_{H.2}(P);$$

$$W_4(P) = W'_{H.4}(P) \cdot W_B(P) \cdot W_{Y.1}(P) \cdot W_{Y.4}(P) \cdot W''_{H.1}(P) + W''_{H.4}(P);$$

$$W_5(P) = W'_{H.3}(P) \cdot W_B(P) \cdot W_{Y.1}(P) \cdot W_{Y.4}(P) \cdot W''_{H.1}(P) + W''_{H.3}(P);$$

$$W_6(P) = W_{Y.2}(P) \cdot W_{Y.3}(P) \cdot W_{Y.4}(P) \cdot W''_{H.1}(P);$$

$$W_7(P) = W_{C.4}(P) \cdot W'_{H.5}(P) \cdot W_{Y.5}(P) \cdot W_{Y.8}(P) \cdot W''_{H.5}(P);$$

$$W_8(P) = W_{C.5}(P) \cdot W'_{H.5}(P) \cdot W_{Y.5}(P) \cdot W_{Y.8}(P) \cdot W''_{H.5}(P);$$

$$W_9(P) = W_{C.1}(P) \cdot W_{C.3}(P) \cdot W'_{H.5}(P) \cdot W_{Y.5}(P) \cdot W_{Y.8}(P) \cdot W''_{H.3}(P);$$

$$W_{10}(P) = W_{C.2}(P) \cdot W_{C.3}(P) \cdot W'_{H.5}(P) \cdot W_{Y.5}(P) \cdot W_{Y.8}(P) \cdot W''_{H.5}(P);$$

$$W_{11}(P) = W'_{H.6}(P) \cdot W_{Y.8}(P) \cdot W''_{H.5}(P) + W''_{H.6}(P);$$

$$W_{12}(P) = W'_{H.8}(P) \cdot W_{Y.8}(P) \cdot W''_{H.5}(P) + W''_{H.8}(P);$$

$$W_{13}(P) = W'_{H.7}(P) \cdot W_{Y.8}(P) \cdot W''_{H.5}(P) + W''_{H.7}(P);$$

$$W_{14}(P) = W_{Y.6}(P) \cdot W_{Y.7}(P) \cdot W''_{H.5}(P);$$

$$W_{15}(P) = W'_{H,9}(P) \cdot W_{y,8}(P) \cdot W''_{H,5}(P);$$

$$W_{16}(P) = W_{y,9}(P) \cdot W''_{H,5}(P); \quad W_{17}(P) = W''_{H,9}(P);$$

$\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta \phi_1, \Delta \phi_2$ – приращения температуры и относительной влажности наружного воздуха и воздуха из помещений;

$\Delta G_B, \Delta G_{\Pi}$ – приращения массовых расходов воздуха и пара;

Δt_{Π} – приращения температуры пара на входе;

$W'_{H,1}(p) \dots W'_{H,4}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий для воздухонагревателя первой ступени по температуре;

$W'_{H,5}(p) \dots W'_{H,8}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий для воздухонагревателя первой ступени по относительной влажности;

$W'_{H,9}(p)$ – передаточная функция, учитывающая связность параметров воздуха в воздухонагревателе первой ступени;

$W_{C,1}(p), W_{C,2}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий по температуре воздуха в смесительной камере;

$W_{C,4}(p), W_{C,5}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих воздействий по относительной влажности воздуха в смесительной камере;

$W_{C,3}(p)$ – передаточная функция, учитывающая связность параметров воздуха, а именно, зависимость изменения относительной влажности смешанного воздуха от изменения его температуры в смесительной камере;

$W_{ЭВ}(p)$ – передаточная функция электровентилятора;

$W_{y,1}(p) \dots W_{y,4}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий для парового увлажнителя по температуре;

$W_{y,5}(p) \dots W_{y,8}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий для парового увлажнителя по относительной влажности;

$W_{y,9}(p)$ – передаточная функция, учитывающая связность параметров воздуха в паровом увлажнителе;

$W''_{H,1}(p) \dots W''_{H,4}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий для воздухонагревателя второй ступени по температуре;

$W''_{H,5}(p) \dots W''_{H,8}(p)$ – передаточные функции по каналам передачи возмущающих и управляющих воздействий для воздухонагревателя второй ступени по относительной влажности;

$W''_{H,9}(p)$ – передаточная функция, учитывающая связность параметров воздуха в воздухонагревателе второй ступени.

Уравнения (4), записанные в операторной форме, представляют собой уравнения динамической модели центральной СКВ. Модель системы в стационарном состоянии определяется из системы уравнений, приравниванием оператора P нулю. Разработанной модели динамики судовой СКВ (4), как объекта автоматизации соответствует структурная схема, приведенная на рис. 4. В модели СКВ (4) используются динамические характеристики воздухонагревателей первой и второй ступеней, смесительной камеры, электровентилятора и парового увлажнителя.

Полученные уравнения динамики центральной СКВ использовались при проведении исследований в рамках программы MATLAB 6.5 – Simulink переходных процессов изменений температуры и относительной влажности кондиционируемого воздуха. Соответствующая модель системы приведена на рис. 5. При проведении исследований, осуществлялась подача возмущающих и управляющих воздействий ступенчатого характера на соответствующие входы модели. Полученная математическая модель центральной СКВ в «зимнем» режиме работы, а также результаты исследования ее динамики отражают реальный характер изменений параметров обрабатываемого воздуха. Они могут быть использованы при разработке и эксплуатации устройств для СКВ, обеспечивающих качественный автоматический режим кондиционирования воздуха. В качестве примера на рис. 6 приведена функциональная схема САУ центральной СКВ, реализуемая на основе разработанной его модели и позволяющая обеспечить поддержание требуемых параметров воздуха (t_n , φ_n) на выходе СКВ.

САУ включает в себя регулирующие звенья по температуре и относительной влажности (передаточные функции $W_{pt}(P)$ и $W_{p\varphi}(P)$), корректирующие звенья регулирования (передаточные функции $W_{ит}(P)$ и $W_{кф}(P)$). В зависимости от величины отклонений текущих значений температуры и относительной влажности на выходе СКВ (t_0 , φ_0) от их заданных значений (t_s , φ_s), в САУ формируются управляющие воздействия U_t и U_φ , приложенные к ЭК. Величины отклонений текущих значений от заданных параметров воздуха Δt и $\Delta \varphi$ используются для выбора в ЭК необходимых управляющих каналов САУ. Тем самым обеспечиваются изменения: соотношений наружного и рециркуляционного воздуха в смеси G_H/G_Y ; массовых расходов воздуха G_B и рассола G_w ; температуры рассола t_w . Параметры регулирующих и корректирующих звеньев САУ определяются на основе использования параметров динамической модели исследуемой центральной СКВ. Схема САУ центральной СКВ (рис. 6) технически просто реализуется в рамках любых программируемых управляющих устройств, цена которых в настоящее время минимальна.

Использование полученных моделей нестационарных режимов работы центральной СКВ позволяет решать задачи, связанные с разработкой САУ, предназначенной для поддержания требуемых значений температуры и относительной влажности на выходе кондиционера.

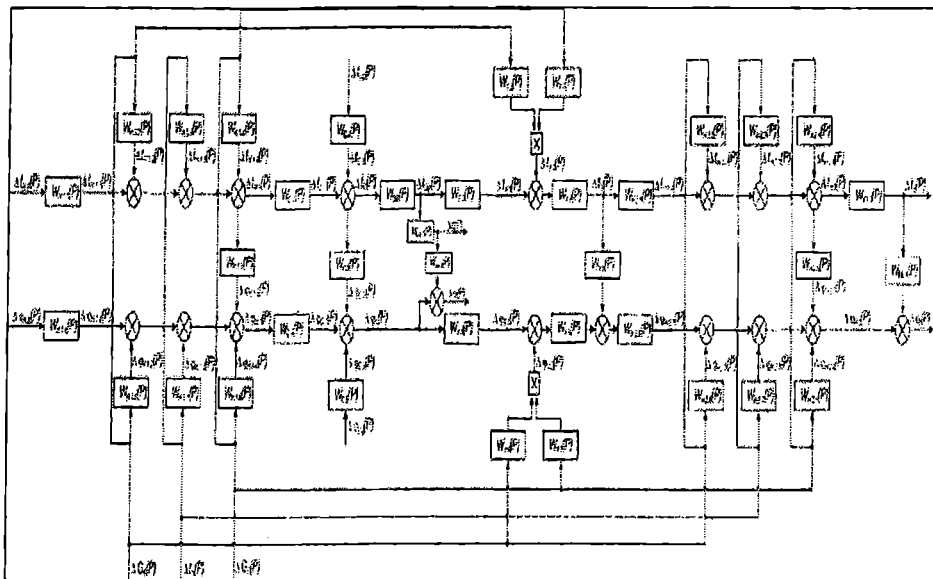


Рис. 4. Структурная схема центральной СКВ как объекта автоматизации в «зимнем» режиме работы

