

ВІСНИК



ОДЕСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

29

РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Изложены особенности создания современного отечественного флота судов смешанного плавания на основе реклассификации (повышения класса судна).

Викладено особливості створення сучасного вітчизняного флоту суден змішаного плавання на підставі рекласифікації (підвищення класу судна).

Specificities of generation of modern domestic fleet of mixed-navigation ships on base of reclassification (rising of ship's class) are written.

Ключевые слова: проектирование, суда смешанного плавания, модернизация, накладные полосы.

Главная особенность сегодняшнего состояния торгового флота, подконтрольного украинским и российским судовладельцам, состоит в том, что значительная часть этих судов относятся к судам смешанного река-море плавания (ССП), реклассифицированным из речных судов и судов с более слабыми классами.

Снижение темпов строительства транспортного и промыслового флота СССР во второй половине 80-х годов прошлого столетия и негативные экономические реалии в экономике последующего периода привели к известным последствиям. Флот, находящийся под контролем судовладельцев России, Украины и других стран СНГ, продолжает катастрофически стареть.

Так, в 1989 году в составе ЧМП было 320 судов. Устаревшие универсальные твиндечные сухогрузные суда типа «Бежица», «Муром», «Славянск», «Коммунист», «Пула», «Капитан Кушнарченко» и др., построенные в 1961-1973 гг., составляли 46%. Аналогичная картина наблюдалась в 1990 году в НМП. На учете последнего состояло 110 судов, из них сухогрузов, балкеров и нефтенавалочников – 31 (6 типа «Славянск»), нефтеналивных судов – 79. Среди танкеров лишь 14 имели двойной контур в районе грузовой зоны. Большинство морских судов уже в то время требовало замены как не удовлетворяющее представлениям фрахтователей и грузовладельцев свободного рынка в отношении грузовых операций и экологической безопасности.

В силу развала централизованной системы внешнеэкономической деятельности отфрахтовка судов с устаревшим архитектурно-конструктивным типом стала крайне сложным делом – традиционные грузы и грузопотоки на Кубу, Вьетнам, Индию, Ирак, страны Африки с «социалистической» ориентацией резко сократились, а в условиях реальной конкуренции на свободном рынке с такими судами войти в т.н. «соглашения» было тяжело.

РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Естественный путь выхода из такой ситуации – судостроение, в начале 90-х годов практически не был задействован. В подобных условиях в ЧМП были приняты решения о проведении крупных модернизаций с целью повышения эффективности существующих судов. Работала специальная группа по омоложению флота (А.З. Шевченко, В.В. Севрюков, Е.Г. Оберемок и др.). Фактически были выполнены работы по увеличению контейнеровместимости судов типа «МЕРКУР 2» (устройство бортовых булей), «Герои Панфиловцы», «Николай Жуков» (укладка твердого балласта) и ряд других переоборудований. Была проработана возможность размерной модернизации с заменой средней части судов типа «Славянск», «Коммунист» и «Капитан Кушнаренко» с переоборудованием их в многоцелевые сухогрузные суда, суда – контейнеровозы и танкеры. К сожалению, эта многообещающая программа выполнена не была.

Нишу, оставленную бывшими морскими пароходствами, заняли суда ограниченных районов плавания, многие из которых были переоборудованы из речных судов на судоремонтных и судостроительных заводах Украины.

В начале 90-х годов возник термин «реклассификация», который использовался Российским морским Регистром судоходства для обозначения процесса перехода ССП с более низкими классами на более высокие классы по району плавания.

Целью настоящей статьи является анализ подходов, применяемых при реклассификации ССП.

Речные пароходства бывшего СССР обладали большим количеством «исходного материала» классов «М-СП», «М-пр», «О-пр», которые в потенциале могли быть конверсированы (реклассифицированы) в ССП. Всего, как видно из табл. 1, таких судов было около 1000 единиц.

Это были сухогрузные суда типа «Волго-Балт» проектов 781, 2-95, 2-95А/Р, типа «Амур» проекта 93/13-040, типа «СТК» проектов 326, 326.1, типа «СТ» проектов 19620, 19620А, 19620М, 191, Р168, типа «Волго-Дон» проектов 507, 507А, 507Б, 1565, 1565М1, типа «Волжские» проектов 05074, 05074М, 05074А, типа «Сибирские» проектов 292, 0225, типа «Калининград» проекта 21-88, 21-89, типа «Омский» проектов 1743, 1743.1, 1743.3, 1743.7, А1743.7; нефтерудовозы проекта 1570 и нефтеналивные суда типа «Волгонефть» проектов 558/550, 1577/550А, типа «Ленанефть» проектов Р77, 621, 621.1, 630.

Основным отличием корпусов таких судов является применение небольших толщин листовых элементов (6-10 мм) и набора (5-8 мм) корпуса, что обеспечивает существенный выигрыш в металлоемкости корпусов за счет ограничения надежности (см. подробнее в работах [1, 2, 3, 5]). Примеры толщин и профилей, фактически применяемых на существующих ССП, приведены в табл. 2. В табл. 3 перечислены места выполнения и тип работ для ССП. На рис. 1-5 приведены примеры (основные типы) корпусных работ при переоборудовании ССП на отечественных верфях.

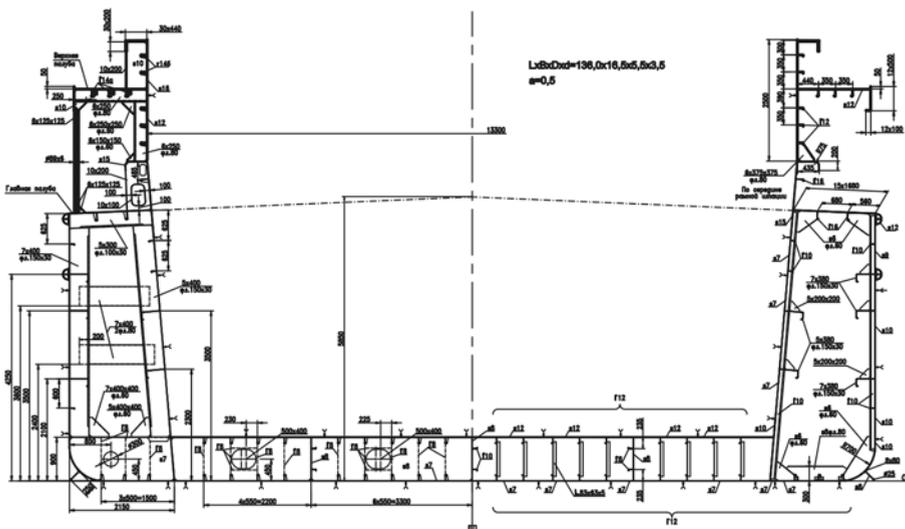
**РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ**

Таблица 1

*Данные по судам смешанного река-море плавания,
принадлежавшим бывшим государственным речным пароходствам РФ
на 01.01.1994 г.*

Номер i/п	Судоходная компания	Суда смешанного плавания	
		сухогрузы	танкера
1.	Волготанкер		207
2.	Волжское речное пароходство	40	
3.	Камское речное пароходство	16	
4.	Московское речное пароходство	18	
5.	Волго-Донское пароходство	45	
6.	Кубанское речное пароходство	4	
7.	Северо-Западное пароходство	152	
8.	Беломорско-Онежское пароходство	118	
9.	Северное речное пароходство	20	
10.	Западное пароходство	26	
11.	Обь-Иртышское пароходство	4	
12.	Енисейское речное пароходство	6	
13.	Ленское речное пароходство	83	37
14.	Амурское речное пароходство	33	5
	Итого в речных пароходствах РФ	565	249
15.	АСК «Укрречфлот» (данные на 01.01.95)	75	

Перечень наиболее распространенных проектов модернизации ССП приведен в табл. 3.



*Рис. 1. Переоборудование корпуса ССП проекта 05074М
типа «Волжский» путем подъема комингса*

РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Таблица 2

Таблицы и профили набора корпусов
сметных реклассифицированных ССРП

Номер проекта судна	305.1	05074A	1749	1749.1	2-05A	92-040	621	202	0225	05074M
1. Тип	СПК	Воздушный	Сезонный	Возго-Вент	Амур	Дельта-Белфь	Сибирский	Белозерский		
2. Объем данных по проекту										
L, м	71,45	100,78	102,15	102,15	107,48	107,48	115,58	121,25	122	132,20
Ширина основного набора, м	0,550	0,600	0,600	0,600	0,550	0,550	0,530	0,550	0,550	0,600
Предельная толщина материала, мм										
Классовая	235	300	295	295	235	335	235	300	320	300
Глубина	235	235	235	235	235	235	235	315	320	235
Длина	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
3. Наружная обшивка, мм										
Шпангоут		90	100	100	130	120	120	125	125	90
Наливной борт	80	100	70	80	80	80	100	125	110	100
Полы переменной ВЛ	70	100	70	80	80	80	100	110	110	100
Подливый борт	70	100	70		90	80	100	110	110	100
Стежи	80	100	100	100	90	80	100	95	110	100
Декор	70	70	80	80	70	80	90	8,5	8,5	7,0
Горизонтальный киль	70	70	80	80	90	90	90	8,5	12,0	7,0
4. Высота, мм										
Второго дна	100	120	80	100	80	120	70	120	120	120
Верхней палубы	120	150	100	100	130	120	120	125	125	150

РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Продолжение табл. 2

Номер проекта судна	326.1	05074А	1743	1743.1	2-054В	2-05А	90-040	621	292	0225	05074М
5. Обшивка 2-го борта, мм											
Нижний пояс	7,0	7,0	6,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,0	7,0
Средний пояс	7,0	7,0	6,0		9,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,0	7,0
Верхний пояс	7,0	9,0	6,0	8,0	10,0	7,0	10,0	7,0	8,0	13,0	7,0
6. Обшивка палубных переборок, мм											
Нижний пояс	6,0	7,0	5,0	5,0	7,0	6,0	8,0	7,0	7,0	7,5	7,0
Средний пояс	6,0	6,0	5,0	5,0	6,0	6,0	8,0	7,0	6,0	7,5	6,0
Верхний пояс	5,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	8,0	7,0	6,0	7,5	5,0
7. Набор в двойном дне											
БК, мм	8,0	8,0	6,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,5	8,0
Длиней стрингер, мм	8,0	8,0	6,0	8,0	7,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,5	8,0
Флоры, мм	8,0	8,0	6,0	8,0	8,0	7,0	8,0	7,0	8,0	8,5	7,0
Продольные РЖ 2-го дн	65x130x8	12 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	14 мБ	12 мБ	130x85x8	16 мБ	12 мБ
Продольные РЖ донца	65x100x7	12 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	14 мБ	12 мБ	100x85x8	16 мБ	12 мБ
8. Набор в двойных бортов											
Килевой шпангоут	50x100x6	12 мБ	10 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	16 мБ	16 мБ	12 мБ
Глухой шпангоут, мм	6,0	7,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8	8,0	7,0
Бортовой стрингер, мм	6,0	7,0	5,0	6,0	7,0	7,0	10,0	9,0	8,0	8,0	7,0
Продольные РЖ верхней палубы	16 ⁴ мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	10,0	15x8/100x12	18x13/150x13	14 ⁴ мБ	150x90x10	26 мБ	16 ⁴ мБ
Продольные РЖ 2-го борта		10 мБ	10 мБ	10 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	12 мБ	130x85x8	16 мБ	10 мБ
9. Продольный комплект, мм	18,0	16,0	14,0	14,0	15,0	31,5,0	15,0	-	17,0	16,0	16,0

РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Таблица 3

Перечень кодабле расширенных ярмароч коверсионных ССП

Номер проекта, класс РС	Выполнение требований МК	Наличие носов	Усиление высоты борта	Усиление	Подъем килевоса	Бак, кот	Мости, подкрепления	Место переоборудования
2-05, ПСП	+	-	-	-	-	-	-	Ростов-на-Дону, Калининград, СПбург, Петрозаводск, Архангельск, Владивосток, Керчен, Севастополь, Карень, Бамань, Николаев, Севастополь, Мариуполь
2-05, ПСП	+	+	-	-	-	-	-	Керчен, Калининград, СПбург
2-05, ПСП	+	-	-	-	+	+	+	Керчен, Севастополь
1743, 1743.1, ПСП	+	+	-	-	-	-	+	Ростов-на-Дону, Калининград, СПбург, Рязань, Владивосток, Николаев, Севастополь, Калининград, Керчен, Бамань, Севастополь, Тушин (Тушин)
1743, 1743.1, ПСП	+	-	+	-	+	+	+	Николаев, Тушин (Тушин)
326, 362.1, 087, ПСП	+	-	+	-	-	+	+	Ростов-на-Дону, Калининград, СПбург, Архангельск, Владивосток, Керчен, Бамань, Севастополь, Тушин (Тушин)

**РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ**

Продолжение табл. 3

Номер проекта, класс РС	Выполнение требований МК	Наличие полум	Увеличение высоты бортов	Ускорение	Подъем ювелиров	Бак кот	Мест. судре-дства	Место переоборудования
19630, 19630А, 191, ИСП	+	+	+	-	-	+	+	Ростов-на-Дону, Калининград, С.Петербург, Одесса, Николаев, Харьков, Николаев, Севастополь, Туши (Турция)
Д8810А, ИСП	+	+	-	-	-	-	-	Харков, Киев, Севастополь
1570, 590А, ИСП	+	+	-	-	-	-	-	Рыбныец, Агриваны, Симеград, Волгоград, Калининград, С.Петербург, Севастополь
507Б, 1565, 66014А, ИСП	+	+	-	-	-	+	+	Калининград, С.Петербург, Николаев, Харьков, Одесса, Керчь, Николаев, Николаев, Севастополь
507Б, 66014, 1565, ИСП	+	-	-	-	+	+	+	Ростов-на-Дону, Николаев, Харьков, Одесса, Керчь, Николаев, Николаев, Севастополь
507Б, ИСП	+	-	-	+	-	+	+	Харков
92-040, ИСП	+	-	-	-	-	-	-	Ростов-на-Дону, Калининград, С.Петербург, Петропавловск, Архангельск, Николаев, Харьков, Одесса, Керчь, Николаев, Николаев, Севастополь, Мариуполь, Туши (Турция)

РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Итак, переоборудование судов на отечественных верфях, повышение класса и расширение района плавания происходили по нескольким направлениям.

1. Широко применялась модернизация в виде конвенционного дооборудования ССП без корпусных работ. Прочность корпусов обеспечивалась за счет проектных резервов. Существенный толчок подобному подходу дало снижение (см. Φ_r – коэффициенты редуцирования по отношению к требуемым W_{\min} для неограниченного района плавания на рис. 6) нормативов РС в части стандарта общей прочности корпусов судов классов I, II, ПСП, ШСП, III в период с 1990 по 1997 гг., проведенное на основании исследований под руководством Г.В. Бойцова. Например, суда пр. 92-040 и 326.1 реклассифицировались с «М-СП» на ПСП без подкреплений. При этом предъявление судов производилось по фактическому состоянию корпуса.

2. С 1989 года, на основе применения того или иного количества накладных полос (листов), в море были выпущены более 200 ССП более чем 30 различных проектов [7].

Изменение момента сопротивления корпусов ССП, модернизированных на российских и украинских заводах при применении накладных полос, составляло от 10 до 40 % (см. табл. 4). Пример такой модернизации дан на рис. 4 и 5.

а)

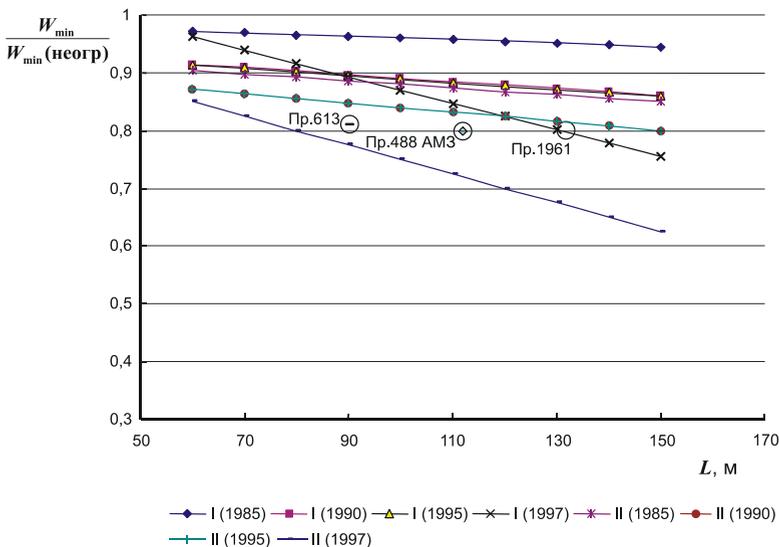
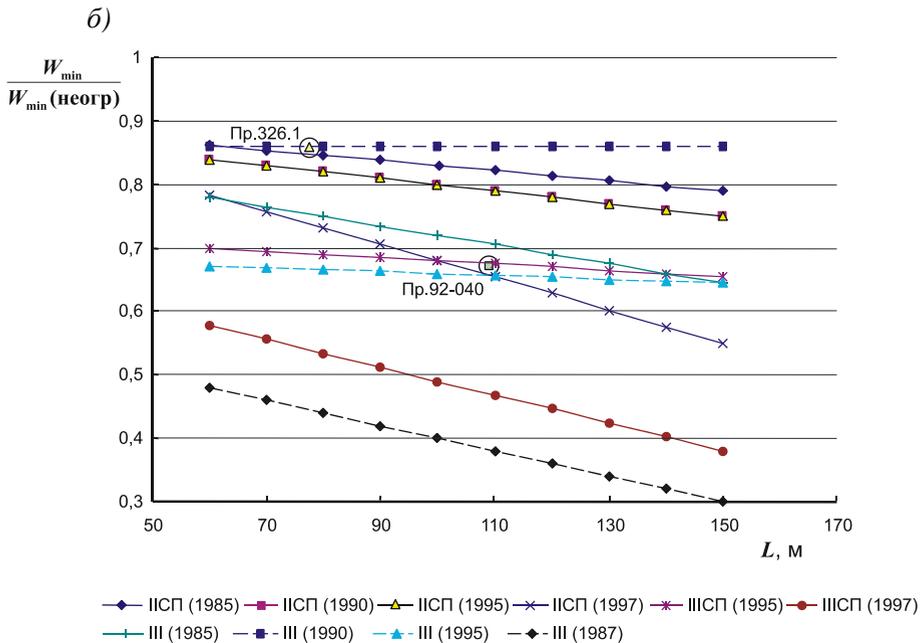


Рис. 6. Изменение требований Правил РС различных лет издания к общей прочности судов ограниченных районов плавания:

$W_{\min(\text{неогр})}$ – требуемый РС;

W для судов неограниченного района плавания

РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ



Продолжение рис. 6. Изменение требований Правил РС различных лет издания к общей прочности судов ограниченных районов плавания:

$W_{\min(\text{неогр})}$ – требуемый РС;

W для судов неограниченного района плавания

3. Размерная модернизация (укорочение) корпуса позволила более, чем тридцати ССП с относительно малым исходным стандартом прочности корпуса получить более высокие классы (суда проектов 05074М, 1565, 507, 1570, 550А, 1743). Однако при этом резко уменьшалась грузоместимость переоборудованных судов (например, в проекте 507Б спецификационное УПО снизилось с 1,77 до 1,15 м³/т) и грузоподъемность на ограниченных осадках (на внутренних водных путях и в Азовском море).

4. В проектах 19620, 191, Р168, 326, 326.1, имевших высокие продольные комингсы с полками на уровне линии борта, для увеличения эффективного надводного борта применялись решения по «зашивке» бортов – продлении наружной обшивки с набором до полок комингса (см. рис. 3).

5. Конверсия речных судов в ССП часто сопровождалась установкой (или увеличением размеров) бака, юта, созданием средней надстройки.

**РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ**

6. С 1998 года на ряде проектов начала реализовываться идея о подъеме непрерывного продольного комингса на высоту, равную или большую высоты «стандартной» надстройки.

Таблица 4

Определение и сравнение моментов сопротивления корпусов ССП до (W_0) и после (W) установки накладных полос (фактический износ)

Наименование	$W_0, \text{ м}^3$, без подкреплений	$W, \text{ м}^3$, с подкреплениями	W_0/W
Проект 2-95 (класс ПСП)	0,7219	0,7859	0,919
Проект 2-95А/Р (класс ПСП)	0,7296	1,0160	0,718
Проект 0225 (класс ПСП)	1,1300	1,5160	0,745
Проект 1743 (класс ПСП)	0,5751	0,8896	0,646
Проект 1743 (класс ШСП)	0,5691	0,6502	0,785
Проект 21-88 (класс ШСП)	0,4032	0,5641	0,715
Проект Д080 (класс ШСП)	0,7906	1,0140	0,780

Это позволило при существенном увеличении момента сопротивления корпуса (за счет роста высоты эквивалентного бруса) одновременно увеличить грузоподъемность (за счет учета комингсов трюмов как ящиков с обеспечением прохода по вновь установленной палубе) и грузоемкость судна (за счет изменения геометрии корпуса). Например, увеличение высоты комингса на 2,5 м на судах проектов 05074М, 507Б, 1565 (на настоящий момент переоборудовано или находится в стадии модернизации около 50 судов, головное – «Дмитрий Варварин») позволило перевести суда из речного класса «О-пр» с допускаемой высотой волны 3 % обеспеченности 2,5 м в классы РС ШСП (высота волны 3,5 м) или ПСП (высота волны 6,0 м). Дедвейт в море увеличился на 58 % (с 3800 до 6000 т), грузоемкость – на 47 % (с 6400 до 9400 м³), что принципиально важно для перевозки зерновых, лесных грузов, металлолома, бумаги, семечки. Стоимость переоборудования составляла в 2001-2003 гг. от 900 до 1100 тыс. долларов США в зависимости от завода и класса РС. Пример такой конверсии судна проекта 05074М приведен на рис. 1, судна проекта 2-95 – на рис. 2.

7. При модернизациях корпусов судов решались вопросы не только обеспечения общей прочности, но и устанавливались дополнительные подкрепления для удовлетворения требований РС к местной прочности. Среди них усиления конструкций ледового пояса, конструкций носовой оконечности на восприятие ударных нагрузок, днищевых конструкций на восприятие увеличившихся внешних нагрузок, а также для обеспечения

РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

местной прочности и устойчивости днищевых и палубных перекрытий танкеров.

Результатом является полное изменение «лица» флота грузовых судов, подконтрольных отечественным судовладельцам. Как видно из табл. 5, доля реклассифицированных судов составляет в классе ПСП 56 %, в классе М-СП 77 %, а в классе ШСП практически все суда были реклассифицированы из речных.

Выводы

1. В настоящее время ССП, переоборудованные на украинских и российских заводах, эксплуатируются под флагами России, Украины, Грузии, Молдовы, Туркмении, Эстонии, Турции, Греции, Мальты, Панамы, Гондураса, Белиза, Камбоджи, Монголии и ряда других стран и составляют основу транспортного флота, находящегося под контролем отечественных судовладельцев. Суда имеют классы РС, GL, BV, PPP, PY, Хорватского Регистра, Болгарского Регистра, Польского Регистра, Греческого Регистра, Турецкого Ллойда, Иранского Регистра, Регистра Молдовы, IRS, INSB и INCLAMAR с различными ограничениями по допускаемому удалению от портов, по допускаемой высоте волны (от 2,5 м до 8,5 м) и по разрешенным районам и сезонам плавания.

2. Реклассифицированные ССП успешно выполнили свою историческую задачу, «закрыв» на 10-15 лет брешь, оставшуюся после исчезновения морских судов близкого тоннажа из отечественных портов [4].

3. За последние 15 лет корпуса существующего флота ССП во многом выработали свой износный и усталостный ресурс.

4. Количество аварий и катастроф ССП в последние годы растет.

Следовательно, пришло время обновлять отечественный флот судов смешанного река-море плавания, обоснованно продлевая ресурс существующим объектам [6] или создавая новые суда, учитывающие изменившиеся условия их эксплуатации [1].

Таблица 5

Реклассифицированные суда (данные 2003 г.)

Класс	Количество реклассифицированных судов	Их доля от общего числа судов в классе, %
I	39	19
ПСП	277	56
ШСП	180	98
М-СП	87	77

**РЕКЛАССИФИЦИРОВАННЫЕ СУДА
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ**

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Г.В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска. – СПб.: Судостроение, 2007. – 384 с.
2. Егоров Г.В. Особенности технической эксплуатации корпусов судов смешанного плавания // Вісник ОДМУ. – Одесса: Вид-во ОДМУ, 2000. – Вип. 5. – С. 83-95.
3. Егоров Г.В. Анализ накопленного опыта и перспективы существенных переоборудований судов на отечественных верфях // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – № 1 (387). – С. 10-19.
4. Егоров Г.В. Суды смешанного плавания: история и роль в экономике // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2008. – № 2 (419). – С. 3-11.
5. Егоров Г.В. Суды смешанного река-море плавания: перспективы существующего флота // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2008. – № 3 (420). – С. 3-12.
6. Егоров Г.В., Автутов Н.В. Суды смешанного река-море плавания: обоснование стратегии обеспечения безопасности и обновления флота // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2008. – № 4 (421). – С. 35-43.
7. Применение накладных полос для обеспечения общей прочности корпусов судов смешанного плавания / В.В. Козляков, Г.В. Егоров, Б.Н. Станков, А.А. Соловьев // Труды второй международной научно-технической конференции по судостроению-ISC'98. Секция С. – СПб., 1998. – С. 58-65.

Надійшла 16.11.09

ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»

Предлагаются два способа классификации судна, как малого. Первый из них основан на таких качествах как прочность и быстроходность, второй базируется на сравнении энергии волны и кинетической энергии судна. Определены диапазоны длин и водоизмещений, которые характеризуют быстроходное однокорпусное малотоннажное судно.

Запропоновано два способи класифікації судна, як малого. В основі першого лежать такі якості як міцність і швидкохідність, другий базується на порівнянні енергії хвилі та кінетичної енергії судна. Визначені діапазони довжин і водотоннажностей, які характеризують швидкісні однокорпусні малотоннажні судна.

It is offered two ways for categorization a ship, as small. One the first is founded on such quality as strenght and high speed, the second is based on comparison of the energy of the wave and kinetic energy of ship. The ranges of lengths and displacements, which characterize the high-speed monohull small ship, are offered.

Ключевые слова: классификация судов, быстроходное однокорпусное малотоннажное судно, термин «малое судно».

Регистр судоходства Украины в Правилах классификации и постройки малых судов [1] определяет малое судно как судно наибольшей длиной 24 м включительно. Такое определение не всегда точно характеризует судно, а именно когда речь идет о многокорпусных судах или однокорпусных судах с характерными для их режима эксплуатации соотношениями главных размерений. Логичнее было бы использовать для быстроходных судов привязку к объемному водоизмещению судна V и их максимальной скорости V_{\max} , в м/с, используя формулу конвенции СОЛАС $v_{\max} \geq 3,7V^{0,1667}$ (рис. 1.1, кривая 1).

Режим движения судна характеризуется числами Фруда по водоизмещению $Fr_V = \frac{v}{\sqrt{g^3 \sqrt{V}}}$, т.е. $v = 3,13Fr_V V^{0,1667}$. Приняв $v = 3,7V^{0,1667}$, в соответствии с формулой СОЛАС, приведенной выше, получим $3,7V^{0,1667} = 3,13Fr_V V^{0,1667}$ и определим $Fr_V = 1,18$. Следовательно, судно можно считать высокоскоростным при $Fr_V \geq 1,18$. Переходный режим обычно рассматривают при числах Фруда $1 \leq Fr_V \leq 3$. В данной работе рассмотрены суда с числами Фруда от 1,18 до 3. Принимая значение $Fr_V = 3$, можно получить $v \leq 9,39V^{0,1667}$ (рис. 1.1, кривая 2).

ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»

Для обеспечения общей прочности судна необходимо выполнить условие

$$\sigma_{\text{доп}} W_{\text{min}} \geq \frac{\Delta_{\text{min}} L_{\text{min}} n}{k}, \quad (1.1)$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допускаемые напряжения, принимаемые для конструкций из стали $0,8\sigma_{\text{тек}}$;

W_{min} – минимальный момент сопротивления эквивалентного бруса корпуса судна с минимально допустимой толщиной обшивки t_{min} ;

Δ_{min} – минимальное весовое водоизмещение судна;

L_{min} – длина судна;

n – коэффициент перегрузки;

k – коэффициент, характерный для данного типа судов.

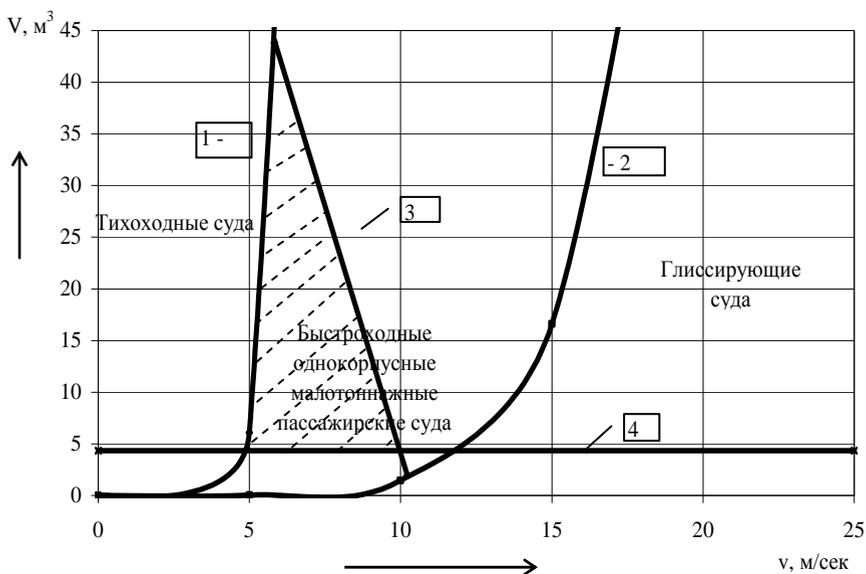


Рис. 1.1. Границы, характеризующие быстроходное однокорпусное малотоннажное пассажирское судно

Минимальный момент сопротивления эквивалентного бруса W_{min} корпуса малого судна для формы, представленной на (рис. 2 а), определен в работе [2] $W_{\text{min}} = t_{\text{min}} D \left(B + \frac{D}{3} \right)$.

**ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО
ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»**

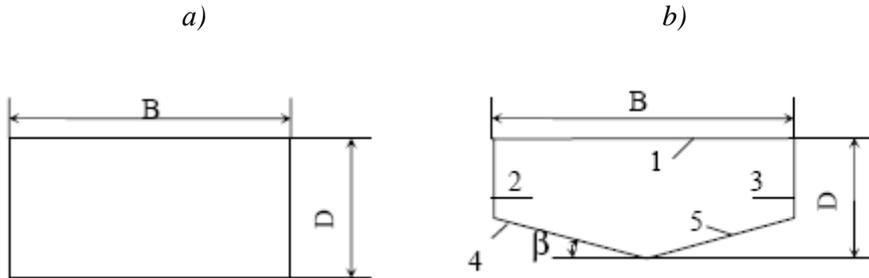


Рис. 1.2. Два типа поперечных миделевых сечений малого судна

Для быстроходных судов переходного режима будет характерно поперечное сечение, представленное на рис 1.2 б. Угол килеватости β принимаем равным 26° , что присуще обводам «глубокое V», довольно часто используемая форма для переходного режима. Положение нейтральной оси (н.о.) принято посередине высоты борта, так как наличие килеватости сместит положение н.о. по направлению к палубе, а необходимость создать более прочную, по отношению к палубе, способную выдерживать нагрузки от ударов встречных волн, днищевую конструкцию требует смещения нейтральной оси по направлению к днищу. Все приведенные выше соображения можно применить и к круглоскулой форме корпуса.

В результате расчетов (табл. 1.1) получена формула для момента сопротивления поперечного сечения судна

$$W_{\min} = (0,33D^2 + 0,039B^2 + 0,81DB - 0,039 \frac{B^3}{D})t_{\min}, \quad (1.2)$$

где D – высота борта судна;

B – ширина судна.

Значение $t_{\min} = 2,5$ мм принято по рекомендациям [3].

При поперечной системе набора корпуса судна $t_{\min} = 2,5$ мм, но при применении продольной системы толщину t_{\min} необходимо увеличить на распределенную по периметру поперечного сечения судна площадь сечений продольных связей. Анализируя данные по эквивалентному брусу судна на подводных крыльях, приведенные в [4], можно рекомендовать увеличить t_{\min} на 3-4 %.

**ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО
ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»**

Таблица 1.1

Элементы поперечного сечения судна (рис 1.2 б)

Номера элементов соответствуют рис. 1.2 б	Площадь элемента F	Расстояние от центра тяжести элемента до н.о. z
1	$t_{\min} B$	$\frac{D}{2}$
2, 3	$(D - \frac{B}{2} \operatorname{tg} 26^\circ) t_{\min}$	$\frac{B}{2} \operatorname{tg} 26^\circ$
4, 5	$\frac{B t_{\min}}{2 \cos 26^\circ}$	$\frac{D}{2} - \frac{B}{4} \operatorname{tg} 26^\circ$

В таблице 1.2 приведены данные по пассажирским судам прибрежного плавания переходного режима.

Минимальное водоизмещение Δ_{\min} получено в результате умножения минимального значения $p_{\text{уд}} = \frac{\Delta}{n_{\text{пасс}}} = 0,33$ т/чел. на количество $n_{\text{пасс}}$.