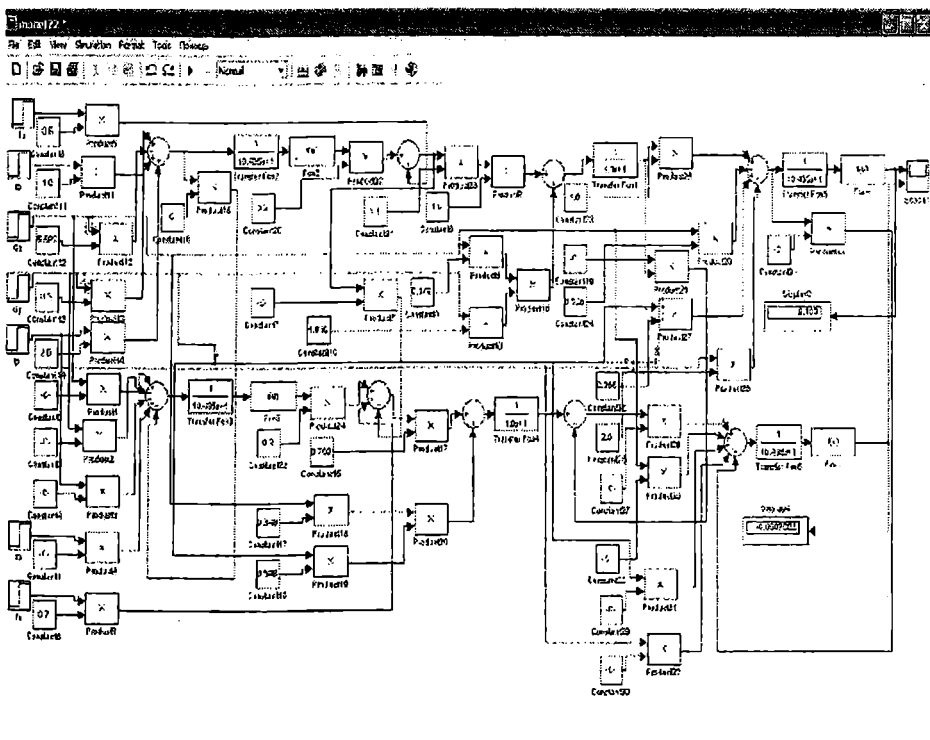


Рис. 5. Модель центральной СКВ в MATLAB

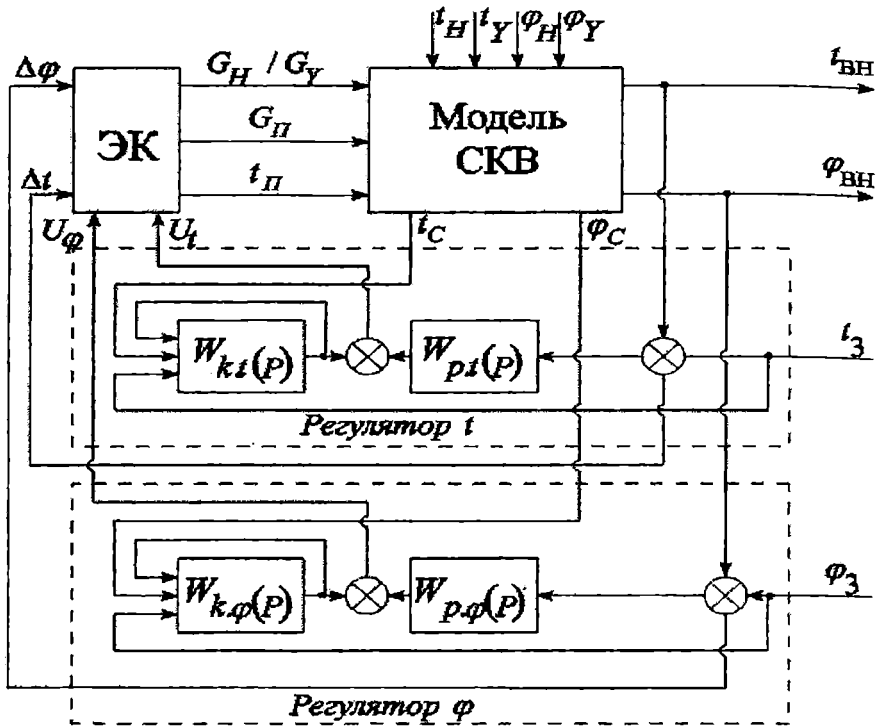


Рис. 6. Функциональная схема САУ центральной в «зимних» периодах работы СКВ

ЛИТЕРАТУРА

1. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – СПб.: Стройиздат, 2003. – 320 с.
2. Креслинг А.Я. Оптимизация энергопотребления системами кондиционирования воздуха. – Рига: РПИ, 1982. – 68 с.

Надійшла 05.11.07

УДК 378.147

Л.В. Кошарская
А.А. Турлак
Т.А. Турлак

НОВЫЕ УЧЕБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Рассматривается необходимость дальнейшего развития учебных технологий в высшей школе, сущность дистанционного обучения и его роль в повышении эффективности учебного процесса и формировании личности специалиста; достоинства новой формы обучения и проблемы её внедрения; роль преподавателя в процессе обучения.

Ключевые слова: дистанционное обучение, технологизация учебного процесса; интерактивная коммуникация; подготовка и переподготовка специалистов.

Разработка и внедрение новых учебных технологий в образование и обучение является необходимым и закономерным условием, позволяющим повысить качество подготовки и переподготовки специалистов, эффективность всех форм учебного процесса. Современные технологии делают возможным совершенствование и обновление системы образования, приведения её в соответствие с международными образовательными стандартами.

Активное проявление технологизации в системе образования в том виде как она осуществляется, может означать, что содержание обучения постепенно перестанет быть приоритетным, и главной проблемой становится проблема организации учебного процесса [1]. Бесспорно, что технологическая составляющая играет важную роль в образовании. В современных условиях, когда созданы и получили массовое распространение технические системы трансляции знаний, моделирующие интеллектуальные процессы, возможности этих систем должны быть максимально использованы в обучении и учении. Не умаляя роли технологической составляющей, следует не допускать перекоса и формализации получения образования в высшей школе в ущерб содержательной стороне [2; 3].

Замена традиционного обучения дистанционным или сочетание их в учебном процессе даёт возможность вузу не только упрочить свои позиции в условиях конкуренции с другими вузами, но и способствует привлечению студентов из разных регионов на всех уровнях непрерывного образования, значительно облегчает коммуникации между учащимся

© Кошарская Л.В., Турлак А.А., Турлак Т.А., 2007

и обучающим, способствует выработке и накоплению нового ценного опыта, создания дополнительных элементов обучения. Структура организации учебного процесса должна претерпеть значительные перемены: меняется роль каждого, кто вовлечён в учебный процесс. В большинстве случаев успех достигается там, где курс с использованием новых технологий становится основой и дополнением к аудиторным занятиям и имеется посредник в лице преподавателя, понимающий новые технологии и в то же время умеющий заинтересовать студентов в специальных качествах новой формы обучения и сочетании её с традиционными [4].

При дистанционном обучении педагогическое руководство усвоением учебного материала утрачивает традиционную директивность за счёт усиления активизации субъективного опыта каждого студента, формирования внутренней мотивации учения. Однако самый совершенный компьютер не может даже имитировать воспитательные функции преподавателя, способствующие формированию интеллектуального и нравственного облика будущего специалиста. В отличие от человека машина не способна распознать открытие, определить элементы новизны и творчества, выйти за пределы разработанной программы, воспроизвести образность и метафоричность, присущие речи конкретного человека. Ведь парадоксальное, непривычное и расходящееся с традицией, и образное мышление являются обязательными неотъемлемыми свойствами творчества, научного и профессионального. Даже самое активное взаимодействие студента с компьютером не может заменить живой диалог студента с преподавателем, поскольку в процессе педагогической коммуникации передаются не только профессиональные знания, умения и навыки, но и модели поведения и формы отношений, система ценностей и жизненных ориентаций [4].

Взросшая требовательность студентов к обучению, знаниям и методическому обеспечению в связи с перспективами, которые открывают дистанционная форма получения знаний и телекоммуникационные технологии в обучении, способствует появлению у них новых стереотипов и потребностей в образовании: студент сам отвечает за собственный процесс обучения, используя поддержку в виде учебных пособий, сборников задач, тестов и упражнений, специально разработанных в электронных вариантах, а при необходимости помощь и консультацию преподавателя через компьютер или лично.

Отмечая положительные стороны дистанционного обучения: широкую доступность высшего образования; получение информации, обычно недоступной из-за отсутствия современной учебной литературы; свободное использование своего времени для обучения; обеспечение непрерывной интерактивной коммуникации между студентом и преподавателем с помощью компьютера, даже исключение субъективных оценок и мнений преподавателя, следует отметить наличие проблем личностно-психологического характера. Об одной из них – изменении роли преподавателя при дистанционном обучении – говорилось выше.

Другая, не менее важная, проблема в том, что при дистанционном контроле знаний обезличенность студента и преподавателя приводит не только к механическому воспроизведению и количественной оценке предъявленного объема информации, но порождает проблему идентификации студента, сидящего за персональным компьютером. Поэтому программы дистанционного обучения должны включать обязательную очную экзаменационную сессию, «сдаваемую» студентом не виртуально, а непосредственно в контакте с преподавателем [5].

Дистанционное обучение совершенно не исключает учёта социального и гуманитарного компонентов в обучении и невозможно без межличностных отношений «студент – преподаватель», поэтому оно должно сочетаться в разумной мере с традиционными формами обучения.

Изучению названных проблем было посвящено пилотажное исследование, проведенное одновременно в двух вузах – Одесском национальном морском университете (ОНМУ) и Витебском государственном технологическом университете (ВГТУ Республика Беларусь).

Целью исследования явилось не только и не столько изучение достоинств и проблем дистанционного обучения, сколько выяснение отношения студентов к дистанционному обучению: их знаний о сущности и преимуществах дистанционного обучения; месте и роли преподавателя в учебном процессе при дистанционной форме получения знаний; выявление их мнения о проблеме идентификации студента в дистанционном процессе обучения и значении очной экзаменационной сессии для контроля достоверности предъявляемых знаний.

Всего в исследовании опрошено 112 респондентов: 64 человека в Витебском вузе и 48 – в Одесском, обучающиеся на дневном и заочном отделениях обоих вузов. Из всех опрошенных учатся и одновременно работают соответственно 39 и более 60 %. Основная масса студентов ОНМУ – более 83 % – в возрасте 22-24 года, это пятый курс судомеханического факультета, в ВГТУ таких более тридцати процентов; это второй и четвертый курсы экономического и конструкторско-технологического факультетов. Четверть опрошенных в витебском вузе составляют лица старше 25 лет, это слушатели факультета повышения квалификации и переподготовки кадров, получающие высшее образование по сокращённой форме обучения на базе среднего специального. Следует отметить ещё одну особенность респондентов: в витебском вузе только женщины, в одесском – только мужчины. Тем не менее, все они высказали ряд совпадающих оценок и мнений, независимо от пола, возраста и формы обучения.

Выяснилось, что знает или имеет представление о дистанционном обучении половина всех респондентов в каждом вузе, хотя соотношение между «знает» и «имеет представление» разное: «знает» – 14 % в ВГТУ и в два раза больше в ОНМУ, «Имеет представление» – соответственно 39 и около 19 %. Слышали о такой форме обучения, хотя и не знают точно её сущности, от 35 (Одесский вуз) до 40 % (Витебский) респондентов, и

только один из десяти не знает, что это такое. В целом информацией разного качества – от 21 % знающих о дистанционном обучении до 68 % обладающих слабыми знаниями (представляют, слышали) о нём – владеют 89 % всех опрошенных в обоих вузах.