Таблица 1.2

*Данные по пассажирским судам прибрежного плавания
переходного режима*

Название	Число т водоизмещения на одного пассажира $p_{\text{уд}} = \frac{\Delta}{n_{\text{пасс}}}$	Водоизмещение Δ , т	Минимальное водоизмещение, Δ_{\min} , т	W_{\min} , м ³ , по формуле (1.2)	$\frac{\Delta_{\min}}{W_{\min}}$
Александр Грин	0,48	95,0	66,0	0,03	2216
Радуга 2	0,40	52,6	42,9	0,02	1889
Phoenix	0,35	28,3	26,4	0,02	1113
Wakaayu	0,33	20,5	20,5	0,02	1392
Marine	1,03	288,2	92,4	0,06	1593

**ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО
ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»**

Hawk					
------	--	--	--	--	--

Коэффициент k в формуле (1.1) рассчитан на основании требований [4] к быстроходным судам. В формуле для расчета изгибающего момента $M = 1,15\Delta L(1 - 1,5c_b)(1 + a_{CG})$ учтены перегрузки на волнении $(1 + a_{CG})$, коэффициент общей полноты c_b , водоизмещение Δ и длина судна L . Принимая $c_b = 0,4$, что характерно для пассажирских судов переходного режима, получаем $M = \frac{\Delta L}{2,2}(1 + a_{CG})$. Следовательно, коэффициент k равен 2,2.

Значение коэффициента n в формуле (1.1) принято на основании экспериментальных данных [5] о перегрузках, возникающих в переходном режиме при движении на волнении. При высоте волны $h_{3\%} = 3,5$ м и числе $Fr_V = 3$ $n = 2,9$, при $Fr_V = 1,18$ $n = 1,1$. Высота волны 3,5 м соответствует ограниченному району плавания R3 и R3-RSN.

Итак, находя L_{min} из (1.1), получаем два значения, при $Fr_V = 3$ и $Fr_V = 1,18$, $L_{min} \leq 9$ м и $L_{min} \leq 23$ м соответственно. Переходя к водоизмещению малых быстроходных пассажирских судов прибрежного плавания и учитывая характерные для данного типа средние значения соотношений главных размерений, $\frac{L}{B} = 6$ и $\frac{L}{d} = 20$, получим значение

$\Delta_{min} = 2-44$ т. Соответствующая линия нанесена на график (рис. 1.1, прямая 3).

Значение Δ_{min} также может быть получено путем умножения $p_{уд} = \frac{\Delta}{n_{пасс}} 0,33$ т/чел. на число $n_{пасс} = 13$, что соответствует определению пассажирского судна международными конвенциями. В этом случае $\Delta_{min} = 4,3$ т (рис. 1.1, прямая 4). Заштрихованная область соответствует диапазонам скоростей и водоизмещений характерным для быстроходных однокорпусных малотоннажных пассажирских судов.

Существует второй способ определения критерия «малое судно».

По предложению [6] энергия $E_B = \frac{\gamma g h_B^2 L_B}{8}$ характеризует энергию на единицу ширины поверхности волны, высотой h_B и длиной L_B . Прини-

**ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО
ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»**

маем $h_B = 3,5$ м, что соответствует $L_B = 70$ м, при $\frac{L_B}{h_B} = 20$. Высота вол-

ны 3,5 м соответствует ограничению района плавания R3 и R3-RSN. Далее находим кинетическую энергию судна, с учетом присоединенной массы воды, как $E_c = \frac{1,1mv^2}{2} = \frac{1,1\gamma c_b LBdv^2}{2}$.

Представляя удельную энергию волны в виде $E = \frac{1,1\gamma gh_B^2 L_B}{8} \frac{B}{d}$, получаем значение E , характерное для судов с различными значениями относительной ширины $\frac{B}{d}$, которая для большинства морских судов и судов смешанного плавания лежит в пределах $2 \leq \frac{B}{d} \leq 4$.

Далее записываем неравенство, в котором сравниваются удельная кинетическая энергия судна и удельная энергия волны

$$\frac{1,1\gamma c_b LBdv^2}{2d} \leq \frac{\gamma gh_B^2 L_B}{8} \frac{B}{d}. \quad (1.3)$$

Для обеспечения минимального сопротивления воды движению судна в переходном режиме можно воспользоваться результатами работы, проведенной в опытовом бассейне ЦНИИ имени академика А.Н. Крылова и сделать вывод, о предпочтительных значениях отношения длины к ширине судна $\frac{L}{B} = 5-7$. Значение коэффициента общей полноты судна c_B следует принимать в диапазоне от 0,4 до 0,6. После преобразований и подстановки $\frac{L}{B} = 6$ и $c_B = 0,5$, средних значений приведенных выше диапазонов, из формулы 1.3 можно получить выражение для длины судна.

$$L \leq \sqrt{\frac{1,36gh_B^2 L_B}{v^2 c_B} \frac{B}{d}}. \quad (1.4)$$

Принимая $h_B = 3,5$ м, $L_B = 70$ м, что соответствует ограничению района плавания R3 и R3-RSN и, задаваясь значениями скоростей судна, можно рассчитать длину судна по формуле 1.4 (табл. 1.3).

Данные табл. 1.3 представлены на рис. 1.3.

**ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО
ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»**

Таблица 1.3

Результаты расчета по формуле 1.4

v , м/сек	5	10	15
$B/d = 4$			
L	61	30	20
Fr_L	0,21	0,58	1,07
$B/d = 3$			
L	53	26	18
Fr_L	0,22	0,62	1,15
$B/d = 2$			
L	43	21	14
Fr_L	0,24	0,69	1,27

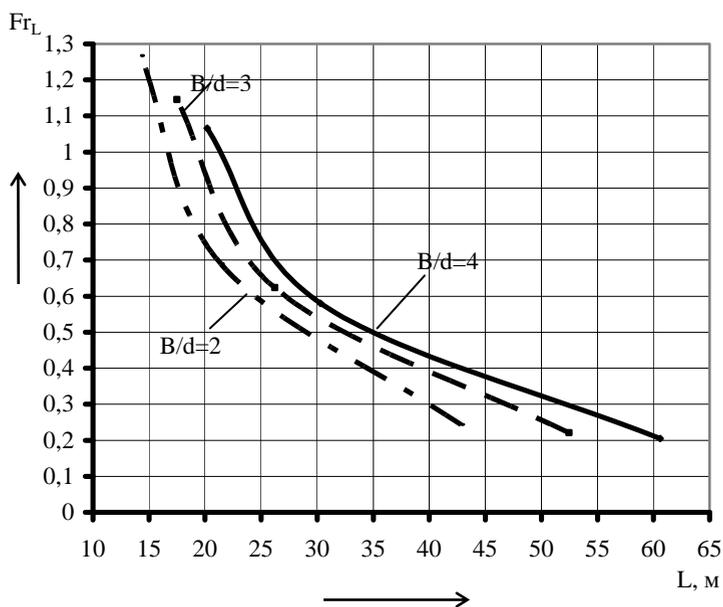


Рис. 1.3. Зависимость Fr_L от длины судна с учетом формулы 1.4

Как было отмечено выше, в данной работе рассмотрены суда переходного режима, для которых характерны числа Фруда по водоизмеще-

**ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО
ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»**

нию от 1,18 до 3, что соответствует числам Фруда по длине от 0,45 до 0,98.

При $Fr_L = 0,45$ соответствующая длина судна менее 38 м. При $Fr_V = 3$, длина малого судна менее 17 м.

Задаваясь значениями $\frac{L}{B}$, $\frac{B}{d}$, Fr_L и C_B характерными для оп-

ределенного типа судов возможно определение значения длины судна, меньше которого плавсредство можно считать «малым».

Различные классификационные общества по разному определяют «малость» судов. Например Bureau Veritas выделяет группу судов длиной менее чем 65 м. Lloyd's Register of Shipping считает малыми металлические суда длиной менее 50 м и суда длиной менее 30 м, корпуса которых построены из пластика или дерева. Регистр судоходства Украины рассматривает судно как малое, если его длина менее 24 м.

Подводя итоги данной работы, можно сделать следующие выводы.

Используя первый способ определения судна как малого, следует полагать, что если быстроходное однокорпусное малотоннажное пассажирское судно (БОМПС) эксплуатируется при относительных скоростях $Fr_V = 1,18-3,0$ и водоизмещение БОМПС прибрежного района плавания находится в пределах от 2 до 44 т, а длина варьируется от 9 до 23 м, то это судно является малым.

Используя второй способ определения судна как малого, следует считать, что если длина быстроходного однокорпусного судна прибрежного района плавания от 17 до 38 м, то оно считается малым.

Применяя оба указанных выше способа и задаваясь характерными для данного типа судов соотношениями главных размерений, коэффициента общей полноты, характеристиками материала корпуса и относительной скоростью, возможно более четко назначить границы, в которых находится длина судна и его водоизмещение, характеризующее это судно как малое.

ЛИТЕРАТУРА

1. Регистр судоходства Украины. Правила классификации и постройки малых судов. – В 3-х т. Т. 1. – 70 с.
2. Опыт проектирования и постройки, состояние и перспективы малотоннажного судостроения: Тезисы докладов научно-технической конференции. – Вып. НТО им. акад. А.Н. Крылова 79. – 1966. – 140 с.

**ТЕРМИН «БЫСТРОХОДНОЕ МАЛОЕ СУДНО
ПРИБРЕЖНОГО ПЛАВАНИЯ»**

3. *Bureau Veritas. Part II-B. Hull Structure. Chapter 13. Light high-speed ships. Rules and Regulations for the Classification of Ships of less than 65 m in length. – 1990. – 16 с.*
4. *Rules for Classification and Construction. – Hamburg: Gebrüder Braasch, 1996 (Germanischer Lloyd). Chapter 5: High Speed Craft. – 1996. – 272 с.*
5. *Локишин А.З. Расчетное проектирование связей корпуса судна. Суда на подводных крыльях: Учебн. пособие. – Л.: Изд-во ЛКИ, 1978. – 50 с.*
6. *Томас К. Гилмер. Проектирование современного корабля. – Л.: Судостроение, 1984. – 376 с.*

Надійшла 20.11.09

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ

По результатам массовых расчетов динамической посадки судна, идущего по мелководью, предложена зависимость относительного максимального погружения оконечности от скорости хода, глубины фарватера и геометрических характеристик судна.

За результатами масових розрахунків динамічної посадки судна, яке рухається в мілководді, відпрацьована формула, що дозволяє знайти максимальне заглиблення його корпусу в залежності від швидкості пересування та характеристик судна.

Results of squat calculations for a group of ships going in shallow water are used for constructing practical formulae for hydrodynamic sinkage and trim determination.

Ключевые слова: динамическая просадка судна, запас глубины под килем.

Посадка судна, идущего на тихой воде, отличается иногда весьма существенно от его посадки при плавании без хода.

В связи с возникновением гидродинамических вертикальной силы F_z и дифференцирующего момента M_y появляются просадка судна и его ходовой дифферент. В [1] с помощью метода сращиваемых асимптотических разложений определены гидродинамическая сила F_z и гидродинамический момент M_y таким образом:

$$F_z = \frac{\rho V^2}{2\pi H \sqrt{1 - Fh^2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x) \frac{dS(\xi)}{d\xi} \frac{d\xi dx}{|x - \xi|} - \quad (1)$$

$$- \frac{\rho V^2 HFh^2}{12\pi \sqrt{1 - Fh^2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{dB(x)}{dx} \frac{dS(\xi)}{d\xi} \frac{d\xi dx}{|x - \xi|^2}$$

$$M_y = \frac{\rho V^2}{2\pi H \sqrt{1 - Fh^2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} B(x)(x - x_f) \frac{dS(\xi)}{d\xi} \frac{d\xi dx}{|x - \xi|} - \quad (2)$$

$$- \frac{\rho V^2 HFh^2}{12\pi \sqrt{1 - Fh^2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \left[\frac{dB(x)}{dx} (x - x_f) + B(x) \right] \frac{dS(\xi)}{d\xi} \frac{d\xi dx}{|x - \xi|^2}$$

В формулах (1) и (2) L – длина судна, H – глубина фарватера, V – скорость хода судна, $S(x)$ – строевая по шпангоутам по действующую

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

ватерлинию, $B(x)$ – ширина этой ватерлинии на шпангоуте с абсциссой x , x_f – абсцисса центра тяжести площади ватерлинии $B(x)$, $Fh = \frac{V}{\sqrt{gH}}$.

Вторые слагаемые в (1) и (2) содержат особые интегралы. В (1) – это интеграл в смысле главного значения (valeur principale) по Коши, причем особый интеграл имеет полюс первого порядка в подынтегральной функции, а в (2) – это «конечная часть» (partie finie) второго интеграла, имеющего полюс второго порядка в подынтегральной функции.

Используя величины гидродинамических сил F_z и момента M_y , легко определить изменение динамической посадки судна ΔT и ходового дифферента ψ

$$\Delta T = -\frac{F_z}{\gamma S_{WL}}; \quad \psi = -\frac{M_y}{\gamma(J_0 - x_f^2 S_{WL})}, \quad (3)$$

где S_{WL} – площадь действующей ватерлинии;

J_0 – момент инерции площади ватерлинии S_{WL} вокруг поперечной оси.

Изменения осадок судна носом ΔT_H и кормой ΔT_K

$$\Delta T_H = \Delta T - \left(\frac{L}{2} - x_f\right); \quad \Delta T_K = \Delta T + \left(\frac{L}{2} + x_f\right). \quad (4)$$

Расчетные формулы (1), (2), (3) и (4) были запрограммированы и по ним проведены массовые расчеты максимального отношения погружения носа и кормы ΔT_H и ΔT_K к запасу воды под килем $\Delta H = H - T$, H – глубина фарватера, T – осадка судна на миделе. В качестве расчетных объектов приняты корпуса судов серии 60 разной полноты ($\delta = 0,6$; $\delta = 0,7$; $\delta = 0,8$) с различными значениями L/B , B/T и L/T . Относительная глубина фарватера изменялась в пределах от $H/T = 1,05$ до $H/T = 3,00$. Результаты систематических расчетов показали, что во всех рассмотренных случаях $\Delta T_K > \Delta T_H$ и поэтому в качестве максимальных рассматриваются отношения $\frac{\Delta T_K}{\Delta H}$, обозначаемые как $\frac{\Delta T}{\Delta H}$. Расчеты для

оценки влияния вторых слагаемых в формулах (1) и (2) позволили установить, что это влияние приводит к увеличению максимального перемещения на величину до 10 %-15 %. Таким образом, вторые слагаемые в формулах для гидродинамической силы и момента, позволяющие дополнительно учесть влияние глубины фарватера, должны быть приняты, поскольку пренебрежение этими слагаемыми приводит к ошибке в опасную сторону.

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

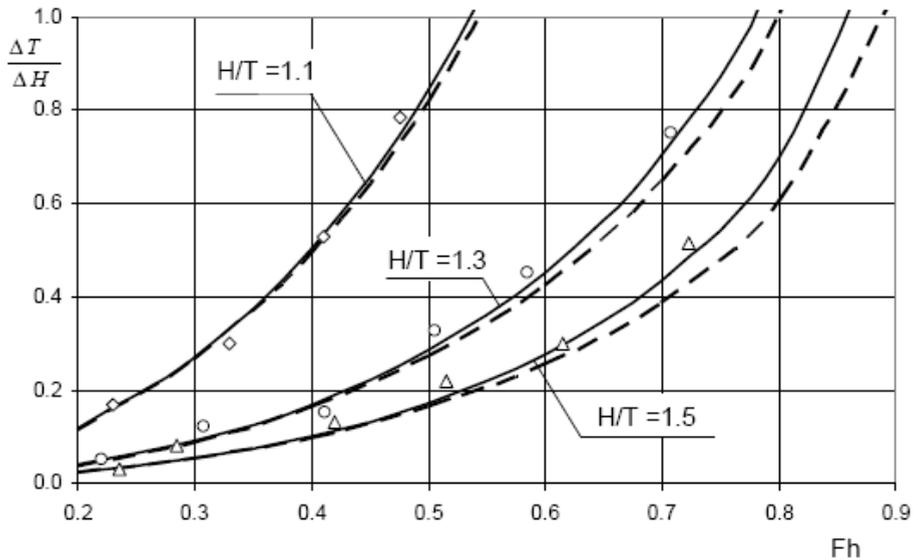


Рис.1. Расчетные и экспериментальные значения $\frac{\Delta T}{\Delta H}$

На рис. 1 приведены результаты расчетов $\frac{\Delta T}{\Delta H}$ для судна серии 60 $\delta = 0,8$; $L/B = 5,5$; $B/T = 2,5$ при различных относительных глубинах фарватера $H/T = 1,1; 1,3; 1,5$. Сплошными линиями представлены результаты расчетов с полным использованием формул (1), (2), штриховыми линиями показаны результаты расчетов с использованием «усеченных» формул для силы и момента, т. е. формул без второго слагаемого. Здесь же точками нанесены результаты экспериментального определения посадки судна на модели в опытовом бассейне Одесского национального морского университета.

С целью накопления систематизированных данных о динамической посадке судов на ходу были выполнены расчеты $\frac{\Delta T}{\Delta H}$ для ста семнадцати вариантов движения судов серии 60, судна «Армада» и танкера «Крым» по мелководному фарватеру.

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

Таблица 1

Относительный запас глубины под килем судна «серии 60»

Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=1,05 δ=0,6									
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,117	0,058	0,029	0,019	0,015	0,012	0,010	0,006	0,003	
0,25	0,184	0,092	0,046	0,031	0,023	0,018	0,015	0,009	0,005	
0,30	0,269	0,135	0,067	0,045	0,034	0,027	0,022	0,013	0,007	
0,35	0,373	0,186	0,093	0,062	0,046	0,037	0,031	0,018	0,009	
0,40	0,497	0,248	0,124	0,083	0,062	0,050	0,041	0,025	0,012	
0,45	0,645	0,322	0,161	0,107	0,080	0,064	0,053	0,032	0,016	
0,50	0,820	0,410	0,205	0,136	0,102	0,082	0,068	0,040	0,020	
0,55		0,514	0,256	0,171	0,128	0,102	0,085	0,050	0,024	
0,60		0,637	0,318	0,212	0,158	0,126	0,105	0,062	0,030	
0,70		0,968	0,483	0,321	0,240	0,192	0,159	0,094	0,044	
0,80			0,747	0,496	0,371	0,295	0,245	0,144	0,067	
0,90				0,859	0,641	0,510	0,423	0,247	0,112	
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=21,0; B/T=3,0; H/T=1,05 δ=0,6									
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,1166	0,05827	0,02913	0,01942	0,01456	0,01165	0,00970	0,00582	0,00290	
0,25	0,1842	0,09210	0,04604	0,03069	0,02301	0,01840	0,01533	0,00919	0,00457	
0,30	0,2691	0,1345	0,06725	0,04482	0,03360	0,02687	0,02238	0,01340	0,00666	
0,35	0,3728	0,1864	0,09315	0,06207	0,04653	0,03721	0,03099	0,01854	0,00919	
0,40	0,4974	0,2486	0,1243	0,08279	0,06205	0,04961	0,04131	0,02470	0,01220	
0,45	0,6456	0,3227	0,1612	0,1074	0,08050	0,06434	0,05357	0,03200	0,01576	
0,50	0,8213	0,4105	0,2051	0,1366	0,1023	0,08178	0,06807	0,04062	0,01993	
0,55		0,5146	0,2570	0,1711	0,1282	0,1024	0,08524	0,05081	0,02482	
0,60		0,6386	0,3189	0,2123	0,1590	0,1270	0,1057	0,06290	0,03059	
0,70		0,9714	0,4849	0,3227	0,2415	0,1928	0,1603	0,09515	0,04579	
0,80			0,7514	0,4997	0,3738	0,2982	0,2478	0,1466	0,06966	
0,90				0,8668	0,6479	0,5165	0,4288	0,2527	0,1183	

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

Продолжение табл. 1

Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=24,5; B/T=3,50; H/T=1,05 δ=0,6								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,1166	0,05828							
0,25	0,1843	0,09213							
0,30	0,2692	0,1346							
0,35	0,3730	0,1865							
0,40	0,4978	0,2488							
0,45	0,6462	0,3230							
0,50	0,8222	0,4110							
0,55		0,5153							
0,60		0,6397							
0,70		0,9737							
0,80									
0,90									
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=28,0; B/T=4,0; H/T=1,05 δ=0,6								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,1166	0,05829	0,02914	0,01943	0,01457	0,01165	0,00971	0,00582	0,00291
0,25	0,1843	0,09214	0,04607	0,03071	0,02303	0,01842	0,01535	0,00920	0,00459
0,30	0,2693	0,1346	0,06731	0,04486	0,03364	0,02691	0,02242	0,01344	0,00669
0,35	0,3732	0,1866	0,09326	0,06216	0,04660	0,03727	0,03105	0,01860	0,00925
0,40	0,4980	0,2490	0,1244	0,08293	0,06218	0,04972	0,04142	0,02480	0,01232
0,45	0,6466	0,3232	0,1616	0,1077	0,08071	0,06453	0,05375	0,03217	0,01595
0,50	0,8228	0,4113	0,2056	0,1370	0,1027	0,08208	0,06836	0,04089	0,02023
0,55		0,5158	0,2577	0,1717	0,1287	0,1029	0,08567	0,05121	0,02528
0,60		0,6404	0,3200	0,2132	0,1597	0,1277	0,1063	0,06350	0,03127
0,70		0,9752	0,4871	0,3244	0,2431	0,1942	0,1616	0,09640	0,04720
0,80			0,7559	0,5033	0,3769	0,3011	0,2505	0,1491	0,07251
0,90				0,8747	0,6548	0,5228	0,4347	0,2582	0,1246

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

Продолжение табл.1

Fh=v/(gH)	Fh=v/(gH)								
	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=1,05$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=1,1$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=1,2$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=1,3$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=1,4$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=1,5$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=1,6$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=2,0$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=17,5$; $B/T=2,50$; $H/T=3,0$ $\delta=0,7$
	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$
0,20	0,144	0,072	0,036	0,024	0,018	0,014	0,012	0,007	0,004
0,25	0,227	0,114	0,057	0,038	0,028	0,023	0,019	0,011	0,006
0,30	0,332	0,166	0,083	0,055	0,042	0,033	0,028	0,017	0,008
0,35	0,46	0,230	0,115	0,077	0,058	0,046	0,038	0,023	0,011
0,40	0,615	0,307	0,154	0,102	0,077	0,061	0,051	0,031	0,015
0,45	0,798	0,399	0,200	0,133	0,100	0,080	0,066	0,040	0,020
0,50		0,508	0,254	0,169	0,127	0,102	0,085	0,051	0,025
0,55		0,637	0,319	0,212	0,159	0,127	0,106	0,064	0,032
0,60		0,792	0,396	0,264	0,198	0,158	0,132	0,079	0,039
0,70			0,603	0,402	0,301	0,241	0,201	0,120	0,060
0,80			0,937	0,625	0,468	0,375	0,312	0,187	0,093
0,90					0,815	0,652	0,543	0,325	0,161
Fh=v/(gH)	Fh=v/(gH)								
	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=1,05$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=1,1$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=1,2$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=1,3$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=1,4$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=1,5$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=1,6$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=2,0$ $\delta=0,7$	$L/B=7,0$ $L/T=21,0$; $B/T=3,0$; $H/T=3,0$ $\delta=0,7$
	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$
0,20	0,1438	0,07188	0,03594	0,02396	0,01797	0,01438	0,01198	0,00719	0,00359
0,25	0,2273	0,1137	0,05683	0,03788	0,02841	0,02273	0,01894	0,01136	0,00568
0,30	0,3322	0,1661	0,08305	0,05537	0,04152	0,03322	0,02768	0,01660	0,00830
0,35	0,4605	0,2302	0,1151	0,07673	0,05755	0,04604	0,03836	0,02301	0,01149
0,40	0,6147	0,3073	0,1536	0,1024	0,07681	0,06145	0,05120	0,03071	0,01534
0,45	0,7983	0,3991	0,1996	0,1330	0,09976	0,07980	0,06650	0,03988	0,01991
0,50		0,5081	0,2540	0,1693	0,1270	0,1016	0,08464	0,05075	0,02533
0,55		0,6374	0,3187	0,2124	0,1593	0,1274	0,1062	0,06366	0,03175
0,60		0,7919	0,3959	0,2639	0,1979	0,1583	0,1319	0,07906	0,03942
0,70			0,6034	0,4024	0,3016	0,2412	0,2010	0,1204	0,05999
0,80			0,9378	0,6250	0,4686	0,3748	0,3122	0,1871	0,09306
0,90					0,8160	0,6526	0,5436	0,3255	0,1617

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

Продолжение табл.1

Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/Л=24,5; B/Г=3,50; H/Г=1,05 δ=0,7								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,1438	0,07188	0,03594	0,02396	0,01797	0,01438	0,01198	0,00719	0,00359
0,25	0,2273	0,1137	0,05683	0,03788	0,02841	0,02273	0,01894	0,01136	0,00568
0,30	0,3322	0,1661	0,08305	0,05537	0,04153	0,03322	0,02768	0,01661	0,00830
0,35	0,4605	0,2302	0,1151	0,07674	0,05755	0,04604	0,03837	0,02301	0,01150
0,40	0,6147	0,3073	0,1537	0,1024	0,07682	0,06146	0,05121	0,03072	0,01534
0,45	0,7984	0,3992	0,1996	0,1330	0,09978	0,07982	0,06651	0,03989	0,01992
0,50		0,5082	0,2541	0,1694	0,1270	0,1016	0,08466	0,05077	0,02535
0,55		0,6375	0,3187	0,2125	0,1593	0,1275	0,1062	0,06369	0,03179
0,60		0,7920	0,3960	0,2639	0,1979	0,1583	0,1319	0,07911	0,03947
0,70			0,6036	0,4024	0,3017	0,2413	0,2011	0,1205	0,06010
0,80			0,9381	0,6253	0,4689	0,3750	0,3125	0,1873	0,09329
0,90						0,8165	0,6531	0,5441	0,3260
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/Л=28,0; B/Г=4,0; H/Г=1,05 δ=0,7								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,1438	0,07189	0,03594	0,02396	0,01797	0,01438	0,01198	0,00719	0,00359
0,25	0,2273	0,1137	0,05683	0,03789	0,02841	0,02273	0,01894	0,01136	0,00568
0,30	0,3322	0,1661	0,08306	0,05537	0,04153	0,03322	0,02768	0,01661	0,00830
0,35	0,4605	0,2302	0,1151	0,07674	0,05756	0,04604	0,03837	0,02302	0,01150
0,40	0,6147	0,3074	0,1537	0,1024	0,07683	0,06146	0,05122	0,03072	0,01535
0,45	0,7984	0,3992	0,1996	0,1331	0,09979	0,07983	0,06652	0,03990	0,01993
0,50		0,5082	0,2541	0,1694	0,1270	0,1016	0,08467	0,05079	0,02537
0,55		0,6376	0,3188	0,2125	0,1594	0,1275	0,1062	0,06371	0,03181
0,60		0,7921	0,3960	0,2640	0,1980	0,1584	0,1320	0,07914	0,03951
0,70			0,6037	0,4024	0,3018	0,2414	0,2011	0,1206	0,06017
0,80			0,9384	0,6255	0,4691	0,3752	0,3126	0,1874	0,09343
0,90						0,8169	0,6534	0,5444	0,3263

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

Продолжение табл.1

Fh=v/(gH)	L/B=5,5 L/T=13,75; B/T=2,50; H/T=1,05 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,235	0,118	0,059	0,039	0,030	0,024	0,020	0,012	0,006
0,25	0,373	0,187	0,093	0,062	0,047	0,038	0,031	0,019	0,010
0,30	0,547	0,274	0,137	0,092	0,069	0,055	0,046	0,028	0,015
0,35	0,760	0,381	0,191	0,128	0,096	0,077	0,064	0,039	0,021
0,40		0,510	0,256	0,171	0,129	0,104	0,087	0,053	0,029
0,45		0,666	0,335	0,224	0,169	0,136	0,114	0,070	0,039
0,50		0,853	0,429	0,288	0,217	0,175	0,147	0,091	0,051
0,55			0,542	0,364	0,275	0,222	0,187	0,117	0,066
0,60			0,679	0,457	0,346	0,279	0,235	0,148	0,086
0,70				0,711	0,540	0,437	0,370	0,236	0,142
0,80					0,862	0,701	0,594	0,385	0,242
0,90								0,708	0,463
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=1,05 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,037	0,019	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,054	0,029	0,024	0,015	0,008
0,30	0,428	0,214	0,107	0,072	0,075	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,594	0,297	0,149	0,099	0,100	0,060	0,050	0,030	0,016
0,40	0,795	0,398	0,200	0,133	0,131	0,080	0,067	0,041	0,021
0,45		0,519	0,260	0,174	0,168	0,105	0,088	0,054	0,028
0,50		0,663	0,333	0,223	0,212	0,135	0,113	0,069	0,037
0,55		0,835	0,419	0,281	0,265	0,170	0,143	0,088	0,048
0,60			0,523	0,351	0,410	0,213	0,179	0,111	0,061
0,70			0,807	0,542	0,648	0,331	0,278	0,174	0,099
0,80				0,855		0,524	0,442	0,279	0,164
0,90						0,933	0,788	0,504	0,305
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=1,1 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,037	0,019	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,054	0,029	0,024	0,015	0,008
0,30	0,428	0,214	0,107	0,072	0,075	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,594	0,297	0,149	0,099	0,100	0,060	0,050	0,030	0,016
0,40	0,795	0,398	0,200	0,133	0,131	0,080	0,067	0,041	0,021
0,45		0,519	0,260	0,174	0,168	0,105	0,088	0,054	0,028
0,50		0,663	0,333	0,223	0,212	0,135	0,113	0,069	0,037
0,55		0,835	0,419	0,281	0,265	0,170	0,143	0,088	0,048
0,60			0,523	0,351	0,410	0,213	0,179	0,111	0,061
0,70			0,807	0,542	0,648	0,331	0,278	0,174	0,099
0,80				0,855		0,524	0,442	0,279	0,164
0,90						0,933	0,788	0,504	0,305
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=1,2 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,037	0,019	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,054	0,029	0,024	0,015	0,008
0,30	0,428	0,214	0,107	0,072	0,075	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,594	0,297	0,149	0,099	0,100	0,060	0,050	0,030	0,016
0,40	0,795	0,398	0,200	0,133	0,131	0,080	0,067	0,041	0,021
0,45		0,519	0,260	0,174	0,168	0,105	0,088	0,054	0,028
0,50		0,663	0,333	0,223	0,212	0,135	0,113	0,069	0,037
0,55		0,835	0,419	0,281	0,265	0,170	0,143	0,088	0,048
0,60			0,523	0,351	0,410	0,213	0,179	0,111	0,061
0,70			0,807	0,542	0,648	0,331	0,278	0,174	0,099
0,80				0,855		0,524	0,442	0,279	0,164
0,90						0,933	0,788	0,504	0,305
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=1,3 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,037	0,019	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,054	0,029	0,024	0,015	0,008
0,30	0,428	0,214	0,107	0,072	0,075	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,594	0,297	0,149	0,099	0,100	0,060	0,050	0,030	0,016
0,40	0,795	0,398	0,200	0,133	0,131	0,080	0,067	0,041	0,021
0,45		0,519	0,260	0,174	0,168	0,105	0,088	0,054	0,028
0,50		0,663	0,333	0,223	0,212	0,135	0,113	0,069	0,037
0,55		0,835	0,419	0,281	0,265	0,170	0,143	0,088	0,048
0,60			0,523	0,351	0,410	0,213	0,179	0,111	0,061
0,70			0,807	0,542	0,648	0,331	0,278	0,174	0,099
0,80				0,855		0,524	0,442	0,279	0,164
0,90						0,933	0,788	0,504	0,305
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=1,4 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,037	0,019	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,054	0,029	0,024	0,015	0,008
0,30	0,428	0,214	0,107	0,072	0,075	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,594	0,297	0,149	0,099	0,100	0,060	0,050	0,030	0,016
0,40	0,795	0,398	0,200	0,133	0,131	0,080	0,067	0,041	0,021
0,45		0,519	0,260	0,174	0,168	0,105	0,088	0,054	0,028
0,50		0,663	0,333	0,223	0,212	0,135	0,113	0,069	0,037
0,55		0,835	0,419	0,281	0,265	0,170	0,143	0,088	0,048
0,60			0,523	0,351	0,410	0,213	0,179	0,111	0,061
0,70			0,807	0,542	0,648	0,331	0,278	0,174	0,099
0,80				0,855		0,524	0,442	0,279	0,164
0,90						0,933	0,788	0,504	0,305
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=1,6 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,037	0,019	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,054	0,029	0,024	0,015	0,008
0,30	0,428	0,214	0,107	0,072	0,075	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,594	0,297	0,149	0,099	0,100	0,060	0,050	0,030	0,016
0,40	0,795	0,398	0,200	0,133	0,131	0,080	0,067	0,041	0,021
0,45		0,519	0,260	0,174	0,168	0,105	0,088	0,054	0,028
0,50		0,663	0,333	0,223	0,212	0,135	0,113	0,069	0,037
0,55		0,835	0,419	0,281	0,265	0,170	0,143	0,088	0,048
0,60			0,523	0,351	0,410	0,213	0,179	0,111	0,061
0,70			0,807	0,542	0,648	0,331	0,278	0,174	0,099
0,80				0,855		0,524	0,442	0,279	0,164
0,90						0,933	0,788	0,504	0,305
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=2,0 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,037	0,019	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,054	0,029	0,024	0,015	0,008
0,30	0,428	0,214	0,107	0,072	0,075	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,594	0,297	0,149	0,099	0,100	0,060	0,050	0,030	0,016
0,40	0,795	0,398	0,200	0,133	0,131	0,080	0,067	0,041	0,021
0,45		0,519	0,260	0,174	0,168	0,105	0,088	0,054	0,028
0,50		0,663	0,333	0,223	0,212	0,135	0,113	0,069	0,037
0,55		0,835	0,419	0,281	0,265	0,170	0,143	0,088	0,048
0,60			0,523	0,351	0,410	0,213	0,179	0,111	0,061
0,70			0,807	0,542	0,648	0,331	0,278	0,174	0,099
0,80				0,855		0,524	0,442	0,279	0,164
0,90						0,933	0,788	0,504	0,305
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=17,5; B/T=2,50; H/T=3,0 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,037	0,019	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,054	0,029	0,024	0,015	0,008
0,30	0,428	0,214	0,107	0,072	0,075	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,594	0,297	0,149	0,099	0,100	0,060	0,050	0,030	0,016
0,40	0,795	0,398	0,200	0,133	0,131	0,080	0,067	0,041	0,021
0,45		0,519	0,260	0,174	0,168	0,105	0,088	0,054	0,028
0,50		0,663	0,333	0,223	0,212	0,135	0,113	0,069	0,037
0,55		0,835	0,419	0,281	0,265	0,170	0,143	0,088	0,048
0,60			0,523	0,351	0,410	0,213	0,179	0,111	0,061
0,70			0,807	0,542	0,648	0,331	0,278	0,174	0,099
0,80				0,855		0,524	0,442	0,279	0,164
0,90						0,933	0,788	0,504	0,305