Можно предположить, что среди мероприятий вузов по внедрению дистанционного обучения в учебный процесс должна быть серьёзная разъяснительная работа о сущности и преимуществах этой формы обучения. Необходимость такого разъяснения подтверждается дальнейшим анализом ответов респондентов.

При выяснении предпочтительной формы обучения – стационарная, традиционная заочная или дистанционная – собственно дистанционную в витебском вузе не выбрал никто, в одесском – только чуть больше 4 %. Студенты дневного отделения ВГТУ высказались за стационарное обучение – 28 %, в ОНМУ этот показатель выше – 45 %, что обусловлено скорее всего характером работы будущих специалистов. Респонденты, сочетающие работу с учёбой в вузе, традиционно предпочли заочное обучение – четверть их в Витебске и только 6 % в одесском вузе. Зато почти одинаковое число «голосов» – от 42 % до 43,8 % – в обоих вузах получило сочетание традиционных форм обучения и дистанционной: ещё одно доказательство необходимости разумного внедрения дистанционного обучения и сочетания его с традиционными формами [6].

Косвенным подтверждением необходимости внедрения таких форм получения знаний могут служить данные учебных пилотажных исследований, проводимых студентами ВГТУ в качестве социологической практики, по проблеме социальной роли высшего образования. Положительно оценивают появление в вузах электронной системы обучения 40 % опрошенных как мужчин, так и женщин, и столько же высказывается за сочетание её с традиционными формами обучения. Кроме этого, более половины респондентов напрямую связали качество получаемых знаний с доступностью высоких технологий в системе образования [7; 9-10].

Для внедрения новой технологии обучения немаловажное значение будет иметь методическая обеспеченность учебного процесса: высокую обновляемость знаний и доступность источников информации в системе дистанционного обучения отметили более чем по сорок процентов респондентов обоих вузов. Независимость от количества и наличия имеющейся печатной учебной и учебно-методической литературы оценили каждый пятый респондент, подчеркнув тем самым необходимость разработки электронных вариантов тестовых и учебно-методических материалов.

Подтверждением могут служить также данные исследования, проведенное в семи университетах Европы, Канады, Японии, где 64 % опрошенных, изучающих другие, кроме иностранного языка, учебные дисциплины, утверждают, что с удовольствием работают с электронными

учебниками. Ни один из опрошенных не использовал характеристики «однообразно», «скучно», «навязчиво» [5].

Отвечая на вопрос о достоинствах дистанционного обучения, респонденты в первую очередь отметили учёбу в любое удобное время – по 64 %, более 40 % в обоих вузах указали на возможность получения знаний по этой форме обучения людьми работающими и/или с ограниченными физическими возможностями. Получение образования независимо от места проживания оценили положительно до 35 % опрошенных в обоих вузах, а повышение квалификации и переподготовку без отрыва от основной работы путём дистанционного обучения для себя приемлемой посчитали более 45 %. В качестве дополнительного, собственного мнения, был предложен ответ о возможности обучения по разным направлениям одновременно, и хотя он составляет всего 2 % от общего числа отвечающих в одесском вузе, тем не менее это доказательство не только интереса к дистанционному обучению, но и необходимости (пользы) его внедрения. Значительной для студентов заочной формы обучения станет экономия времени и средств на поездки и командировки по обучению: в витебском вузе около трети опрошенных, а в одесском 37 % оценили это достоинство дистанционного обучения, учитывая специфику и характер работы в море. Не обошли вниманием респонденты и такое достоинство дистанционного обучения, как исключение субъективного мнения, личных симпатий и антипатий преподавателя при оценке знаний студентов: 40 % витебских респондентов, более длительно и постоянно общающихся с преподавателями, и 31 % одесских.

Подводя итог анализу ответов, можно сказать, что обе группы респондентов, независимо от личностных качеств и характера обучения, достаточно объективно оценили достоинства дистанционного обучения и высказали своё положительное отношение к нему.

К основным проблемам внедрения дистанционного обучения наши респонденты отнесли как объективные, так и субъективные факторы. Объективные факторы большей частью связаны с материальной стороной современной жизни общества: отсутствие компьютера дома у половины витебских респондентов и чуть более у трети одесских. Обе группы опрошенных отметили возможные финансовые затруднения при оплате услуг Интернета и компьютера: 36 % витебских и четверть одесских респондентов. Следует обратить внимание на сомнение трети витебских респондентов и более чем 40 % одесских в признании действительности диплома при получении образования с дистанционной формой обучения. Это сомнение может быть рассеяно в ходе разъяснительной работы об общегосударственном (и там, где есть межправительственные соглашения о взаимном признании дипломов) классическом документе об образовании независимо от формы обучения. Объективным фактором в решении проблем дистанционного обучения следует считать возможность получения некачественной информации из Интернета, её

фальсификацию и хакерство – это отметили более трети респондентов в каждом вузе.

К субъективным факторам в решении проблемы можно отнести достаточно самокритичную оценку респондентами собственной организованности и готовности заниматься самостоятельно – так оценили себя около 40 % в обоих вузах. И если при заочной или стационарной форме обучения студента всё же побуждает, стимулирует преподаватель, то при дистанционном обучении это побуждение отсутствует, степень готовности и желания заниматься определяет сам студент. Об этом косвенно свидетельствуют ответы респондентов о необходимости живого контакта (помощи, побуждения, стимулирования) с преподавателем на практических занятиях, о чём сказала половина всех опрошенных в обоих вузах. Значит, при всех достоинствах дистанционного обучения студенты испытывают потребность в живом контакте с лектором или преподавателем на занятиях.

Этот предварительный вывод полностью подтверждают ответы респондентов на вопрос об общении с преподавателем в процессе обучения. В первую очередь следует отметить желание респондентов иметь возможность немедленного выяснения вопросов – от половины до 68 % всех опрошенных. Одинаковое мнение об обсуждении с преподавателем перспектив применения полученных знаний – по 35 % высказали обе группы респондентов. Одинаково был оценён и индивидуальный подход к оценке преподавателем личных качеств и знаний студентов – по 27 % в каждом вузе. И это при том, что более трети всех опрошенных оценили объективность машины, исключив субъективное отношение и мнение преподавателя!

Особо следует подчеркнуть методическую роль общения студента и преподавателя: витебские респонденты (всё те же 50 %), не имеющие компьютера дома, дружно высказались за помощь преподавателя разобраться в широком потоке информации, одесские респонденты такую возможность оценили в 35 %. Зато возможность получения через сеть знаний от лучших педагогов и специалистов данной отрасли отметили более 40 % одесских респондентов и почти 40 % – витебских. Ответы респондентов обоих вузов свидетельствуют, что при переходе к новым технологиям обучения особое внимание надо уделить методическому обеспечению дисциплин, переводимых на дистанционную форму подачи знаний. В первую очередь это касается учебно-методических материалов, подготовленных преподавателями данного вуза. Почему? Потому, что на отношение к предмету, желание и стремление получить знания влияет не только уровень методической обеспеченности, но и личность преподавателя, его непосредственное общение со студентами в учебном процессе [5]. Единодушными, с разницей в доли процента, были респонденты (22,9 % и 23,4 % одесских) в оценке роли преподавателя в формировании интеллектуальных и нравственных качеств студента. Если «компьютеризованные» одесские респонденты только в 31 % оценили влияние на

усвоение знаний эмоциональной окрашенности знаний и культуру речи преподавателя, то витебские респонденты дневного и заочного отделения, чаще лично общающиеся с преподавателем в учебном процессе, такое влияние оценили более чем в 37 % [8]. Однако существенным, 22 % у респондентов ОНМУ и 48 % в ВГТУ, было расхождение в оценке влияния личности преподавателя в целом на формирование интереса к знаниям и получению их. Всё тот же один одесский респондент (2 % от числа опрошенных), предположивший возможность одновременного получения знаний по разным направлениям через дистанционное обучение, высказал интересную мысль, что живое общение с преподавателем формирует умение слушать, смотреть, разговаривать. Машина, по его мнению, при всех её достоинствах, таким умением не обладает.

Поскольку одесские респонденты больше общаются с компьютером, а витебские – с «живым» преподавателем, различие в ответах вполне объяснимо. Существенно то, что обе группы респондентов отметили такое влияние, поэтому на очных сессиях следовало бы обратить внимание преподавателей на эту сторону учебного процесса.

Ведь только в межличностном общении можно выявить недостатки в усвоении понятийного аппарата, понимание закономерностей развития (явлений и процессов), определить стратегию дальнейшего обучения [6]. Отрадно то, что наши современные студенты, умеющие общаться с умными машинами и владеть ими, не отказываются, а признают необходимость, хотя и в разной степени интенсивности, живого общения с преподавателем.

Последний вопрос в исследовании можно считать и контрольным: речь идет о самоидентификации студента, сидящего за компьютером и отвечающего на вопросы зачета или задачи [5]. Утвердительно обозначили возможность посадить кого-либо за компьютер вместо себя 10,7 % респондентов обоих вузов: 12,5 % витебских и 8 % одесских. Столько же одесских респондентов честно признались, что не знают пока, как поступят. В два раза больше таких среди опрошенных в Витебске, здесь может влиять отсутствие компьютера дома и не всегда умение с ним общаться. В зависимости же от ситуации появление «подсадной утки» у компьютера допускают 38,3 % респондентов обоих вузов: от 37 % одесских студентов до 39 % витебских. Эти данные тоже коррелируют с признанием студентами недостаточной собственной организованности и готовности заниматься самостоятельно: таких было около 40 % в каждом вузе. Однозначное «нет» подменить себя при ответах сказали почти 21 % одесских и 14 % витебских респондентов.