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

Продолжение табл.1

Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=21,0; B/T=3,00; H/T=1,05 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,023	0,018	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,037	0,029	0,024	0,015	0,007
0,30	0,427	0,214	0,107	0,071	0,054	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,593	0,297	0,148	0,099	0,074	0,060	0,050	0,030	0,015
0,40	0,793	0,397	0,199	0,133	0,100	0,080	0,067	0,040	0,021
0,45		0,516	0,259	0,173	0,130	0,104	0,087	0,053	0,028
0,50		0,659	0,330	0,221	0,166	0,133	0,111	0,068	0,036
0,55		0,829	0,416	0,278	0,209	0,168	0,141	0,086	0,046
0,60			0,518	0,347	0,261	0,210	0,176	0,108	0,058
0,70			0,797	0,534	0,403	0,324	0,272	0,168	0,092
0,80				0,839	0,634	0,511	0,429	0,267	0,150
0,90						0,904	0,761	0,478	0,276
Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=24,5; B/T=3,50; H/T=1,05 δ=0,8								
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,184	0,092	0,046	0,031	0,023	0,018	0,015	0,009	0,005
0,25	0,292	0,146	0,073	0,049	0,037	0,029	0,024	0,015	0,007
0,30	0,426	0,213	0,107	0,071	0,053	0,043	0,036	0,022	0,011
0,35	0,592	0,296	0,148	0,099	0,074	0,059	0,050	0,030	0,015
0,40	0,791	0,396	0,198	0,132	0,099	0,080	0,066	0,040	0,021
0,45		0,515	0,258	0,172	0,129	0,104	0,087	0,052	0,027
0,50		0,657	0,329	0,220	0,165	0,132	0,111	0,067	0,035
0,55		0,826	0,414	0,276	0,208	0,167	0,139	0,085	0,044
0,60			0,515	0,345	0,259	0,208	0,174	0,106	0,056
0,70			0,790	0,529	0,398	0,320	0,268	0,164	0,088
0,80				0,829	0,625	0,503	0,422	0,260	0,142
0,90						0,886	0,744	0,462	0,258

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

Продолжение табл.1

Fh=v/(gH)	L/B=7,0 L/T=28,0; B/T=4,0; H/T=1,05 δ=0,8									
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,1841	0,09205	0,04604	0,03070	0,02303	0,01843	0,01536	0,00923	0,00464	
0,25	0,2912	0,1456	0,07285	0,04858	0,03645	0,02917	0,02432	0,01463	0,00737	
0,30	0,4260	0,2130	0,1066	0,07109	0,05335	0,04271	0,03561	0,02143	0,01083	
0,35	0,5910	0,2956	0,1479	0,09867	0,07406	0,05930	0,04946	0,02980	0,01512	
0,40	0,7897	0,3950	0,1977	0,1319	0,09904	0,07932	0,06618	0,03993	0,02035	
0,45		0,5137	0,2572	0,1717	0,1289	0,1033	0,08619	0,05208	0,02667	
0,50		0,6549	0,3279	0,2189	0,1645	0,1318	0,1100	0,06660	0,03429	
0,55		0,8230	0,4122	0,2753	0,2069	0,1659	0,1385	0,08398	0,04349	
0,60			0,5131	0,3428	0,2577	0,2067	0,1727	0,1049	0,05468	
0,70			0,7859	0,5255	0,3954	0,3174	0,2654	0,1619	0,08557	
0,80				0,8219	0,6189	0,4973	0,4164	0,2552	0,1370	
0,90						0,8742	0,7328	0,4516	0,2464	

Таблица 2

Относительный запас глубины под килем судна «Армада»

Fh=v/(gH)	L/B=8,0 L/T=30,85; B/T=3,85; H/T=1,05 δ=0,924									
	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH	ΔT/ΔH
0,20	0,022	0,011	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	
0,25	0,034	0,017	0,009	0,006	0,004	0,003	0,003	0,002	0,001	
0,30	0,050	0,025	0,012	0,008	0,006	0,005	0,004	0,002	0,001	
0,35	0,069	0,034	0,017	0,011	0,008	0,007	0,006	0,003	0,002	
0,40	0,091	0,046	0,023	0,015	0,011	0,009	0,007	0,004	0,002	
0,45	0,118	0,059	0,029	0,019	0,014	0,011	0,009	0,005	0,002	
0,50	0,149	0,074	0,037	0,024	0,018	0,014	0,012	0,007	0,003	
0,55	0,186	0,092	0,046	0,030	0,022	0,018	0,015	0,008	0,003	
0,60	0,229	0,114	0,056	0,037	0,027	0,022	0,018	0,010	0,003	
0,70	0,342	0,170	0,084	0,055	0,040	0,032	0,026	0,014	0,004	
0,80	0,519	0,257	0,126	0,082	0,060	0,046	0,038	0,019	0,004	
0,90	0,881	0,435	0,211	0,137	0,099	0,076	0,061	0,029	0,001	

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

Таблица 3

Относительный запас глубины под килем судна «Крым»

$Fh=v/(gH)$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=1,05$ $\delta=0,88$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=1,1$ $\delta=0,88$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=1,2$ $\delta=0,88$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=1,3$ $\delta=0,88$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=1,4$ $\delta=0,88$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=1,5$ $\delta=0,88$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=1,6$ $\delta=0,88$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=2,0$ $\delta=0,88$	$L/B=6,15$ $L/T=11,0$; $B/T=1,78$; $H/T=3,0$ $\delta=0,88$
	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$	$\Delta T/\Delta H$
0,20	0,225	0,113	0,056	0,038	0,028	0,023	0,019	0,012	0,006
0,25	0,358	0,179	0,090	0,060	0,045	0,036	0,030	0,019	0,010
0,30	0,526	0,263	0,132	0,089	0,067	0,054	0,045	0,028	0,015
0,35	0,734	0,368	0,185	0,124	0,094	0,075	0,063	0,039	0,022
0,40	0,987	0,495	0,249	0,168	0,127	0,102	0,086	0,054	0,031
0,45		0,650	0,328	0,220	0,167	0,135	0,114	0,072	0,042
0,50		0,836	0,422	0,285	0,216	0,175	0,148	0,094	0,057
0,55			0,537	0,363	0,276	0,225	0,190	0,123	0,076
0,60			0,678	0,459	0,350	0,285	0,242	0,158	0,101
0,70				0,727	0,557	0,456	0,390	0,260	0,175
0,80					0,909	0,748	0,643	0,439	0,311
0,90								0,832	0,619

Расчетные данные для группы судов серии 60 приведены в табл. 1, для судна «Армада» в табл. 2, для танкера «Крым» в табл. 3. Всего в трех таблицах даны 2304 значения отношения $\frac{\Delta T}{\Delta H}$ для этих групп судов при плавании с разными скоростями на разных глубинах. Данные, сведенные в таблицы, приняты в качестве исходных данных для численного эксперимента по определению функциональной зависимости величины $\frac{\Delta T}{\Delta H}$ от варьируемых величин: скорости хода Fh , относительной глубины фарватера $\frac{H}{T}$, коэффициента общей полноты δ , отношений L/B , B/T , L/T .

Обработка данных численного эксперимента производилась методом регрессионного анализа.

На первом этапе обработки регрессионный предиктор строился в виде линейного полинома относительно исследуемых факторов в виде: $Y = \sum_{i=0}^N a_i X_i$, с учетом, что $X_0 \equiv 1$. В качестве отклика принималось значение

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ

ние $\frac{\Delta T}{\Delta H}$. В число варьируемых факторов на этом этапе принимались параметры формы корпуса L/B , B/T , δ и скорость $Fh = \frac{v}{\sqrt{gH}}$. В качестве

конкретного метода обработки данных был выбран метод множественной линейной пошаговой регрессии, рекомендуемый специалистами [2] и обладающий известными преимуществами по сравнению с другими методами регрессионного анализа.

Для производства расчетов на основе стандартных программ, опубликованных в [3], была специально разработана и написана на алгоритмическом языке Compaq Fortran вычислительная программа, реализующая метод множественной линейной пошаговой регрессии с использованием способа сокращения Дулиттла.

В результате расчетов для каждой переменной, включаемой в регрессионные зависимости, были получены средние значения, стандартные отклонения и матрица коэффициентов корреляции. На каждом шаге регрессии оценивались сумма вычитаемых квадратов; вычитаемая часть; коэффициент множественной корреляции, исправленный и неисправленный на число степеней свободы; F-критерий Фишера для анализа дисперсий; стандартная ошибка оценки, исправленная и неисправленная на число степеней свободы; коэффициенты регрессии; значения t-критерия Стьюдента.

В конце рассчитывалась таблица остатков – разностей между зафиксированными в численном эксперименте значениями зависимой переменной и значениями, полученными с помощью регрессионной модели.

В результате выбрана такая регрессионная модель:

$$\frac{\Delta T}{\Delta H} = 4,471(Fh)^{2,2407} \left(\frac{H}{T} \right)^{-2,83326} (\delta)^{1,88036}. \quad (5)$$

Оказалось, что относительная скорость, относительная глубина фарватера и коэффициент общей полноты судна оказались наиболее сильно влияющими из шести рассмотренных характеристик и по которым строилась исходная статистика величины.

Контрольные проверки показали, что, объясняемая полученной таким образом зависимостью (5) доля разброса составляет более 90 %, множественный коэффициент корреляции равен 0,954. Величина статистических критериев Фишера и Стьюдента подтверждают значимость полученной аппроксимации для практических оценок.

**ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО ЗАПАСА ГЛУБИНЫ
ПОД КИЛЕМ СУДНА, ИДУЩЕГО В МЕЛКОВОДНОМ ФАРВАТЕРЕ**

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов И. А. Об одной особенности вычислительного процесса при расчете посадки судна, движущегося на значительном мелководье // *Вісник ОНМУ*. – 2009. – № 27. – С. 77-88.
2. Дрейпер Н., Смит Г. *Прикладной регрессионный анализ*. – М.: Статистика, 1973. – 392.
3. *Сборник стандартных программ на Фортране. Вып. 1*. – М.: Статистика, 1974. – 316 с.

Надійшла 25.12.09

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА

Найдено приближённое выражение для функции распределения по размерам количества дочерних капелек при дроблении капли в скоростном газовом потоке. Сравнение с результатами, полученными по полной расчётной схеме, показывает хорошее согласование в широком диапазоне значений определяющего параметра.

Знайдено наближений вираз для функції розподілення за розмірами кількості дочірніх крапельок при подрібненні краплі у швидкісному газовому потоці. Порівняння з результатами, які були отримані за повною розрахунковою схемою, виявляє добре погодження у широкому діапазоні значень визначального параметру.

The approximate expression for distribution function of quantity of daughter droplets at breakup of a drop in speed gas stream is found. Comparison with results which were obtained in a whole calculus scheme reveals good agreement in a wide diapason of values of definite parameter.

Ключевые слова: диспергирование, дочерние капельки, функция распределения по размерам.

В работе [1] получено уравнение для количества вторичных капелек, образованных при дроблении капли в скоростном потоке газа, а в [2] для случая равенства темпов диспергирования и выравнивания скоростей капли и газового потока найдена функция распределения их количества по размерам. Функции распределения представляют значительный практический интерес, поэтому настоящая работа посвящена их приближённому нахождению в общем случае.

Запишем дифференциальное уравнение для количества Δn капелек радиуса r , срываемых с площадки $\Delta\varphi$ поверхности капли за промежуток времени $\Delta\tau$ [1]

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

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

где $B_1 = \frac{4.4 \cdot \pi k_r \alpha^{1-2\xi}}{\Delta_m(We_n) \sqrt{2Re_\infty}}$, $B_2 = \frac{0.21 \Delta_m^2(We_n) \text{Im}(z_m We_n) \sqrt{2Re_\infty^3}}{\pi k_r k_i \alpha^{3.5-7\xi} (1+\alpha^\xi)}$, $\tilde{R} = R/R_0$,

Re_∞ – число Рейнольдса, α – отношение плотностей газа и капли, точка означает дифференцирование по времени τ , а штрих – по углу φ . Изменения безразмерных радиуса капли $\tilde{R}(\tau)$ и её скорости $W(\tau)$ определены

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА

кинетикой уноса массы, деформацией и ускорением капли в потоке, поэтому в общем случае задача нахождения распределения сорванных капелек по размерам требует одновременного определения закономерностей указанных процессов. Совместная система их уравнений слишком сложна для аналитического нахождения решения и оно невозможно без определённых упрощающих допущений. В [1] в качестве таких упрощений полагалось, что капля имеет сферическую форму, а поток является скоростным, так что критерий градиентной неустойчивости заметно превышает критическое значение $GN \gg GN_{кр} \approx 0.3$. Тогда диспергирование происходит с большей части поверхности капли $\varphi_1(\tau) < \varphi \leq \pi/2$, т.к. $\varphi_{10} = \varphi_1(0) \ll \pi$, и в этих условиях параметры доминантного возмущения постоянны на большей части поверхности капли: $\text{Im}(z_m) \approx 1.22$, $\Delta_m \approx 0.24$ [3], что позволяет приближённо считать $B_1, B_2 \approx const$. При этих допущениях, а также при аппроксимации экспериментальных данных для скорости капли в газовом потоке в виде $W = 1 - \exp(-H\tau)$, где $H = 2\sqrt{\alpha}$, в [1] получена зависимость изменения радиуса и массы дробящейся капли от времени: $\tilde{R}(\tau) = M^{1/3}(\tau) = 1 - h + h \exp(-H\tau)$.

Отношение $h \equiv A/3H$ характерных значений темпа уноса массы A и темпа выравнивания скоростей капли и газового потока является определяющим параметром задачи, а его значения влияют на все закономерности процесса дробления. Анализ на плоскости определяющих параметров (α, μ) (μ – отношение вязкостей газа и капли) показывает, что область значений $h \ll \alpha^{-2/3} \mu^{1/3}$, близких к единице, соответствует большинству экспериментов, проведённых с жидкостями и газами, имеющими обычные свойства, случаи $h < 1$ отвечают разрушению капель вязких жидкостей, а большие значения h – условиям разрушения жидких метеороидов.

В [2] показано, что нахождение функции распределения $f_n(\tilde{r})$ количества сорванных капелек по размерам сводится к вычислению криволинейного интеграла в полосе шириной $\Delta\tilde{r} = const$, окружающей линию $\tilde{r} = const$ на плоскости (φ, τ) . Заменяя в выражении (3) работы [2] $\Delta\tau$ на $\Delta\tau = (B_1 \dot{T}(\tau) \Psi(\varphi))^{-1} \Delta\tilde{r}$, и учитывая $\dot{T}(\tau) = -(h-1)H / (2\sqrt{\tilde{R}(\tau)(1-W(\tau))})$, а также (2), получим

$$\Delta n(\tilde{r}) = f_n(\tilde{r}) \Delta\tilde{r} = 2 \frac{B_1^3 B_2}{(h-1)H \tilde{r}^4} \int_{\varphi_H}^{\varphi_K} \tilde{R}^3(\tau(\varphi)) (1-W(\tau(\varphi))) \sin^2 \varphi d\varphi \Delta\tilde{r}. \quad (3)$$

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК
ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА**

Учитывая вид зависимости $\tau = \tau(\varphi)|_{\tilde{r}=const}$, которая следует из (2), вычисление интеграла (3) представляет определённые трудности и, по всей вероятности, может быть выполнено только приближённо. Ниже реализован один из возможных приближённых подходов, позволяющий получить формулы для функции распределения.