Тогда надо задать себе вопрос и попытаться найти на него ответ: если сочетание традиционных форм обучения и дистанционной в среднем признали необходимым 42,5 % опрошенных в обоих вузах, почему тогда за обязательную очную сессию как традиционную форму контроля знаний с целью исключения подлога при ответах на компьютере

высказались только около 19 % тех же респондентов? Однако стоит принять во внимание тот факт, что 37,5 % всех респондентов обоих вузов всё же не хотят подменять себя кем-либо у компьютера, желая самим проверить качество полученных знаний и убедиться в их правильности. Значит, проблему идентификации сдающего экзамен или зачёт студента можно решить, как считают и сами студенты, сочетанием очной экзаменационной сессии и дистанционного обучения как процесса получения знаний [5].

Таким образом, анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы:

1. Включение в учебный процесс новых и новейших технологий получения знаний студентами требует серьёзной подготовительной организационной и технической работы по порядку перевода учебных дисциплин на дистанционное обучение.

2. В учебно-методическом обеспечении целесообразно предусмотреть тестово-электронные варианты заданий всех видов, разработанные преподавателями, читающими переводимые на новую технологию курсы, не отказываясь от традиционных учебно-методических пособий и учебников. Преподаватель для организации процесса обучения, управления и контроля его в соответствии с базовой методикой преподавания формирует свои учебные пособия и тесты, ассоциированные с имеющимися учебными пособиями или разработанными данным преподавателем.

3. Одним из условий эффективности усвоения знаний и самостоятельной работы студента должен быть непосредственный контакт, межличностное общение преподавателя и студента в учебном процессе.

4. В учебных планах следует предусмотреть очную экзаменационную сессию (по всем дисциплинам или выборочно) для контроля достоверности предъявляемых студентом знаний.

5. В вузе должны быть разработаны меры, приёмы, процедуры, позволяющие хотя бы частично решить проблему идентификации студента. Пока не существует официально разработанных электронных документов (паспорта, удостоверения личности, электронной подписи), основным средством идентификации студента должны быть обязательная очная сессия, включённая в учебный план.

6. Необходима серьёзная разъяснительная работа по вопросу признания в других странах действительности диплома о высшем образовании, полученном по завершению учебы в вузе, где использовалось дистанционное обучение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стражнев В.И., Жук А.И., Воскресенский В.И. Типовая модель системы управления качеством образования в вузе // *Высшая школа*. 2006. – № 1. – С. 10.
2. Мельникова Л., Кирвель Ч., Карпинский В. Социогуманитарное образование как фактор национальной безопасности // *Беларуская думка*. – № 5. – 2007. – С. 46.
3. Классическое образование: фундаментальность и динамизм (Интервью с В.В. Мироновым) // *Высшее образование в России*. – № 1. – 2005. – С. 43-44.
4. Наука и технология на рубеже XXI века: Материалы Международной научно-технической конференции / Под ред. И.П. Филонова и др. – Минск: УП «Технопринт», 2000. – 698 с.
5. Университетское образование и виртуальное обучение: Тезисы докладов / Международная научно-практическая конференция. Минск. 16 мая. 2003 – Минск: БГЭУ, 2003. – 223 с.
6. Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: Материалы VI Международной научно-методической конференции. Минск. 15-16 мая. 2003 – Ч. II. – Минск: ИСЗ, 2003. – 276 с.
7. Аналитическая записка к социологическому исследованию: «Высшее образование и его социальная роль». – Витебск: УО «ВГТУ», 2007. – 22 с.
8. Формирование профессиональных качеств современного специалиста в техническом университете: Тез. докл. IV Международной научно-методической конференции. – Кострома: Изд-во Костромского государственного технологического университета, 2005. – 183 с.

Надійшла 03.11.07

ПРО ПРОБЛЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ ТЕРОРИСТИЧНИХ АКТИВ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Стаття присвячена морському транспорту, як важливому елементу системи попередження та запобігання можливих терористичних актів; надано розмежування понять «піратство» та «тероризм»; запропоновані заходи попередження та запобігання тяжких наслідків від можливих проявів тероризму на морському транспорті України.

Ключові слова: попередження, запобігання, тероризм, терористичний акт, піратство, морський транспорт.

В умовах глобалізації, стрімкого розвитку й розповсюдження інформаційних технологій відбувається потужний сплеск міжнародного тероризму. Закордонні й вітчизняні аналітики, прогнозуючи розвиток цього явища, однакостайні в тому, що тероризм як загроза національним та колективним інтересам держав виходить на перший план.

Реалії сьогодення свідчать, що боротьба з тероризмом є і буде залишатися в майбутньому одним з головних завдань держави в сфері національної безпеки. Одним з напрямків терористичної діяльності є морський транспорт, якому належить провідне місце у світовій зовнішньоторговельній діяльності. Майже 80 відсотків міжнародних комерційних транспортувань здійснюється морем. Для цього задіяно близько 46 тис. суден, 80 тис. портових комплексів світу [1], тому велике значення надається попередженню та припиненню терористичних дій, забезпеченню безпеки життя і здоров'я пасажирів та екіпажу, запобіганню, виявленню і припиненню терористичних дій на об'єктах морегосподарчого комплексу і мінімізації їх наслідків, виявленню причин і умов, що можуть сприяти можливій терористичній діяльності.

Підприємства, об'єкти і засоби морського транспорту представляються важливим елементом системи попередження можливих терористичних актів. Пояснюється це наступними обставинами.

По-перше вони самі можуть бути об'єктами терористичних атак як з метою їхнього знищення, так і з метою захоплення.

По-друге, засоби транспорту, як показали події 11 вересня 2001 р. у США, можуть самі ставати за певних умов смертоносною зброєю.

Терористичні акти на морському транспорті можуть завдати істотної шкоди економіці декількох держав. Досить згадати ряд катастроф

на танкерному флоті в Атлантиці, що привели Іспанію, Португалію і Францію до значних проблем в економічній і екологічній областях.

По-третє, морський транспорт є засобом міждержавного спілкування і його засоби використовуються терористами для переїздів і доставки необхідних засобів.

Загальна проблема статті полягає у тому, що входження і перебування України в Європейській і Світовій системі водного транспорту буде залежати від багатьох факторів, в яких важливе значення повинні зіграти стан і система боротьби з тероризмом з метою безпеки екіпажу, пасажирів, вантажів, судноплавства і т. ін. Діючі сучасні анти-терористичні системи безпеки на морському транспорті регулюють позитивні і негативні впливи на державні економічні, екологічні та правові відносини. У цій ситуації особливого значення набуває рішення проблем теорії і практики попередження та запобігання тероризму на морському транспорті та підприємствах морегосподарчого комплексу.

Аналізуючи останні дослідження, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, можна зробити наступний висновок: якщо проблеми тероризму достатньо розглянуті, то проблеми тероризму на транспорті майже не вивчені, особливо на морському та їм приділяється недостатньо уваги. Тому, основною метою даної статті є: визначити морський транспорт як важливий елемент системи попередження та запобігання можливих терористичних актів та запропонувати заходи для попередження та запобігання тяжких наслідків від можливих проявів тероризму на морському транспорті України.

Сьогодні активність терористів на морському транспорті збільшується, що змушує держави направляти кораблі ВМС у місця активних дій терористів, організовувати протипіратські центри і спеціальні бази по захисту суден від атак терористів. Тому поступово розмивається межа між поняттям тероризму і таким живучим явищем, як піратство, що набуло сьогодні загрозливих розмірів. Але з історії відомо, що розбоєм на морі займалися не тільки пірати, а й капери. Піратами називали тих, хто нападав на судна виключно в особистих (як правило, корисних) цілях та інтересах. Капери ж робили це тільки в політичних цілях. Морський тероризм, який почав загрожувати світу і безпеці з початку 60-х років ХХ-ого сторіччя, і піратство – як захоплення, затримка і пограбування морських торгових і інших цивільних суден, їхніх екіпажів і пасажирів та має багатовікову історію, – явища не цілком ідентичні. Зміст цих двох понять частково збігається. Це має місце у випадках, коли одне і теж діяння (захоплення морського судна) підпадає під норми про піратство Конвенції Організації Об'єднаних Націй по морському праву і спрямованої проти міжнародного тероризму Конвенції про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки морського судноплавства.

Разом з тим, існують розходження в їхніх цілях і об'єктивній сто-

роні. Об'єкт піратства – особа, що є членом екіпажу або пасажиром приватновладного судна, а також майно, що знаходиться на борті судна і саме судно, але за умови, якщо морське судно знаходиться у відкритому морі. А для кваліфікації як акт «морського тероризму» відповідно до Конвенції і Протоколу, підписаному у Римі в 1988 році, не потрібно відповідності діянню цій вимозі. Прикладом морського тероризму може служити захоплення терористами італійського морського лайнера «Акилле Лауро».

Тероризм і піратство щорічно завдають шкоди світовій системі перевезень на суму близько 30 млрд доларів. Незаперечним є той факт, що морський тероризм – це не тільки економічна загроза, а й серйозна небезпека для життя людей – членів екіпажу, пасажирів, людства в цілому. За даними страхової компанії «Ллойда», лише під час «танкерної війни» (1984-1988 р.) в Перській затоці воюючими сторонами атаковано і пошкоджено 564 великих торговельних судна. Втрати серед екіпажів склали 420 чоловік. Загальний матеріальний збиток, нанесений економіці обох країн, сягнув 500 млрд. доларів. За останні 10-15 років терористичні сили на морі значно активізувалися. Так, якщо у 1991 році зафіксовано 100 випадків нападу морських піратів на судна, то у 1999 – 300, у 2000 – 471, у 2001 – 261. За даними міжнародного Центру по боротьбі з піратством, у Куала-Лумпурі (Малайзія) в 2002 році сталося 355 піратських нападів. Тільки поблизу берегів Сомалі за шість місяців 2005 року зареєстровано 23 випадки, у тому числі напад на вантажне судно «Панагія» з українським екіпажем [1].

Вчені Каліфорнійського університету в Хосе прогнозують кількісне і якісне ускладнення терактів на морі з погрозою для життя людей, особливо в Атлантиці і Середземномор'ї. Особливу тривогу викликає незахищеність морських портів і суден, більш уразливих, ніж аеропорти і літаки.

Від таких проявів, нажалю, не застрахована жодна держава, яка має вихід до моря і здійснює морські перевезення. Хоча Україна і знаходиться осторонь від «гарячих точок», тенденція росту екстремістських проявів не може залишати нас байдужими. Підписано численні міжнародні правові угоди, прийнято відповідні законодавчі і нормативні акти. Морський кордон протяжністю понад 1800 км, важливі морські транспортні коридори Чорного моря спонукають до активних дій в боротьбі з тероризмом. Ми пов'язані з багатьма країнами транспортними (у тому числі водними) артеріями і технологічними комунікаціями, руйнування яких від дій терористів приведе до величезного збитку і численних жертв. Так, через нашу територію проходять транзитні нафто- і газопроводи з Росії, що можуть стати об'єктами уваги зловмисників. У порт Південний з Тольятті протягнуто аміакопровід, на березі створено комплекс по переробці, збереженню і відвантаженню рідкого аміаку за кордон – Припортовий завод. На ньому створено відділення СБУ, у пор-

ту функціонує лінійний підрозділ міліції, є воєнізована охорона, територія контролюється телевізійною системою спостереження. По мірах безпеки, початим тут, Південний може служити зразком для інших важливих стратегічних об'єктів. Однак приходиться констатувати, що в цілому в Україні тільки створюється система попередження та запобігання тероризму й організованої злочинності на морському транспорті. Відповідно до конвенції Міжнародної морської організації (ІМО), введено нові стандарти безпеки під час перевезення пасажирів і вантажів. Відповідно до них капітан судна отримав право навіть не заходити в порт, якщо той не буде мати сертифікат, який підтверджує повний комплекс заходів антитерору.

Україна почала ініціювати участь у антитерористичних заходах. Так, у червні 2004 року під час Стамбульського самміту лідери країн-членів організації Північноатлантичного договору привітали пропозицію нашої країни надати підтримку в рамках операції «Активні зусилля» з моніторингу морських перевезень. Як варіант участі України у багатонаціональних антитерористичних заходах сьогодні розглядається можливість відрядження в акваторію Середземного моря кораблів ВМС Збройних Сил України. Але Угода між Україною та НАТО «Щодо участі України в операції «Активні зусилля»» поки що не ратифікована. Погодження цього питання дозволило б українським морякам в реальній обстановці відпрацювати заходи протидії морському тероризму. Адже надзвичайно важливо своєчасно виявити ознаки підготовки до терористичних дій. Проте без відповідних знань та досвіду важко розрізнити на морі серед тисяч малорозмірних плавзасобів (яхт, катерів, човнів, рибальських та інших суден) ті, на яких знаходяться терористи. Ще складніше виявити ознаки їхніх дій під водою.

Злочини терористичного характеру, які вчинені з застосуванням зброї і вибухових пристроїв, здобувають найбільшу небезпеку, коли їх об'єктом стають життя і здоров'я великої кількості людей, що користуються суспільним і особистим транспортом. Як свідчить практика, терористи нерідко використовують вогнепальну зброю і вибухові пристрої в транспортних засобах. Так, від актів міжнародного тероризму неодноразово страждали російські кораблі, зокрема теплоходи «Уільям Форстер», «Новогрудок», «Коммунарск», які були закидані вночі пляшками з горючою сумішшю. А в порту Сан-Хуан на туристський турбоелектрохід «Максим Горький» з американськими пасажирами на борту, який здійснював круїз до островів Карибського моря, кинули гранату. Теракт був спланований саме в той момент, коли у вестибюлі було багато людей [2].

Для підвищення безпеки українських суден на міжнародних лініях, протидії терористичним і піратським нападам на них, необхідно в найкоротший термін розробити механізм вступу України в Міжнародне морське бюро. В даний момент створена Служба морбезпеки і введення до складу екіпажу суден офіцерів охорони, що, відповідно до конвенцій

ІМО, повинні пройти спецпідготовку в тренувальних центрах та навчальних базах.

У створенні навчальної бази, немаловажне значення мають результати аналізу вивчення місця несення служби і прилягаючої до неї території (район плавання і т. ін.), результати прогнозування можливих злочинів та екстремальних ситуацій на судні для розробок заходів щодо їхніх знешкоджень. Наприклад, Чорноморське морське пароплавство виявилось єдиною у світі судноплавною компанією, що виконала рекомендації ІМО про підготовку моряків не на берегових макетах, а на діючому судні. Ще в 1983 році на одному з причалів Одеського морпорту був поставлений на прикіл сухогруз «Лесозаводск», побудований у 1960 р. на судноверфі Гданьска (Польща). Щоб переобладнати його під тренажер, ЧМП витратило 2,5 млн. карбованців – величезну по тим часам суму. Тут проходять спеціальну підготовку діючий плавсклад, студенти морських і медичних вузів Одеси, іноземні моряки, працівники спецслужб. Програма навчання включає кілька комплексів: крім протидії безпосередньо тероризму, виживання на морі, дії по запобіганню пожежі на судні й у позаштатних ситуаціях, надання кваліфікованої медичної допомоги, роботи на спеціалізованих плавзасобах. Недавно відкритий курс за фахом офіцер безпеки на судні. [3].

У морі очікувати допомоги ззовні не приходиться. Ми повинні вчити екіпаж не губитися, знаходити вихід з будь-якої ситуації. Навчання в Одеському центрі проводяться в рамках Міжнародної системи управління безпекою (ISM Code). Західні фахівці, по суті, взяли на озброєння добре налагоджений досвід роботи колишнього радянського флоту, навчальних закладів, що готували моряків і фахівців берегових споруд.

Назріла необхідність створення міжнародної системи зв'язку, здатної одержувати розвіддані про загрозу, що нависає над екіпажами, максимально повної й оперативної передачі цих даних урядовим структурам. Судновласникам і державам рекомендовано призначати офіцерів служб безпеки на великі транспортні судна і пасажирські лайнери, готувати фахівців відповідного профілю. Тому коротко розглянемо систему підготовки і підвищення кваліфікації фахівців у питаннях боротьби з тероризмом на морському транспорті.

У даній проблемі диференціюємо системи підготовки боротьби з тероризмом на морському транспорті:

1. Системи підготовки екіпажу до дій по різних сценаріям «не передбачуваних» ситуацій:

- командного складу;
- рядового складу.

2. Системи підготовки фахівця від судноплавної компанії, яка здійснює кураторство стану боротьби з тероризмом на об'єктах даної компанії (суднові екіпажі, порт і інші підприємства компанії).

3. Системи підготовки фахівців по охороні портів споруд.

Якнайшвидше є сенс розробити системи підготовки спеціальних груп для супроводу суден, які перевозять військові, вогненебезпечні, вибухові вантажі, хімічні та радіоактивні речовини, вдосконалення службової діяльності груп супроводу водного транспорту, в системи підготовки яких є сенс включити плавання та підводне плавання. Вивчаючи біологічні особливості людини при стрільбі зі зброї (крім вогнестрільної) в суднових умовах, розроблені і розробляються нові способи стрільби зі зброї (крім вогнестрільної) в суднових умовах, і спеціальні тренажери. Є специфіка рукопашного бою в суднових умовах. Фізична підготовка включає спеціальні комплекси вправ, що сприяють бійцеві активно діяти в суднових умовах бою.

Дані удосконалення службової діяльності спецгрупи в суднових умовах спрямовані на постійне удосконалення життєдіяльності, активної довголітньої творчої службової діяльності, спрямованої на виконання задач, поставлених перед спецгрупою.

На базі кримінологічних досліджень тероризму, піратства на водному транспорті, судно розглядається як елемент бойової обстановки з різними судновими внутрішніми і зовнішніми приміщеннями, механізмами і з безліччю інших речей розташованих на суднах, кожне з яких по-своєму впливає на дії терористів, членів екіпажу, пасажирів, вантажів, і т. ін. [4].

При розробці технічних засобів, різних систем попередження тероризму на флоті, відображення атак піратів, терористів локалізація їхніх дій, інші різні розроблені заходи спрямовані на боротьбу з тероризмом; конструкція судна розглядається як важлива складова бойової обстановки.

Як не дивно, але інколи об'єктами терористичного нападу стають сили та засоби ВМС. Одним із найрезонансніших актів тероризму на морі є збройний напад у жовтні 2000 року на есмінець ВМС США «Коул» (USS «Cole») поблизу берегів Ємену. В результаті теракту загинули члени екіпажу, а саме судно зазнало значних пошкоджень. А два роки потому терористи напали на французький танкер «Лімбург».

Тепер коротко розглянемо організаційні заходи попередження та запобігання тероризму на підприємствах морегосподарського комплексу.

Підприємства водного транспорту – це складний технічний і людський конгломерат, що вимагає до себе уваги фахівців з боротьби з тероризмом на підприємствах водного транспорту, від яких потрібно розробляти спеціальні учбово-методичні матеріали для підприємств водного транспорту.

Організаційні заходи щодо боротьби з тероризмом треба почина-ти як із проектування, ремонту, перебудови судна, так і з проектування підприємств водного транспорту.

При розробці організаційних заходів, попереджуючих тероризм на підприємствах морського транспорту, необхідно враховувати:

1. Результати прогнозування і моделювання тактики дій терористів винятково для даного об'єкту;
 2. Поетапне проникнення на об'єкт:
 - з морської сторони (включаючи дресированих морських тварин з вибуховими пристроями);
 - по повітрю (включаючи дресированих птахів);
 - з суші (включаючи дресированих терористами тварин);
 - з-під землі (по підземних комунікаціях);
 - тактику проникнення камікадзе на даний об'єкт.
 3. Дистанційний тероризм:
 - заміновані об'єкти, вантажі транспортуються на об'єкт із дистанційним вибуховим пристроєм.
 4. Терориста з числа персоналу об'єкту, що може використовувати внутрішні можливості об'єкту для здійснення терористичного акту.
 5. Розробку окремих додаткових заходів попередження та запобігання тероризму у відношенні місць складування вантажів, підри्व яких може викликати екологічні й інші нещастя. В окремий план входить загальний план організаційних заходів даного об'єкту.
 6. Проведення на даному підприємстві масових заходів (пам'ятні й урочисті дати й інші заходи за участю представників масової інформації, чиновників);
 7. Укладання додаткових окремих заходів попередження тероризму, якщо на об'єкті розташовані технічні й інші підрозділи, які здійснюють безпеку судноплавства, портові холодильники з аміаком і т. ін.
 8. Шляхи надходження, проходження, збереження потрібної інформації на даному об'єкті. Носії інформації.
 9. Технічний захист інформації. Доцільність застосування технічної розвідки і контррозвідки [5].
- Кожен об'єкт підприємства водного транспорту вивчається фахівцями по боротьбі з тероризмом, що розробляють організаційні заходи, характерні тільки для даного об'єкту, характеристика якого підходить до об'єкту терористичного акту.