Простейшим способом приближенного вычисления интеграла (3), является упрощение пути интегрирования. Аппроксимируем линии $\tilde{r}(\varphi, \tau) = const$ прямыми $\tau - \tau_n = (\varphi - \varphi_n) / a_{эфф}$ с некоторым значением $a_{эфф}$ их наклона к оси τ , и подставим в (3) эту зависимость, а также выражения для относительной скорости потока и капли $1 - W = \exp(-H\tau)$ и закона изменения её радиуса при дроблении $\tilde{R} = (1 - h) + h \exp(-H\tau)$. Используя табличный интеграл [4]

$$\int e^{a\varphi} \sin^2 b\varphi d\varphi = e^{a\varphi} / 2a - e^{a\varphi} (a / 2 \cos 2b\varphi + b \sin 2b\varphi) / (a^2 + 4b^2),$$

после преобразований получим

$$\Delta n(\tilde{r}) = f_n(\tilde{r}) \Delta \tilde{r} = \frac{B_1^3 B_2^3 a_{эфф}(\tilde{r})}{(h-1)\tilde{r}^4 H^2} \sum_{i=1}^4 A_i [\Phi_{ин}(\tilde{r}) - \Phi_{ик}(\tilde{r})] \Delta \tilde{r}, \quad (4)$$

где величины

$\Phi_i(\tilde{r}) = C^i(\tilde{r}) \left(\sin^2 \varphi(\tilde{r}) + \sin^2 (\varphi(\tilde{r}) + \theta_i(\tilde{r})) \right)$ и $C(\tilde{r}) = (h-1) / \left(h - (\tilde{r} / B_1 \Psi(\varphi))^2 \right)$, определяются на нижнем $\varphi = \varphi_n(\tilde{r})$ и верхнем $\varphi = \varphi_k(\tilde{r})$ пределах интегрирования соответственно,

$$A_1 = (1-h)^3, \quad A_2 = 1.5h(1-h)^2, \quad A_3 = h^2(1-h), \quad A_4 = h^3/4,$$

$$\theta_i = \pi - \arcsin \left((v_i H / a_{эфф})^2 + 1 \right)^{-0.5}$$

при $h < 1$ и $\theta_i = \arcsin \left((v_i H / a_{эфф})^2 + 1 \right)^{-0.5}$ при $h > 1$, $v_i = i/2$.

Область диспергирования на плоскости (φ, τ) ограничена справа траекторией ободка капли $\varphi = \pi/2$, слева и сверху – траекторией $\varphi = \varphi_1(\tau)$ той точки её поверхности, в которой $We_n = 0.006$ [1] (рис. 1). Значения всех входящих в (4) величин, пределов интегрирования, выбор значений $a_{эфф}$, и в конечном итоге – функция распределения, – существенно зависят от значений параметра h . Это вызвано прежде всего определяющим влиянием h на характер поведения семейства \square линий $\tilde{r} = const$ на плоскости (φ, τ) , характерный вид которых показан на рис.1.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК
ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА**

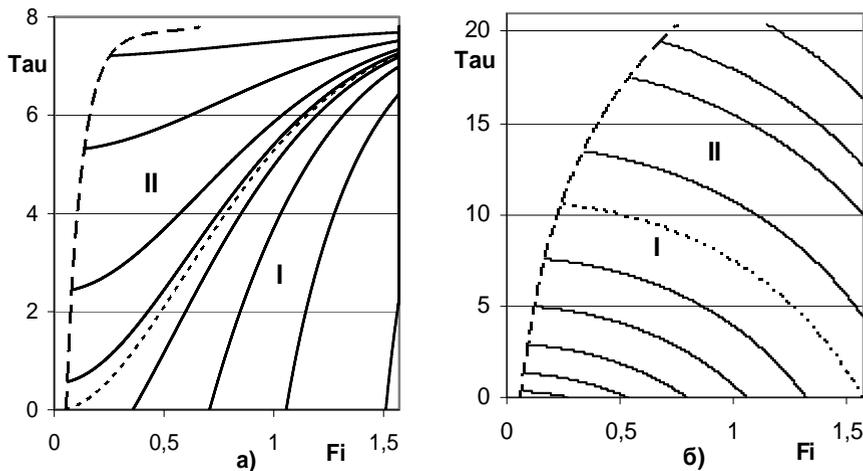


Рис. 1. Семейство линий $\tilde{r}(\varphi, \tau) = const$ при $h=1.50$ (а) и при $h=0.50$ (б); (□ □ □) – линия $\varphi = \varphi_1(\tau)$, (-----) – линия $\tilde{r} = \tilde{r}_{0л}$ в случае (а) и $\tilde{r} = \tilde{r}_{0п}$ в случае (б)

В случае опережающего диспергирования, $h > 1$, все линии в полосе $0 < \varphi \leq \pi/2$ имеют положительный наклон к оси φ , а линия $\tilde{r} = \tilde{r}_{0л}$, выходящая из точки $(\varphi_{10}, 0)$ (штрих на рис. 1,а) делит всю область диспергирования на две части: в области I (для кривых ниже этой линии) пределами интегрирования являются $\varphi_n = \varphi_0 = \varphi(0)|_{\tilde{r}=const}$, $\varphi_k = \pi/2$, а в области II (для кривых выше этой линии) – $\varphi_n = \varphi_1(\tau_1)$, $\varphi_k = \pi/2$, где τ_1 – момент пересечения кривой $\varphi_1(\tau)$ и линии $\tilde{r} = const$. Значения $\varphi_0 = \varphi(0)|_{\tilde{r}=const}$ и $\tau_\pi = \tau(\pi/2)|_{\tilde{r}=const}$ определяются, соответственно, при $\tau = 0$ и $\varphi = \pi/2$ из уравнения линий $\tilde{r}(\varphi, \tau) = const$, которое следует из (2)

$$H\tau = \ln \left(\left(h - \left(\frac{\tilde{r}}{B_1\Psi(\varphi)} \right)^2 \right) / (h-1) \right), \tag{5}$$

Отметим, что для области II при $h > 1$ всегда $\tilde{r} < \tilde{r}_{0л} = B_1\Psi(\varphi_{10})$, что следует из (2). Координаты φ_1, τ_1 точки пересечения левой границы области диспергирования $\varphi_1(\tau)$ и линии $\tilde{r}(\varphi, \tau) = const$ находятся из системы уравнений (5) и уравнения для линии $\varphi = \varphi_1(\tau)$ [1]:

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК
ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА**

$$\frac{2.475\alpha}{(1+\alpha^\xi)^2} \text{GN} \sqrt{\tilde{R}(\tau)(1-W(\tau))^3} \sin^2 \varphi_1 \Psi(\varphi_1) = 0.006. \quad (6)$$

В случае запаздывающего диспергирования $h < 1$ все линии семейства \square в полосе $0 < \varphi \leq \pi/2$ имеют отрицательный наклон, поэтому в области I ниже линии $\tilde{r} = \tilde{r}_{0\Pi}$ (штрих-линия на рис. 1б)), выходящей из точки $(\pi/2, 0)$, пределами интегрирования являются $\varphi_{\text{н}} = \varphi_0$, $\varphi_{\text{к}} = \varphi_1(\tau_1)$, а в области II (выше этой линии) – $\varphi_{\text{н}} = \pi/2$, $\varphi_{\text{к}} = \varphi_1(\tau_1)$; эти значения находятся вновь из уравнений (5), (6), причём для области II всегда $\tilde{r} > \tilde{r}_{0\Pi} = B_1 \Psi(\pi/2) = B_1 \sqrt{3\pi}$.

Отсюда следует необходимость рассмотрения каждого из случаев $h \neq 1$ отдельно в каждой из упомянутых областей I, II. Более простой случай $h = 1$, когда все линии семейства \square параллельны оси τ , рассмотрен в [2], где функция $f_{\text{н}}(\tilde{r})$ найдена точно.

Выбор эффективного значения наклона отрезка интегрирования $a_{\text{эфф}}$ осложняется различием в поведении линий семейства \square в областях I и II, а также их зависимостью от параметра h . Анализ уравнения (5) показывает, что при $h > 1$ всё семейство \square сходится в точке $P(\pi, H^{-1} \ln(h/(h-1)))$, причём при $h \rightarrow \infty$ т. P опускается на ось φ , а наклон всех линий семейства к оси τ неограниченно возрастает. Линия, пересекающая ось φ в точке $\varphi_0^* = \bar{\varphi}_0(\sqrt{3.2h})$, где $\bar{\varphi}_0$ – функция, обратная к $\Psi(\varphi)$ в уравнении $\Psi(\varphi_0) = \tilde{r}/B_1$, делит семейство на две части: линии первого типа, при $\varphi_0 > \varphi_0^*$, приходят в P из бесконечности, не пересекая ось τ , и имеют достаточно большую кривизну. Линии второго типа, при $\varphi_0 < \varphi_0^*$, конечны в полосе $0 < \varphi < \pi$, имеют пересечение с осью τ и меняют знак кривизны; поэтому они сравнительно немного отклоняются от прямых, имеющих средний на промежутке интегрирования наклон $a_{\text{ср}} = (\varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{н}})/(\tau_{\text{к}} - \tau_{\text{н}})$ и могут быть ими аппроксимированы. При $h \rightarrow 1$ разделительная точка $\varphi_0^* \rightarrow 0$, поэтому при сравнительно небольших $h-1 > 0$ область I заполняют в основном линии первого типа, а область II заполнена линиями второго типа. При больших значениях $h > \Psi^2(\pi/2)/\Psi^2(0) = 3\pi/3.2 \approx 2.95$ разделительная точка уходит из области диспергирования: $\varphi_0^* > \pi/2$, и последнюю заполняют только линии второго типа.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА

При $h < 1$ все линии принадлежат к первому типу, но имеют отрицательный наклон к оси φ , а всё семейство \square имеет вид, изображённый на рис. 1б).

Общий вид функции $\dot{n}'(\varphi, \tau)$, представленный на рис. 1 работы [2], показывает, что скорость производства капелек максимальна в начальные моменты времени в базовом диапазоне $(\tilde{r}_{0л}, \tilde{r}_{0п})$. Вследствие убывающего характера скорости массоуноса $|\dot{M}(\tau)|$ во времени начальный участок интегрирования даёт наибольший вклад в количество сорванных капелек. Поэтому эффективный наклон кривых должен быть аппроксимирован с учётом большего влияния начального значения наклона $a_n = d\varphi/d\tau|_{\tau=0}$ для кривых из области I, и $a_n = d\varphi/d\tau|_{\tau=\tau_1}$ (при $h > 1$), и $a_n = d\varphi/d\tau|_{\tau=\tau_\pi}$ (при $h < 1$) – для кривых из области II. Кроме того, необходимо поставить естественное требование получить в пределе $h \rightarrow 1$ в качестве искомой функции распределения $f_n(\tilde{r})$ известную, полученную в [2] для $h = 1$; легко убедиться на основе (4), что для этого необходимо, чтобы выполнялось

$$\lim_{h \rightarrow 1} \frac{a_{эфф}}{h-1} = \lim_{h \rightarrow 1} \frac{4\dot{\varphi}_0}{3(h-1)} = \frac{2H}{3} \frac{\tilde{r}^2 \sin \varphi_0}{8B_1^2 - 2.5\tilde{r}^2 \cos \varphi_0}.$$

Исходя из сказанного, выберем в качестве $a_{эфф}$ в (4) величину

$$a_{эфф}^{-1} = p_1(h)a_n^{-1} + p_2(h)a_{ср}^{-1} \text{ с весовыми коэффициентами в области I}$$

$$p_1 = (|h-1|^{0.5}/h + h^{-2})/(h-1 + h^{-2} + k(h)|h-1|^{0.5}/h),$$

$$p_2 = (h-1 + |h-1|^{0.5}/h)/(h-1 + h^{-2} + k(h)|h-1|^{0.5}/h),$$

удовлетворяющими требованиям $p_2 \rightarrow 0, p_1 \rightarrow 1$ при $h \rightarrow 1$ и $p_1 \rightarrow 0, p_2 \rightarrow 1$ при $h \rightarrow \infty$. Сравнение с результатами вычислений, выполненных по полной расчётной схеме, в которой производился детальный расчёт доли времени индукции развития доминантного возмущения и его длины волны на каждой площадке поверхности капли в каждый момент времени без каких-либо упрощений, привело к выводу о том, что сумма весовых коэффициентов не равна единице, а значения корректирующего множителя $k(h)$ в области I можно выбрать равными $k(h) = 0.93(2h-1)/h$ для $h > 1$ и $k(h) = 1.33h^{-0.5}$ для $h < 1$. Таким образом, придём к следующим выражениям для эффективного значения наклона отрезка интегрирования

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК
ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА**

$$a_{\text{эфф}}|_{\text{I}} = \frac{(h-1+h^{-2}+k(h)|h-1|^{0.5}/h)a_{\text{cp}}a_{\text{н}}}{(h-1)a_{\text{н}}+h^{-2}a_{\text{cp}}+(a_{\text{cp}}+a_{\text{н}})|h-1|^{0.5}/h}, \quad a_{\text{эфф}}|_{\text{II}} = \frac{(k_1h+k_2h^{-3})a_{\text{cp}}a_{\text{н}}}{ha_{\text{н}}+h^{-3}a_{\text{cp}}}, \quad (7)$$

в областях I и II соответственно, где для области II $p_1 = h^{-3}/(k_1h^{-3}+k_2h)$, $p_2 = h/(k_1h^{-3}+k_2h)$, а $k_1 = 0.80$, $k_2 = 1.13$ для $h < 1$ и $k_1 = 1.13$, $k_2 = 0.87$ для $h > 1$.

По полученным формулам (4)-(7) были рассчитаны распределения $\Delta n(\tilde{r})$ для различных значений определяющих параметров. Результаты иллюстрируются приводимыми ниже графиками и сравниваются с расчётами, выполненными по полной расчётной схеме.

Большая часть массы и количества сорванных капелек образуется всегда в базовом диапазоне $\tilde{r}_{0\text{л}} < \tilde{r} < \tilde{r}_{0\text{п}}$, где скорость их производства \dot{n}' наибольшая. При $h > 1$, подобно распределению Нукиямы-Танасавы для распыла жидкого топлива в форсунках [5], $\Delta n(\tilde{r})$ всегда имеет восходящую и нисходящую ветви, образующие характерный максимум вблизи левой границы базового диапазона при некотором $\tilde{r} = \tilde{r}_{\text{м}}$. Его существование вызвано тем, что слева от линии $\tilde{r}_{\text{м}}$ на плоскости (φ, τ) скорость производства капелек \dot{n}' становится малой, а справа – малым является промежуток времени существования условий на поверхности капли для их производства. Общий вид распределения $\Delta n(\tilde{r})$ зависит от значения h , что иллюстрируется рис. 2,3, а размеры всей совокупности капелек определяются значением параметра $B_1 \propto \text{Re}_{\infty}^{-0.5}$, играющего, в соответствии с (2), роль характерного масштаба размеров вторичных капелек. Аналогично, $B_2 \propto \text{Re}_{\infty}^{1.5}$ задаёт характерный масштаб количества сорванных капелек.

Область II образует дополнительный диапазон: при $h < 1$ он прижимается к базовому справа, $\tilde{r}_{0\text{п}} < \tilde{r}$, и составляет грубодисперсную часть распыла, а при $h > 1$ – слева, $0 < \tilde{r} < \tilde{r}_{0\text{л}}$, и образует его мелкодисперсную часть. При увеличении h доля мелкодисперсной части возрастает, и при $h \geq 4$ она становится сравнимой с основной частью, что иллюстрируется рис. 2, на котором приведены распределения количества капелек при разрушении капли диаметром $d_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ м для $h = 4.03$, $\text{Re}_{\infty} = 3.06 \cdot 10^4$, $\text{GN} = 23.5$.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК
ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА**

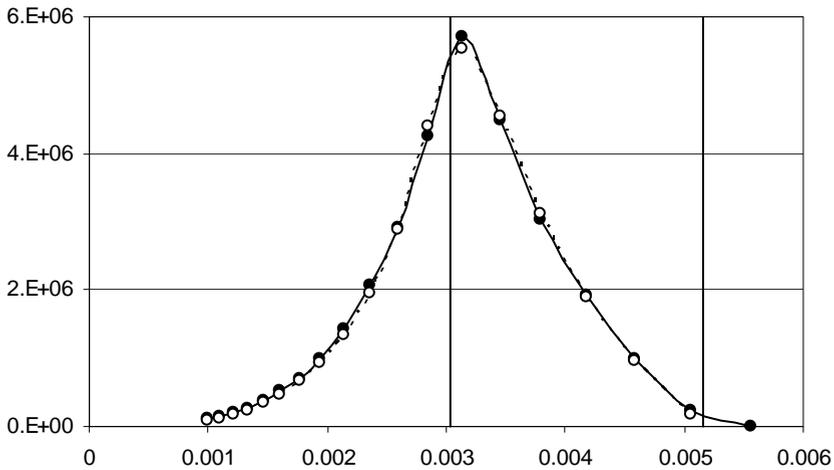


Рис. 2. Распределение $\Delta n(\tilde{r})$; (---) – расчёт по уравнению (4);
(□ □ ● □ □) – расчёт по полной расчётной схеме.