Таким чином, морський транспорт, як один з найважливіших елементів техносфери, істотно впливає не тільки на економіку, але і на все громадське життя. Крім того, він завжди відносився до числа найбільш уразливих сфер терористичної діяльності, тому морський транспорт був і буде залишатися одним з найбільш пріоритетних об'єктів терористичних спрямувань.

Коротко розглянувши проблеми попередження та запобігання тероризму на морському транспорті України, можна зробити наступні висновки:

1) проблема боротьби з тероризмом на морському транспорті не тільки пов'язана з комплексною проблемою забезпечення безпеки, але з таким актуальним питанням як формування основ стратегії національної безпеки суспільства і держави.

2) підприємства, об'єкти і засоби морського транспорту є важливим елементом системи попередження та запобігання можливих терористичних актів, тому що:

- на них має місце значне скупчення людей та вантажів і є можливість ефективно здійснити терористичні акти, які супроводжуються найчастіше великими людськими жертвами, істотними матеріальним збитками і залякуванням людей, вселенням у них занепокоєння за своє життя і життя близьких;

- терористичні акти на морському транспорті можуть завдати істотної шкоди економіці не тільки однієї держави, а й декількох держав.

3) основними заходами попередження та запобігання тяжких наслідків від можливих проявів тероризму на морському транспорті України є:

- повноцінне залучення України як морської держави до боротьби з тероризмом на морському транспорті;
- участь України у багатонаціональних антитерористичних заходах та співпраця в цьому напрямку з НАТО;
- вступ України у Міжнародне морське бюро та створення міжнародної системи зв'язку здатної отримувати інформацію про загрозу морського тероризму;
- подальше удосконалення діяльності по забезпеченню безпеки морського транспорту продовжує залишатися пріоритетною державною проблемою, що вимагає перейняття накопиченого досвіду інших країн, рішення або подальшу доробку ряду питань як законодавчого, так і організаційного, фінансового, наукового і технічного характеру.

4) вирішення проблемних питань, пов'язаних з повноцінним залученням України до боротьби з тероризмом на морі, сприятиме попередженню та запобіганню проявів міжнародного тероризму в акваторії Чорного моря, зміцненню безпеки нашої держави та підвищенню її авторитету серед світової спільноти і значно прискорить процес практичної інтеграції до європейських структур.

Перспективою подальших наукових розробок вважаю попередження та запобігання тероризму на всіх видах транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Якимяк С. Пірати ХХІ століття // Військо України. № 7 (73). – 2006. – С. 29-31.
2. Смирнов С.Н. Организационные мероприятия предупреждения терроризма на предприятиях водного транспорта. – <http://iaiuo.narod.ru/text/terror.htm>
3. Багрий-Шахматов Л. На корабле – теракт. В Одессе учат как ему противостоять. – <http://www.sbu.gov.ua/pres/art/2002>.
4. Артамонов И.И. Криминалистические методы и средства предотвращения террористических акций на объектах и средствах транспорта. <http://www.unex.ru/cgi-bin/news>.
5. Чекалин А.А. Усовершенствование технических средств предупреждения терроризма на флоте. <http://www.unex.ru/cgi-bin/news/view>.

Надійшла 06.11.07

УДК 621.438

С.К. Чернов
К.Л. Семенчук

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ ТЕХНОПАРКУ НА БАЗІ НАУКОВО-ВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

У статті розглядаються питання управління інноваційними проектами в умовах технопарку. Розглядаються питання сутності управління інноваційними проектами, а також визначено ринок перспективних інноваційних проектів та типи спеціальних інноваційних проектів. Запропонований аналіз управління інноваційних проектів допоможе у роботі технопарків буде сприяти підтримці малого інноваційного підприємництва., створенню інформаційної, економічної, матеріально-технічної та соціальної бази для становлення і розвитку діяльності інноваційних підприємств.

Ключові слова: *інноваційна діяльність, технопарк, конкурентоспроможна продукція, мегапроекти, інноваційні структури.*

Аналізуючи світовий та вітчизняний досвід розвитку таких інноваційних структур, як технологічні парки, в статті обґрунтовується доцільність створення в Миколаєві технопарку «Українські газові турбіни».

Успішна інноваційна діяльність у науково-технічних і промислових секторах економіки України на перехідному етапі її розвитку є одним з головних факторів, що впливають на можливість становлення нашої країни в ряд найбільш розвитих в економічному і соціальному планах світових держав. На жаль, у пострадянський період інноваційна діяльність і створення необхідної для неї інфраструктури в країні з ряду причин не була настільки результативною, щоб серйозно вплинути на темпи росту економіки в цілому і її промислових секторах, зокрема. В даний час в Україні створюються сприятливі умови для істотної активізації інноваційної діяльності. Тому тему дослідження вважаю актуальною.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.

Тема статті носить практичний характер та пов'язана з програмою Верховної Ради України, яка визначає стратегічні пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки та з Законом України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» №2623-III від 11.07.2001 р., в якому визначено пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2006 року.

Даній проблемі присвячені статті таких авторів як В.І. Евсеєва, А.А. Іщенко, В.С. Кривицького, С.С. Ткаченко, В.Р. Атоян, А.А. Коваль, В.Ю. Тюрина, Ю.В. Чеботаревский, а також стаття «Вузовский технопарк как базовая структура инновационной деятельности региона».

Запропоновано основні напрями його діяльності. Розроблено етапи та перелік заходів з формування технопарку. Дано рекомендації щодо впровадження нових організаційно-економічних механізмів, принципів і методів взаємодії науки і виробництва при переході на інноваційну модель економічного розвитку. Також запропоновано механізми державної участі в створенні сприятливих умов роботи технопарків.

Запропонована структура технопарку буде сприяти формуванню територіального інноваційного середовища; розвитку підприємництва у науково-технічній сфері; підтримці малого інноваційного підприємництва та залученню зовнішніх та внутрішніх інвестицій у виробничу та науково-технологічну сферу.

Як свідчить світовий досвід, комерціалізація науково-технічних розробок через технопарки здійснюється в 4 рази швидше і у стільки ж разів дешевше, ніж коли це здійснюють традиційні наукові колективи. Процес створення технопарків в останні роки дуже інтенсифікувався. В сучасному світі їх вже більше 450. Зараз вони створені не тільки в розвинутих країнах. Процес їх формування розпочався і на пострадянському просторі. Так, в Росії вже створено понад 70 технопарків, 18 інноваційно-технологічних центрів, 50 тисяч малих технологічних фірм. Кожен 6-й технопарк у світі сьогодні російський. У середньому реалізація продукції на одного фахівця у технопарках Росії складає 10-30 тис. дол. на рік. Це у 3-5 разів нижче того, що вважається нормою в інноваційно розвинутих країнах [1. С. 6]. Аналіз різних сценаріїв розвитку російської економіки, виконаний Міністерством промислової політики, науки і технологій РФ, свідчить, що ніякій інший шлях, ніж інноваційний, не забезпечить таке значне зростання валового внутрішнього продукту – у 3-4 рази за 10-15 років [2].

За 1981-1989 р. мережа британських наукових парків зростає з 2 до 36. У 1996 р. їх вже було 46, і вони мали інвестиції на суму біля 1,11 млрд. дол., тобто середній обсяг інвестицій на парк складає більше 20 млн. дол. Парки дали можливість функціонувати 1260 компаніям, у яких знайшли роботу 23,5 тис. співробітників. Біля 30% інвестицій у наукові парки надходять з державних коштів за програмами Європейського Союзу, таких як Європейський фонд реконструкції і розвитку. Британський уряд безпосередньо не фінансує діяльність парків. Приблизно 11% інвестицій надходить від університетів, 25 % – із зовнішніх приватних джерел [3. С. 18]. Зараз у Великобританії вже більш як 50 технопарків. Спеціалісти вважають, що на кожний мільйон жителів країни повинен бути створений один технопарк.

Аналізуючи світовий досвід формування технологічних парків, а

також економічну ситуацію в Україні, можна стверджувати, що створення нових інноваційних структур на даному етапі має стратегічне значення для розробки і впровадження конкурентоспроможної продукції, забезпечення соціально-економічного розвитку України. За своєю суттю технопарки, як і інші інноваційні структури, виступають як організатори впровадження нової техніки і прогресивних технологій в різні галузі господарства. Завдяки цьому підвищується наукоємність і конкурентоспроможність продукції і послуг. Запровадження такої організаційної структури, як технопарк, дає можливість скоріше доводити науково-технічну ідею (розробку) до стадії виробництва і комерційної реалізації інноваційного продукту, забезпечуючи при цьому безперервність циклу «дослідження – розробка – проектування – дослідне виробництво – виробниче впровадження – збут продукції» [5].

Процеси впровадження інновацій у виробництво в Україні знаходяться на початковій стадії. Тому потребують подальшого вивчення і наукового обґрунтування питання створення нових інноваційних структур. За пропозицією Національної академії наук України одним із ефективних шляхів впровадження науково-технічних розробок у виробництво є створення технопарків [4]. В Україні робота щодо створення технопарків тільки починається.

Розпорядженням Президента України «Питання створення технопарків і інноваційних структур інших типів» від 23 січня 1996 р. № 17 була підтримана ініціатива Державного комітету науки і техніки, Міністерства освіти, НАН України та місцевих органів влади по створенню технопарків як одного з пріоритетних напрямів підвищення ефективності використання науково-технічного потенціалу для вирішення завдань технологічного відновлення виробництва. При цьому облдержадміністраціям рекомендувалося всебічно сприяти їхньому створенню [5]. Згідно з цим розпорядженням була створена Міжвідомча рада з координації діяльності щодо організації та функціонування технопарків та інноваційних структур інших типів [6], а також постановою Кабінету Міністрів України від 22 травня 1996 р. № 549 затверджено «Положення про порядок створення і функціонування технопарків та інноваційних структур інших типів» [7].

Що таке технопарк? У даному Положенні визначено, що технопарк як інноваційна структура – це юридична особа будь-якої організаційно-правової форми, яка створена відповідно до законодавства, або група юридичних і фізичних осіб, яка діє на основі договору про спільну діяльність з визначеними галуззю діяльності та типом функціонування, орієнтованими на створення та впровадження наукоємної та конкурентоспроможної продукції [7]. На технопарки покладено виконання таких завдань:

- створювати цілісну систему впровадження наукових розробок у виробництво, що включає наукові дослідження, розробку технологій,

впровадження у виробництво, випуск продукції й її успішне просування на внутрішній та світовий ринки;

- здійснювати підготовку, перепідготовку й підвищення кваліфікації вчених і фахівців для роботи в умовах ринку та інші.

Учасниками технопарку можуть бути науково-дослідні інститути, вищі навчальні заклади, конструкторські організації, промислові підприємства, інформаційні та консалтингові організації, з метою скорочення періоду між розробкою нововведень та їхнього впровадження у виробництво, реалізації всіх циклів інноваційного процесу, одержання високого прибутку в результаті продажу інноваційної продукції.

Незважаючи на те, що певна законодавча і методична база для їхнього розвитку вже створена, поняття технопарку має досить дискусійний характер. Так, ряд фахівців під технологічним парком розуміють нову форму інтеграції науки, освіти і виробництва у вигляді об'єднання наукових організацій, проектно-конструкторських бюро, учбових закладів, промислових підприємств або їх підрозділів. Такі технопарки створюються з метою прискорення розробки і застосування науково-технічних і техніко-технологічних досягнень завдяки зосередженню висококваліфікованих спеціалістів, використанню діючої виробничої та експериментальної бази і податкових пільг [8. С. 343].

Для створення й успішного функціонування технопарку в регіоні необхідне виконання низки умов, головними з яких є: привабливі економічні та правові умови, що роблять інноваційний продукт комерційно вигідним, та наявність різноманітних джерел фінансування; достатньо розвинутий науково-технічний потенціал науково-дослідних установ, вузів, малих технологічних фірм, які є постачальниками науково-технічних розробок в регіоні; наявність виробничих підприємств, що є замовниками науково-технічних розробок і базою для їх практичної реалізації.

Місто Миколаїв є в цьому розумінні привабливим регіоном. Економічну привабливість інноваційній діяльності надає можливість одержання пільг згідно з Законом України «Про оподаткування прибутку підприємств». Так, технологічні парки, їх учасники, дочірні та спільні підприємства не перераховують до бюджету податок на прибуток, а зараховують на спеціальний рахунок та використовують зазначені суми виключно на наукову та науково-технічну діяльність, розвиток власних науково-технологічних і дослідно-експериментальних баз [9; 10. С. 818]. Ще більш істотні пільги можна одержати при реєстрації виконуваних інноваційних проектів як інвестиційних відповідно до Закону України «Про спеціальну економічну зону м. Миколаїв» [11].

Пріоритетні напрями діяльності технопарку включають:

- модернізацію електростанцій, на основі парогазових, когенераційних, типа «Водолій» та інших установок;
- машинобудування та приладобудування на основі створення

енергоефективного, ресурсозберігаючого обладнання для металургійної галузі, залізничного транспорту, комунального господарства та інших галузей;

- модернізацію та реконструкція газотранспортної мережі з використанням газотурбінних двигунів типу «Водолій», охорона навколишнього середовища шляхом зменшення техногенного навантаження на довкілля.

Згідно з цим проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності створення Миколаївського технологічного парку «Українські газові турбіни» розроблено науково-методичне та нормативно-правове забезпечення цієї інноваційної структури.

Технопарк створюється з метою:

- інтенсифікації розробок, виробництва і впровадження наукоємкої та конкурентоспроможної продукції;

- координації та взаємного погодження дій учасників технопарку, направлених на задоволення потреб внутрішнього ринку та нарощування експортного потенціалу країни;

- організаційного удосконалення інноваційної діяльності та комерційного трансферу науково-технічних розробок;

- залучення внутрішніх та іноземних інвестицій для вирішення задач, що стоять перед технопарком;

- створення сприятливих умов становлення та розвитку малих і середніх інноваційних підприємств, що працюють в науково-технічному середовищі, в тому числі шляхом організації бізнес-інкубатора в межах технопарку;

- організації промислового випуску та широкого використання інноваційних продуктів технопарку;

- створення нових і збереження існуючих робочих місць та іншої діяльності, що не суперечить чинному законодавству.

При створенні технопарку треба керуватися умовами Положення «Про порядок створення і функціонування технопарків і інноваційних структур інших типів» [7. С. 34]. Необхідно відзначити, що немає єдиної універсальної моделі технопарку. Розмір технопарку, його організаційна структура і система управління залежать від наявних ресурсів, економічного і культурного клімату в регіоні, наукової та промислової бази основних напрямків діяльності.

Створення технопарку дає можливість втілити в життя принципи і методи взаємодії академічної, галузевої, вузівської науки, виробництва і регіональних органів влади. З цього приводу визначено місце науково-технічної ради технопарку в сфері науково-технічного розвитку регіону як консультативного органу, що має функції стратегічного управління та координації.

Як правило, кожен технопарк включає бізнес-інкубатор, тобто будинок чи кілька будинків, де протягом обмеженого часу (від 2 до 5 ро-

ків) орендують приміщення знову створені малі підприємства. За цей час фірма повинна «встати на ноги» і залишити бізнес-інкубатор, перейшовши в більш просторі приміщення технопарку чи взагалі за його межі. За даними Національної асоціації бізнесів-інкубаторів США, співвідношення успішних компаній і компаній-банкрутів у звичайних умовах складає 20:80, а в бізнесах-інкубаторах навпаки – 80:20.

Бізнес-інкубатор може існувати і сам по собі, пропонуючи своїм клієнтам офісні й виробничі площі з відповідним комплексом технічних послуг (телефон, Internet) і консультації по правових і комерційних питаннях (бізнес-плани, маркетинг, реклама, бухгалтерія). Технопарки, на відміну від бізнесів-інкубаторів, пропонують в оренду площі на необмежений термін і, насамперед, орієнтовані на впровадження нових технологій. Подальший розвиток технопарку приводить до виникнення технополіса. Цим терміном прийнято називати науково-виробничий комплекс із розвитком інфраструктурою сфери обслуговування, що охоплює територію цілого міста. Також для ефективного функціонування технопарку у його організаційно-функціональній структурі необхідно створювати такі підрозділи, як бізнес-центр, інноваційно-технологічний та інформаційний центри. Вони надають послуги малим і середнім інноваційним підприємствам з питань менеджменту, маркетингу, правового та інформаційного забезпечення.

Висококваліфіковані спеціалісти (економісти, юристи, програмісти та інш.) навчають маркетингу, менеджменту, фінансовій діяльності, бухгалтерському обліку, банківським послугам, роботі з офісним обладнанням і документами.

Інформаційне забезпечення підрозділів технопарку здійснюється інформаційним центром. Він забезпечує доступ до баз і банків даних, спеціальної літератури, комерційної інформації. До технопарку можуть входити підрозділи академічних та галузевих науково-дослідних інститутів, науково-дослідних секторів вузів, проектних і конструкторських бюро, малі й середні підприємства, експериментальні й дослідні заводи, науково-дослідна діяльність яких пов'язана з розробкою і впровадженням у виробництво техніки і технологій, що забезпечують ресурсозбереження, переробку, утилізацію і знешкодження виробничих і побутових відходів і охорону довкілля.

В структурі технопарку створюються малі й середні інноваційні підприємства. Мале інноваційне підприємство створюється під конкретний інноваційний проект для того, щоб технічна ідея нового або удосконаленого виробу, продукту, технологічного процесу була доведена до стадії дослідного зразка чи пілотної установки і підготовлена до впровадження у виробництво.

Малі інноваційні підприємства можуть направляти свою діяльність на розповсюдження виконаних розробок, на організацію виробництва і збуту нової, або удосконаленої технічної продукції чи техноло-

гічного процесу. Технопарк надає малому інноваційному підприємству виробничі та невиробничі площі, комплексні правові, технічні, маркетингові, брокерські, інформаційні та лізингові послуги, дослідницьку та дослідно-виробничу інфраструктуру.

Промислові підприємства, які мають вільні виробничі площі, зацікавлені в їх здачі в оренду технопарку для створення інноваційних підприємств. Вони можуть виділяти приміщення і обладнання із власних основних фондів як на умовах оренди, так і в якості власного внеску у спільне виробництво, а також забезпечувати виділені потужності необхідними енергетичними носіями та іншими технологічними ресурсами.

Технопарк сприяє створенню кооперації поміж інноваційним підприємством і підприємством-орендодавцем. Створені малі та середні підприємства, що входять до структури технопарку в подальшому можуть стати підвалиною створення і розвитку нових науково-виробничих підприємств, які вироблятимуть наукоємну конкурентоспроможну продукцію.

Авторами розроблені етапи створення технопарку:

1. Прийняття рішення про створення технопарку.
2. Визначення підприємств-створювачів.
3. Визначення пріоритетних напрямів діяльності технопарку.
4. Визначення наукових установ і підприємств, які мають вільні виробничі площі, які можна передати в оренду інноваційним підприємствам технопарку.
5. Створення робочої групи з формування організаційно-функціональної структури технопарку.
6. Розробка нормативно-організаційних документів діяльності підрозділів технопарку.
7. Формування науково-технічної ради технопарку.
8. Техніко-економічне обґрунтування технопарку з визначенням режимів ціноутворення, оподаткування, митного регулювання, валютно-фінансового та кредитного механізмів.
9. Визначення засновників технопарку.
10. Оформлення статутних документів діяльності технопарку.
11. Розробка проекту Закону України «Про спеціальний режим інвестиційної та інноваційної діяльності Миколаївського технологічного парку «Українські газові турбіни».

Основними джерелами фінансування інноваційної структури є:

- вклади учасників;
- бюджетне фінансування за умови виконання державного замовлення;
- кредити банків;
- інвестиції, в тому числі іноземні;
- прибуток від підприємницької діяльності інноваційної структури
- випуск в обіг цінних паперів.