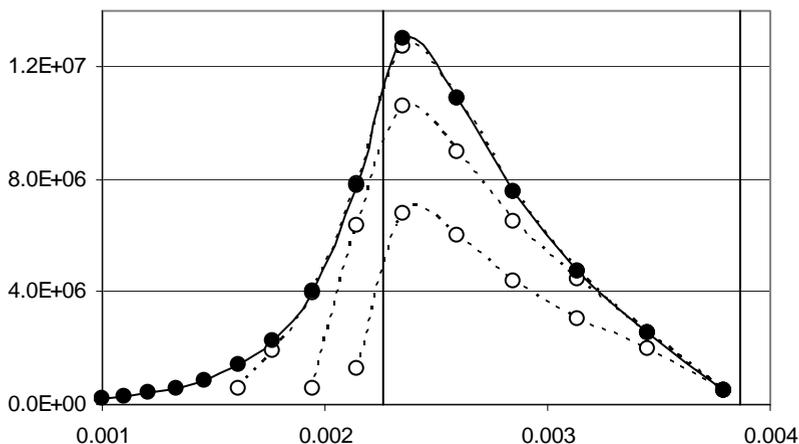
Вертикальные линии – границы базового диапазона

$$\tilde{r}_{0л} = 3.03 \cdot 10^{-3}, \quad \tilde{r}_{0п} = 5.16 \cdot 10^{-3}$$

Сравнение распределений, полученных для $h = 1.1$, $Re_{\infty} = 3.31 \cdot 10^5$, $GN = 31.0$, $d_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ м, говорит о том, что на границах диапазона ($0.85 < h < 1.15$) применимости точной формулы (5), найденной в [2] для $h = 1$, приближённые формулы (4)-(7) работают несколько лучше. При $h = 1$ расчёты по формулам (4)-(7) и по (5) из [2] совпадают.

Формулы (4)-(7) позволяют получить не только окончательное распределение всех сорванных к моменту прекращения диспергирования $\tau_{дис}$ капелек, но и промежуточное, сформированное к произвольному моменту времени $\tau^* < \tau_{дис}$. Для этого достаточно определить значения входящих в (4) величин $\varphi_k(\tilde{r}, \tau^*)$, $a_{эфф}(\tilde{r}, \tau^*)$, $\theta_i(\tilde{r}, \tau^*)$, $C(\tilde{r}, \tau^*)$ в момент τ^* для $\forall \tilde{r}$, что осуществляется по тем же формулам. Динамика изменения распределения количества сорванных капелек при разрушении капли диаметром $d_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ м в потоке $V_{\infty} = 1400$ м/сек, $\rho_{\infty} = 4.0$ кг/м³ при $h = 2.0$, $Re_{\infty} = 1.12 \cdot 10^5$, $GN = 64.2$, иллюстрируется зависимостями $\Delta n(\tilde{r}; \tau)$, (рис. 3). В отличие от случая $h = 1$, когда изменение функции распределения во времени автомодельно [2],

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК
ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА**



*Рис. 3. Распределения $\Delta n(\tilde{r}, \tau)$
для моментов времени $\tau = 1.0, 2.0, 3.5$ (---□---)
и окончательное распределение для $\tau = \tau_{\text{дис}} = 5.48$ (□□•□□);
 $\tilde{r}_{0л} = 2.26 \cdot 10^{-3}$, $\tilde{r}_{0п} = 3.87 \cdot 10^{-3}$*

при $h > 1$ грубодисперсная фракция быстро формируется в начале процесса. Как следует из рис. 1а), линии семейства □, соответствующие наибольшему \tilde{r} , сразу же оканчиваются при $\varphi = \pi/2$, это означает, что условия для отрыва крупнодисперсной фракции существуют на поверхности капли недолго, смещаясь для фиксированного \tilde{r} к ободку капли $\varphi = \pi/2$, и затем исчезают. Мелкодисперсная фракция набирается на заключительной стадии дробления, когда размер родительской капли и толщина погранслоя в жидкости $\delta_{\text{ж}}$ становятся малыми.

При $h < 1$ набор окончательного распределения происходит в обратном порядке, начиная с

мелкой фракции, причём увеличение со временем размера срывааемых капелек r при одновременном уменьшении размера родительской капли объясняется тем, что $r \propto \lambda_{\text{м}} \propto \delta_{\text{ж}}$, а $\delta_{\text{ж}} \propto \tilde{R}(\tau)/\text{Re}^{0.5}(\tau) \propto T(\tau)$. Возрастающий характер $T(\tau)$ при $h < 1$ обеспечивает рост толщины погранслоя $\delta_{\text{ж}}$ в капле, несмотря на уменьшение её размера, т.к. уменьшение $\tilde{R}(\tau)$ перекрывается эффектом уменьшения скорости обтекания $1 - W(\tau)$, входящей в $\text{Re}(\tau)$. В случае опережающего диспергирования $h > 1$ функция $T(\tau)$ является убывающей, поэтому толщина погранслоя

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРГИРОВАННЫХ КАПЕЛЕК ПРИ ДРОБЛЕНИИ КАПЛИ В СКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА

$\delta_{ж}$ в дробящейся капле убывает со временем. Отмеченные особенности формирования распыла говорят о том, что аэрозоль сорванных капелек, образующаяся в аэродинамическом следе дробящейся капли, при $h > 1$ является более однородной, чем при $h < 1$.

Таким образом, сравнение распределений, полученных по приближённым формулам, и рассчитанных по полной расчётной схеме, показывает, что формулы (4)-(7) хорошо работают во всём широком диапазоне рассмотренных значений определяющего параметра h . Полученные приближённые соотношения позволяют найти основные характеристики факела распыла капли, необходимые для построения его математической модели и описания кинетики дальнейших процессов испарения, смешения и горения в её аэродинамическом следе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гирин А.Г. Уравнение потери массы капли в скоростном потоке газа. // Ч. I. – Вестник ОНМУ, 2009. Вып. 26, стр. 44-51; Ч. II. – Вестник ОНМУ, 2009. Вып. 27, стр. 117-125.
2. Гирин А.Г. Функция распределения вторичных капелек при дроблении капли скоростным потоком газа. – Вестник ОНМУ, 2009. Вып. 28, стр. 54-61.
3. Гирин А.Г. Гидродинамическая неустойчивость и режимы дробления капель // ИФЖ. 1985. Т. 48, № 5. С. 771-776.
4. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М. Наука, 1971, 1108 с.
5. Вильямс Ф.А. Теория горения. – М.: Наука, 1971. 616 с.

ДИНАМИКА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Приведены исследования напряженно-деформированного состояния берегозащитных сооружений при действии на них динамической волновой нагрузки, вызывающей разжижение их грунтового основания.

Приведено дослідження напружених-деформованого стану берегозахисних споруд при дії на них динамічного хвилювального навантаження, що викликає розрідження їх ґрунтової підстави.

Researches of the is intense-deformed condition stabilization structures are carried out at action on them of the dynamic water load calling thinning of their earth foundation.

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, динамическая волновая нагрузка, разжижение грунтового основания.

Прибой представляет собой один из главнейших факторов, который приходится принимать в расчет при постройке волнорезов, молов, пирсов и других береговых сооружений. Проектирование их требует использования всех технических ресурсов, но полностью оградить их от серьезных повреждений все же невозможно.

Г. Бигелу и В. Эдмондсон
“Морские ветровые волны и прибой”

В настоящее время при расчете берегозащитных сооружений в виде подводных волноломов, бун и волноотбойных стен волновое воздействие принимается как статическая нагрузка. Но при действии на эти сооружения разбитых и прибойных волн, как, например, показано на рисунках 1 и 2, вряд ли возможно считать такие воздействия не динамическими. Также следует отметить, что динамические нагрузки могут вызывать в основании такие процессы, которые приводят сооружения к разрушению, например, от разжижения под ними грунта. При этом они не могут быть учтены при статическом нагружении. Поэтому в морской гидротехнике начинают разрабатываться расчеты сооружений с учетом динамических волновых воздействий, например [1, 2]. В этих работах впервые предложены упруговязкопластические модели систем, состоящих из береговых сооружений, грунтовой и водной сред, и разработаны динамические методы их расчета.

ДИНАМИКА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Рис. 1. Действие волны на подводный волнолом

В данной статье рассмотрена одна интересная нелинейная проблема, связанная с разжижением оснований под конструкциями береговых укреплений от динамического воздействия морских волн. Она не была изложена в отмеченных выше работах. Поэтому здесь сделана первая попытка исследовать некоторые вопросы этой сложной проблемы, которая встречается в реальных условиях.

Сначала немного истории. Начиная с 1933 года, по инициативе Е. Е. Китрана, в районе Ланжерона (Одесса) на расстоянии 100 м от берега непосредственно на песчаное дно были уложены параллельно береговой линии 110 бутобетонных массивов весом каждый по 17 т, которые остались после переустройства одного из портовых причалов. Длина таким образом сооруженного волнолома составляла 250 м, ширина 2,6 м, высота 1,47 м, а начальная глубина залегания массивов принималась на 1,41 м ниже ординара. Интересно отметить, что в процессе строительства в ночь с 13 на 14 декабря 1933 г. происшедшим штормом северная еще не защищенная половина пляжа была подвергнута серьезному разрушению. Наносы были полностью смыты в море, волноприбойная терраса и береговой массив обрыва, который ранее подвергался оползневым процессам, сильно размыт, а каменная облицовка берега разрушена. Между тем, в южной половине бухты, которая находилась под защитой уже уложенных

ДИНАМИКА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рис. 2. Действие волны на буну

на дно массивов, отрыв берега не произошел, а наоборот, образовался широкий песчаный пляж. Следует отметить, что после завершения строительства северная половина Ланжероновского пляжа также пополнилась песчаными наносами. Все это подтверждало положительную роль волнолома по защите морского побережья от волновых нагрузок. Затем под динамическим воздействием морских волн массивы этого волнолома начали погружаться в песчаное дно. Вначале этот процесс происходил достаточно быстро, но со временем он замедлился. Так, за первые 5 месяцев погружение составило в среднем по 8 см в месяц, а в последующие месяцы только в среднем по 4 см в месяц. Такое уменьшение их осадок видимо было вызвано уплотнением под ними песка. Максимальный наклон массивов в сторону моря не превышал 10° и в течение нескольких первых лет после постройки их ряд сохранял устойчивое положение в плане. Затем массивы постепенно погрузились в слой песка и были заматы. Одна из основных причин разрушения волнолома заключалась в неудовлетворительной подготовке основания под массивы, которая и вызывала разжижение грунта.

Приведем еще один пример разрушения гравитационной стены мола, происшедшего в октябре 1892 г. [3]. На начало аварии массивы стены высотой 6 м были уложены на протяжении свыше 100 пог. м. Грунт в ее основании состоял из очень мелкого песка. Высота волн начавшегося с

ДИНАМИКА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

утра шторма достигала 3,5-4,0 м. В 12 часов дня стена еще стояла, но через несколько минут она была разрушена. После шторма обнаружили, что стена полностью погрузилась в грунт, ее массивы оказались на глубине более 2 м от поверхности дна. Провели эксперимент, на дно положили массив и стали сообщать ему ряд толчков. Под влиянием колебаний массив начал погружаться в грунт, изображая происшедшую аварию стены. Ее причиной стало разжижение песка в основании стены от динамического воздействия морских волн. В те времена вопрос разжижения грунтов был не изучен, но по предложению строителя Одесского порта П. С. Чеховича при восстановлении мола предлагалось забить два ряда шпунтовых свай по бокам стены, что соответствовало современному рациональному мероприятию по ее укреплению. В дальнейшем это было сделано и, мол благополучно эксплуатируется до настоящего времени. Другие примеры разрушения сооружений, связанные с разжижением грунтов, приведены в работах [4, 5, 6]. Следует также отметить, что это явление наблюдается и способствует значительным разрушениям при землетрясениях [7].

Вопросами разжижения водонасыщенных песчаных грунтов начали серьезно заниматься в бывшем Союзе после аварии грунтовой плотины Свирьстроя в 1935 г. [6]. Вследствие произведенного взрыва перемычки, расположенной на расстоянии 150 м от этой плотины, часть ее грунта пришла в разжиженное состояние, и она была частично разрушена. Это явление, происшедшее в песчаных грунтах от динамических воздействий, было на некоторое время засекречено и замедлило его изучение. Дальнейшие исследования в этом направлении велись Н. М. Герсевановым, Н. Н. Масловым, В. А. Флориным, М. Н. Гольдштейном, П. Л. Ивановым, Г. М. Ляховым, А. Casagrande и другими учеными. В 1935 г. А. Casagrande и И. В. Яропольский предложили теорию разжижения песков в зависимости от их плотности, которая получила название "Критической пористости". В это же время Н. Н. Масловым была начата разработка новой теории, которая была им названа "Фильтрационная теория динамической устойчивости водонасыщенных песков". С 1949 г. в Ленинградском политехническом институте были проведены крупные исследования по разжижению грунтов при динамических воздействиях под руководством В. А. Флорина и П. Л. Иванова. На Украине этими вопросами занимались М. Н. Гольдштейн, А. А. Вовк, В. Г. Кравец, Г. И. Черный и другие ученые. Современное состояние этой проблемы изложено, например, в работах [5, 7, 8].

Сущность разжижения водонасыщенного песка состоит кратко в следующем. При динамическом воздействии песок приходит в движение, стремясь к интенсивному уплотнению, которое сопровождается выдавливанием излишней воды из его пор. В процессе этого гидродинамического эффекта зерна песка теряют свой вес и, как следствие, ослабляется и даже полностью пропадает трение между его частицами. Вся масса песка, лишенная трения, приобретает свойства жидкой среды, которая растекается,

ДИНАМИКА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

вызывает всплытие расположенных в ней сооружений или наоборот способствует погружению лежавших на ней конструкций. Условие нарушения структуры песка по В. А. Флорину в общем случае определяется уравнением состояния, которое зависит от пористости, напряжения и собственного веса песка, а также от действующей на него нагрузки, ускорения колебаний и градиента напора фильтрационного потока. В ряде случаев некоторые из этих многочисленных факторов имеют второстепенное значение и могут быть опущены. К сожалению, многие критерии, определяющие разжижение песчаных грунтов, еще мало изучены.

В настоящее время наиболее разработанными теориями, объясняющими разжижение песков, являются, отмеченные выше, "Критической пористости" и "Фильтрационная теория". Также разжижение песчаных грунтов может определяться на основе расчетов их консолидации с учетом виброползучести скелета грунтов и способом взрывного зондирования.

Критической называется пористость, при которой конечная пористость образца после сдвига остается равной начальной пористости до сдвига. Автор теории А. Casagrande ввел гипотезу, которая утверждает, что водонасыщенные песчаные грунты, имеющие пористость выше критической, могут переходить в разжиженное состояние. Ее серьезные недостатки были отмечены в работах Н. Н. Маслов и В. А. Флорина [5, 6]. В настоящее время экспериментально обосновано утверждение, что критерий критической пористости непригоден для оценки возможности разжижения песчаных грунтов при динамических воздействиях [5].

"Фильтрационная теория" была подтверждена большим количеством лабораторных и полевых экспериментов. Согласно этой теории, для определения границы потери водонасыщенными песками своей устойчивости необходимо, во-первых, знать критическое значение интенсивности динамического воздействия, которое характеризуется критическим ускорением $a_{кр}$. Понятие этого ускорения отвечает той критической интенсивности колебаний, когда песок, находящийся до этого в стабильном состоянии, начинает снова уплотняться. Для более точного определения критического ускорения песков Одесской береговой зоны, которые для этого почти не изучены, необходимы эксперименты, методики выполнения которых, подробно изложены в работах [5, 6]. Можно также воспользоваться эмпирическими формулами, предложенными различными авторами и приведенными в этих же монографиях. Вторым важным понятием, которое наиболее трудно определяется, является расчетное ускорение частиц $a_{рас}$ в толще водонасыщенного песка. Эти величины можно находить экспериментально или в наиболее общем случае из расчетов, теория которых в настоящее время с учетом нелинейных свойств грунтовых сред при динамических волновых воздействиях не разработана. Здесь будет рассмотрен второй подход, позволяющий более точно определять ускорение частиц. В качестве критерия возможности перехода песка в разжи-

ДИНАМИКА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

женное состояние принимается следующее неравенство "Фильтрационной теории":

$$a_{\text{рас}} \Rightarrow a_{\text{кр}}. \quad (1)$$

Исследуем подводный волнолом, нелинейная расчетная модель которого приведена в монографии [2]. Она представляет собой систему, которая включает сам волнолом, его грунтовое основание и водную среду. Его схема изображена на рисунке 3.