Вкладами учасників інноваційної структури, за винятком технопарків, можуть бути будинки, споруди, обладнання та інші матеріальні цінності, права користування землею, водою та іншими природними ресурсами, цінні папери, а також інші майнові права (в тому числі на інтелектуальну власність), кошти, в тому числі в іноземній валюті.

Технопарк розробляє і затверджує проект своєї діяльності. Проект діяльності інноваційної структури розробляється відповідно до типового проекту, який затверджується Комісією з організації діяльності технологічних парків та інноваційних структур інших типів.

На думку авторів у процесі створення технопарку, а особливо у фінансуванні держава бере дуже незначну участь.

Механізми державної участі в створенні сприятливих умов роботи технопарків в економіці умовно можна представити у виді трьох груп заходів:

- створення спеціальних фінансових інструментів державної підтримки інноваційної діяльності;
- розробка і реалізація непрямих методів регулювання;
- формування відповідної інноваційної інфраструктури.

Серед фінансових інструментів державної участі можна виділити два ключових: фінансування через систему державних науково-технічних програм різного рівня і через спеціально створені фонди, або вже існуючі комітети, наприклад Державного Комітету з питань регуляторної політики та підприємництва.

Існує досить широке коло цільових науково-технічних програм. Це коло, на жаль, постійно скорочується і переформовується, а ефективність використання фінансових засобів з подібних фондів залишає бажати кращого. Доступ до засобів подібних програм для окремих наукових установ і промислових підприємств дуже не простий, якщо немає потрібних зв'язків з чиновниками в міністерствах на федеральному і регіональному рівнях. Доступу до засобів програм допомагає також наявність впливових вчених і керівників, здатних домогтися включення своїх установ і підприємств у число виконавців тієї чи іншої цільової програми.

Непрямі міри стимулювання включають розробку і використання розумної і стабільної податкової системи, нормативно-правового регулювання в області створення, передачі, захисту й охорони інтелектуальної власності. Вони припускають також забезпечення сприятливих умов у законодавчій, правовій сфері для формування і здійснення діяльності структур, що беруть участь у виробництві і комерційній реалізації наукових знань і технологій. Це стосується підприємств промисловості, малого бізнесу, науково-технічних організацій, університетів, бізнес-інкубаторів, технопарків і інших організацій.

Кожна з перерахованих тем заслуговує самостійного розгляду і серйозного аналізу через свою актуальність і складність використання в

реальній діяльності. Отже, технопарки можна розглядати з декількох точок зору. *По-перше*, як особливий вид вільної економічної зони, у якій розробляється наукомістка продукція та формуються нові кадри. З цього боку технопарк відповідає вимогам до основних процесів, що відбуваються у світовій економіці. *По-друге*, наука дає стимул розвитку бізнесу, головним чином малого, що дозволяє говорити про технопарки, як про форму підтримки малого підприємництва, розвиток якого дозволяє вийти на якісно нову ступінь суспільного відтворення. *По-третьє*, саме в технопарках наука отримує фінансові та інші додаткові можливості для проведення фундаментальних і прикладних пошуків і стає менш залежною від держави. Створення технопарків в Україні – проходження по шляху, який створили високорозвинені країни, що віддали свій технологічний розвиток у руки високоінтелектуального венчурного бізнесу. З прийняттям Закону України, яким визначені правові та економічні норми інвестиційної та інноваційної діяльності технологічних парків, дана легальна свобода інвестиційній й інноваційній діяльності технопарків в Україні. Але негайних результатів діяльності наукових парків у нашій державі, безумовно, очікувати не можна. Технопарки лише створюють основи нової наукомісткої економіки, умови для прориву на світовий ринок високих технологій. Необхідно ще грамотно й ефективно скористатися цими можливостями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Понарина Е. Казанские инновации // Поиск, 1998. – № 17. – С. 6.
2. Арзамасцев Н. Механизмы государственного содействия при коммерциализации технологий // <http://www.tech-business.ru/tb/page06.htm>
3. Бутко А.В., Макогон Б.П., Коновалов А.Ф. О целесообразности и необходимости образования «Донецкого научно-технологического парка» // Рыночные аспекты развития экономики в регионе: Сб. науч. тр.– Донецк: ИЭП НАН Украины, 1999. – С.17-20.
4. Перший крок на шляху створення «технопаркової» держави: набрав чинності Закон «Про внесення змін до деяких законів України з питань оподаткування» (у зв'язку з запровадженням спеціального режиму інвестиційної та інноваційної діяльності технопарків): З виступу Президента НАН України Б.Є.Патона на засіданні Верховної Ради України під час обговорення закону // Світ. – 2000. – № 25-26. – С. 2
5. Розпорядження Президента України «Питання створення технопарків та інноваційних структур інших типів» від 23 січня 1996 року №17/96 // Урядовий кур'єр. – 1996. 25 січня. – № 15-16 (710-711): Орієнтир: документи. – С. 6.

6. Постанова Кабінету Міністрів України від 28 квітня 1998 року № 471 «Про Міжвідомчу Раду з координації діяльності щодо організації та функціонування технопарків та інноваційних структур інших типів» // Зібрання постанов уряду України. – Ст. 312. – 1996. – № 10. – С. 189-190.
7. «Положення про порядок створення і функціонування технопарків та інноваційних структур інших типів», затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 22 травня 1996 року № 549 // Зібрання постанов уряду України. – Ст. 340. – 1996. – № 12. – С. 34-36.
8. Райсберг В.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцев Е.Б., Современный экономический словарь. – 2-е изд., испр. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 479 с.
9. Закон України «Про оподаткування прибутку підприємств» // Відомості Верховної Ради України. – 1997. – № 27. – Ст. 181; 1998. – № 10. – Ст. 35; № 18. – Ст. 94; 1999. – № 15. – Ст. 83; № 18. – Ст. 140; № 32. – Ст. 264; № 38. – Ст. 352; № 39. – Ст. 356; 2000. – № 2. – Ст. 16; № 10. – Ст. 78.
10. Закон України «Про спеціальний режим інвестиційної та інноваційної діяльності технологічних парків», «Напівпровідникові технології і матеріали, оптоелектроніка та сенсорна техніка», «Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона», «Інститут монокристалів», затверджений 16 липня 1999 року №991-ХІV // Відомості Верховної Ради України. – Ст. 363-364. 1999. – № 40. – С. 817-820.
11. ВВР – 2000. – № 42. – С. 349.

Надійшла 08.11.07

СОДЕРЖАНИЕ

Ученые

Одесского национального морского университета

ВЛАДИМИР ПЛАТОНОВИЧ ЦЕСЕВИЧ – ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, ОРГАНИЗАТОР НАУКИ И ЕЕ ПОПУЛЯРИЗАТОР	3
---	----------

Оборудование и эксплуатация морских портов

Пустовой В.Н. ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС И ПРОБЛЕМЫ ОБНОВЛЕНИЯ ПАРКА ПОРТОВЫХ КРАНОВ МОРСКИХ ПОРТОВ УКРАИНЫ	8
Школа Ю.А. НАГРУЗКИ НА ШПАЛЬНО-БАЛЛАСТНОЕ ОСНОВАНИЕ РЕЛЬСОВЫХ ПУТЕЙ ТЯЖЕЛЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ	17
Бондаренко С.Н. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВ	23

Теория, строительная механика и проектирование корабля

Воробьев Ю.Л. ПОТЕНЦИАЛ ВОЗМУЩЕННЫХ СКОРОСТЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ПОСТУПАТЕЛЬНОМ ДВИЖЕНИИ СУДНА НА МЕЛКОВОДЬЕ	34
Витюк В.Ф., Георгалина Е.Р., Кириллов В.Х., Чернышев А.С. ДИФРАКЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН НА ВОЛНОЛОМАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ДНЕ ЛИБО ЧАСТИЧНО ПОГРУЖЕННЫХ В ЖИДКОСТЬ	41
Егоров Г. В., Автутов Н.В. СОЗДАНИЕ ЧЕРНОМОРСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАРОМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ СУДОВ	52
Козляков В.В., Соловьев А.А., Аврамов В.В., Бутенко Н.Ф. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ УЗЛОВ СУДОВЫХ БЕСКНИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	68
Демидюк А.В., Тонюк В.И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДОЛЬНОЙ КАЧКИ ТРИМАРАНА	81

Гидротехническое строительство

Гришин В.А., Снисаренко В.И., Федорова Е.Ю. БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫЕ ВОЛНОЗАЩИТНЫЕ СТЕНЫ	89
Шокарев В.С. ОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ОСТАТОЧНОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ УСТРАНЕНИИ ИХ КРЕНА	106
Школа А.В. ОСАДКИ ИСКУССТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В МОРСКИХ ПОРТАХ	115

Проектирование и прочность деталей машин

Коноплев А.В. АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ГИПОТЕЗ НАКОПЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НАГРУЗКЕ	133
Малахов А.В., Леонов В.В., Ткаченко И.В., Гугуев О.Е. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИСКОВЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ	142
Лимаренко А.М., Немчук А.О. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАСЧЕТА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СТАНКОВ	155

Холодильная техника

Вассерман А.А., Мальчевский В.П. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСИ ХЛАДАГЕНТОВ R134a/R290	160
Вычужанин В.В. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ВОЗДУХООБРАБОТКИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ СКВ	172

Проблемы подготовки специалистов

Кошарская Л.В., Турлак А.А., Турлак Т.А. НОВЫЕ УЧЕБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ	185
Фердман Г.П. ПРО ПРОБЛЕМИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ЗАПОБІГАННЯ ТЕРОРИСТИЧНИХ АКТИВ НА МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ	194
Чернов С.К., Семенчук К.Л. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ ТЕХНОПАРКУ НА БАЗІ НАУКОВО-ВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ	203

ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Збірник наукових праць

Випуск 23

*Українською, російською
та англійською мовами*

Видається з 1998 р.

*Свідоцтво про державну реєстрацію:
Серія КВ № 278
від 25.07.1997 р.*

Комп'ютерне верстання та розробка
оригінал-макету збірника – *Кобзева Н.Ю.*

Підписано до друку з оригінал-макету 04.12.07
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 13,4.
Замовлення № 631.

Адреса редакційної колегії та Видавництва ОНМУ:
65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34,
тел. 728-31-14