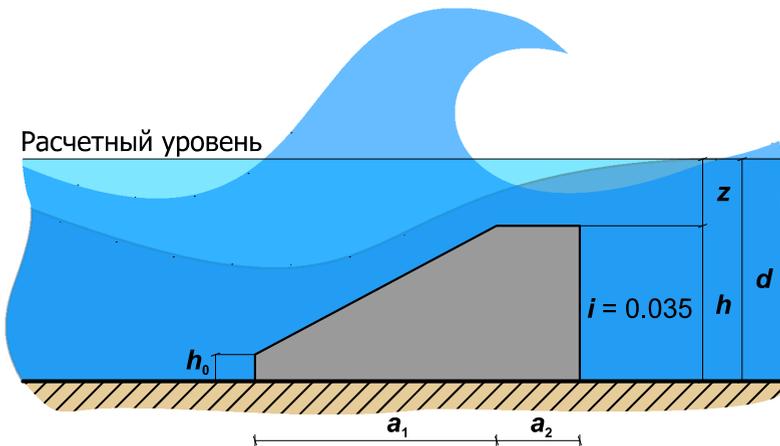


Рис. 3. Подводный волнолом

Рассматриваемый подводный волнолом, был испытан в натуральных условиях в районе Одесской волноисследовательской станции [9]. Его размеры: $h_0 = 0,25$ м, $h = 2,9$ м, $a_1 = 4,4$ м, $a_2 = 0,6$ м. Глубина воды на месте установки волнолома $d = 3,5$ м, а над гребнем $z = 0,6$ м. Высота волны $h_{5\%} = 3$ м, ее средняя длина $\lambda_{\text{ср}} = 29$ м, а средний период $T_{\text{ср}} = 5$ с. Уклон дна равен $i = 0,035$, характеристики грунта основания: $E = 30$ МПа, $\mu = 0,3$, $\varphi_0 = 30^\circ$, $c = 0,003$ МПа. Характеристики бетона волнолома: $E = 30000$ МПа, $\mu = 0,2$, $\sigma_p = 1,3$ МПа, $\sigma_c = 17$ МПа. Действующая нагрузка принимается из эпюры волнового давления при 1% – ой обеспеченности, которая построена по результатам натуральных наблюдений на Одесской волноисследовательской станции. Этот пример при статическом воздействии волн был подробно исследован в монографии [2].

Здесь рассматривается случай, когда гребень волны находится над наклонной гранью волнолома и затем происходит его воздействие на волнолом не в виде статической нагрузки, а удара, что и наблюдается в натуральных условиях. Для определения расчетного ускорения частиц песчаного основания используется его динамическая упругопластическая расчетная модель, разработанная в [2]. Разжижение песчаного грунта будет определяться по "Фильтрационной теории".

ДИНАМИКА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Для решения задачи определения расчетного ускорения $a_{рас}$ применяется метод Ньюмарка, он изложен в монографии [2]. Критическое ускорение колебаний $a_{кр}$ обычно находится по результатам виброкомпрессионных испытаний. Точных данных определения $a_{кр}$ для намывных песков Одесской береговой зоны нет. Поэтому на основании обширных натуральных и экспериментальных данных, приведенных в [5, 6] для различных песчаных грунтов, принимается для данного примера наиболее подходящее значение $a_{кр} = 5 \text{ см/с}^2$.

Выполненные на ЭВМ расчеты показали, что полученное расчетное ускорение $a_{рас}$ в узловых точках конечных элементов оказалось меньше критического ускорения ($0 < a_{рас} \leq 3 \text{ см/с}^2$), т. е. разжижение песков не должно происходить, что противоречит приведенным выше реальным примерам. Однако необходимо отметить, во-первых, волновая нагрузка принималась как осредненная величина, в натуральных условиях она может отклоняться как в большую, так и в меньшую стороны. Во-вторых, как показано в работе [10], при ударе волны могут возникать <игловые> мгновенные нагрузки интенсивностью свыше 5λ , где λ – высота волны. Время их действия составляет 0,002-0,005 с, а повторяемость не превышает 5-8 %. Были выполнены различные расчеты на такие динамические нагрузки, которые показали, что в некоторых узловых точках конечных элементов основания под волноломом возникают расчетные ускорения, превышающие величину критического ускорения $a_{кр}$ ($0 < a_{рас} \leq 8 \text{ см/с}^2$). Следовательно, в песчаном основании под волноломом могут образовываться области, в которых происходит его разжижение. Со временем эти области расширяются, и массивы волноломов постепенно погружаются в песчаное основание. Все это подтверждает наблюдаемое явление осадки берегозащитных сооружений, вызванное разжижением основания, происходящее именно во время сильных штормов.

Какие мероприятия следует выполнять для предотвращения таких негативных явлений? В наиболее общем случае они перечислены в работах [4, 5, 6, 7]. Применительно к рассматриваемому случаю необходимо под массивы волнолома сооружать каменную постель. Хотя процесс разжижения и уплотнения несвязанных грунтов не зависит от их гранулометрического состава, но с увеличением крупности, а, следовательно, и водопроницаемости, уменьшается время их пребывания в разжиженном состоянии. При разрушении структуры небольших слоев крупнозернистых грунтов это время так мало, что в них практически не наблюдается проявлений разжижения [11]. Для определения оптимальных безопасных размеров, как самих сооружений, так и каменных постелей и засыпок за волноотбойными стенами необходимы обширные и тщательные эксперименты по изучению волнового режима и свойств грунтов в районе строительства береговых гидротехнических сооружений.

ДИНАМИКА БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**ЛИТЕРАТУРА**

1. Гришин А.В, Федорова Е.Ю. Нелинейная динамика огради-
тельных сооружений. – Одесса: ОНМУ, 2002. – 240 с.
2. Гришин В.А., Снисаренко В.И. Нелинейные модели берегоук-
репительных сооружений – К.: МП Леся, 2007. – 271 с.
3. Шафир И.Н. Причины повреждений портовых огради-
тельных сооружений. – М.-Л.: Морской транспорт, 1950. – 360 с.
4. Гольдштейн М.Н. Внезапное разжижение песка// Вопросы гео-
техники. – Сборник 1. – М.: Гос. изд. по строительству, 1953. –
С. 5-41.
5. Иванов П.Л. Разжижение песчаных грунтов. – М.-Л.: Госэнер-
гоиздат, 1962. – 260 с.
6. Маслов Н. Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков.
– М.: Госэнергоиздат, 1959. – 328 с.
7. Ишихара К. Поведение грунтов при землетрясениях. – СПб.,
2006. – 383 с.
8. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. – М.:
Высшая школа, 1978. – 311с.
9. Лызлов И.А., Натальчишин Г.Д. Опыт работы первой натур-
ной волноисследовательской станции по изучению взаимо-
действия волн с берегоукрепительными волноломами // Труды
координационных совещаний по гидротехнике. – Вып. 66. –
Л.: Энергия, 1971. – С. 184-190.
10. Жданов А.М. Волновые нагрузки, действующие на морские
берегоукрепительные сооружения. – М.: ЦНИИСК, 1958. –
75 с.
11. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооруже-
ний. – М.: Высшая школа, 1991. – 447 с.

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

Рассмотрен вариант ассоциированной теории пластического течения с деформационным упрочнением, учитывающий физическую нелинейность, дилатацию грунтов различной степени связности. Предлагаются результаты численного решения тестовых задач методом конечных элементов.

Розглянуто варіант асоційованої теорії пластичної течії з деформційним зміцненням, що враховує фізичну нелінійність, дилатацію ґрунтів різного ступеня зв'язності. Пропонуються результати чисельного вирішення тестових задач методом скінченних елементів.

The variant of the associated theory of plastic flow with the deformation consolidating is considered, taking into account physical non-linearity, dilatation earths of different degree coherent. The results of numerical solution of test problems by the finite element method are offered.

Ключевые слова: *грунты, пластическое течение, предельная поверхность, дилатация, метод конечных элементов.*

Классические теории пластичности, используемые в механике грунтов, основанные на гипотезах Мора-Кулона, Друкера-Прагера, Мизеса-Боткина, применяют для описания предельных поверхностей линейные образующие, приводящие к бесконечным значениям прочности материала при бесконечных уровнях гидростатического сжатия. Это обстоятельство обусловлено предположением о том, что предельное состояние материала наступает только за счет сдвиговых составляющих напряжений и не учитывается факт возможного разрушения «по отрыву-сжатию» [2]. При этом пластическое течение ассоциируется с поверхностью нагружения, которая строится как модификация (изотропная деформация и /или перемещение) поверхности прочности и тоже является разомкнутой в области гидростатического сжатия. Между тем, исследования последних лет для большинства материалов свидетельствуют в пользу того, что поверхность пластичности должна быть замкнута как в области изотропного растяжения, так и в области изотропного (гидростатического) сжатия, т.е. в материале реализуется смешанный механизм предельного состояния как по сдвигу, так и по сжатию-растяжению (отрыву) [2, 4, 5]. В этом направлении опубликовано значительное число работ [7-13]. Однако в большинстве этих исследований в качестве исходной принимают бесконечную поверхность и замыкают ее в области всестороннего сжатия сферой или эллипсоидом вращения. При этом нарушается методологическое единство описания свойств материала при различных уровнях гидростатического сжатия, поверхность пере-

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

стает быть гладкой, параметры замыкающей поверхности трудно определить опытным путем.

Здесь предлагается обобщение известной предельной поверхности Друкера-Прагера, симметричной относительно диагонали пространства главных напряжений, имеющей в качестве образующей замкнутую кривую, в качестве направляющей – криволинейный треугольник. Эта поверхность является исходной для построения поверхностей нагружения. Другими словами, речь идет о варианте ассоциированной теории пластического течения с деформационным упрочнением.

В общем виде теория пластического течения с упрочнением формулируется как связь между приращениями деформаций и напряжений [10]

$$d\{\sigma\} = [D]_{ep} d\{\varepsilon\}, \quad (1)$$

где $[D]_{ep}$ – упругопластическая матрица.

$$[D]_{ep} = [D] - \frac{[D] \frac{\partial Q}{\partial \{\sigma\}} \left(\frac{\partial F}{\partial \{\sigma\}} \right)^T [D]}{\left(\frac{\partial F}{\partial \{\sigma\}} \right)^T [D] \frac{\partial Q}{\partial \{\sigma\}} + \Lambda}; \quad (2)$$

$[D]$ – начальная матрица упругости, отвечающая закону Гука для изотропного материала;

Здесь F и Q – некие функции, называемые соответственно функцией нагружения и пластическим потенциалом, при этом $Q \neq F$ соответствует неассоциированной, а $Q = F$ – ассоциированной формулировке теории течения. При разгрузке, когда $F = 0$; $dF < 0$; $(\partial F / \partial \{\sigma\})^T d\{\sigma\} < 0$, второе слагаемое в (2) принимается равным нулю.

Функция Λ называется функцией упрочнения. Если в качестве параметра упрочнения χ принимается работа напряжений на пластических деформациях, а $d\chi = \{\sigma\}^T d\{\varepsilon_p\}$, то функция упрочнения определяется так

$$\Lambda = - \frac{\partial F}{\partial \chi} \{\sigma\}^T \frac{\partial F}{\partial \{\sigma\}} = - \frac{\partial F}{\partial \{\varepsilon_p\}} \frac{\partial F}{\partial \{\sigma\}}. \quad (3)$$

Рассмотрим так называемый ассоциированный вариант течения, когда $Q = F$. В этом случае F представляет собой поверхность по

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

нормали к которой происходит пластическое течение. В случае учета упрочнения эта поверхность всегда проходит через точку текущего напряжения и меняется в процессе нагружения. Однако в большинстве современных теорий поверхность строится не в шестимерном пространстве напряжений, а в местной текущей цилиндрической октаэдрической системе координат σ_o, τ_o, θ , где θ – так называемый угол вида напряженного состояния $0 \leq \theta \leq \pi/3$

$$\sigma_o = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z); \quad \tau_o = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{J_2}; \quad \theta = \frac{1}{3} \arccos\left(\sqrt{2} \frac{J_3}{\tau_o^3}\right). \quad (4)$$

Здесь J_2 и J_3 – второй и третий инварианты девиатора напряжений

$$J_2 = -s_x s_y - s_y s_z - s_x s_z + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2; \quad s_x = \sigma_x - \sigma_o; \quad s_y = \sigma_y - \sigma_o; \quad s_z = \sigma_z - \sigma_o;$$

$$J_3 = s_x s_y s_z - s_x \tau_{yz}^2 - s_y \tau_{xz}^2 - s_z \tau_{xy}^2 - 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{xz}.$$

В этой системе координат

$$\{\sigma\} = \{\sigma_o \ \tau_o\} \quad \text{и} \quad \{\varepsilon\} = \{\varepsilon_o \ \gamma_o\},$$

где

$$\varepsilon_o = \frac{1}{3}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z); \quad \gamma_o = 2\sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{J_{2\varepsilon}}; \quad J_{2\varepsilon} = -e_x e_y - e_y e_z - e_x e_z + \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{xz}^2);$$

$$e_x = \varepsilon_x - \varepsilon_o; \quad e_y = \varepsilon_y - \varepsilon_o; \quad e_z = \varepsilon_z - \varepsilon_o,$$

ε_o и γ_o – октаэдрические продольные и сдвиговые деформации;

$J_{2\varepsilon}$ – второй инвариант девиатора деформаций. Начальная матрица упругости $[D]$, входящая в выражение (2) в данном случае имеет вид

$$[D] = \begin{bmatrix} 3K_o & 0 \\ 0 & G_o \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где K_o и G_o – объемный модуль и модуль сдвига.

Осуществив матричные перемножения и сложение, выражение (2) можно представить в обычной форме

$$[D]_{ep} = \begin{bmatrix} 3K & 0 \\ 0 & G \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\text{где } 3K = 3K_o - \left(a_{11} + a_{12} \frac{d\varepsilon_o}{d\gamma_o} \right) / \Delta; \quad G = G_o - \left(a_{22} + a_{12} \frac{d\gamma_o}{d\varepsilon_o} \right) / \Delta.$$

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

Здесь

$$a_{11} = 9K_o^2 \left(\frac{\partial F}{\partial \sigma_o} \right)^2; \quad a_{12} = 3K_o G_o \frac{\partial F}{\partial \sigma_o} \frac{\partial F}{\partial \tau_o}; \quad a_{22} = G_o^2 \left(\frac{\partial F}{\partial \tau_o} \right)^2;$$

$$\Delta = -\frac{a_{11} + a_{12}}{3K_o} - \frac{\partial F}{\partial \chi} \left(\sigma_o \frac{\partial F}{\partial \sigma_o} + \tau_o \frac{\partial F}{\partial \tau_o} \right).$$

Представим выражение для поверхности нагружения в следующем виде

$$F(\sigma_o, \tau_o, \theta) = \tau_o - A_o(b + \sigma_o)\sqrt{a - \sigma_o} = 0,$$

или

$$\tau_o = A_o(b + \sigma_o)\sqrt{a - \sigma_o}. \quad (7)$$

Эта поверхность всегда проходит через точку с координатами текущего нагружения σ_o, τ_o , замкнута с двух сторон и пересекает ось σ_o в точках $\sigma_o = -b$ и $\sigma_o = a$ (рис.1 а). Кроме того, наложим на (7) следующие условия:

$$\tau_o|_{\sigma_o=0} = c_o; \quad \partial \tau_o / \partial \sigma_o|_{\sigma_o=0} = M_o. \quad (8)$$

Эти условия позволяют установить следующие соотношения между параметрами кривой (7):

$$A_o = \frac{2\sqrt{a}}{2a+b} M_o; \quad b = \frac{2ac_o}{2aM_o - c_o}. \quad (9)$$

Параметр a также может быть установлен точно, исходя из условий (8), но при этом выражения для него получаются достаточно громоздкими. Его можно установить приближенной, более простой зависимостью

$$a \approx \frac{\sigma_o}{1 - \left(\frac{\tau_o}{M\sigma_o} \right)^2} + b. \quad (10)$$

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

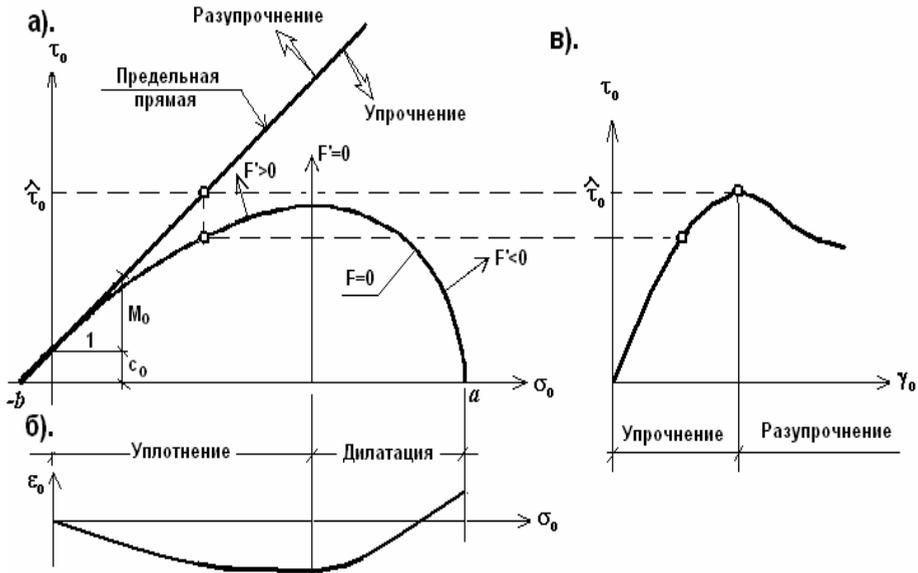


Рис. 1. Функция нагружения

Рассмотрим подробно участки кривой (7) на рис.1 а. Прежде всего, кривая асимптотически приближается к предельной по Мору прямой $\tau_o = M_o \sigma_o + c_o$. При этом зона под прямой соответствует зоне упрочнения, над прямой – разупрочнения. На условной диаграмме $\tau_o - \gamma_o$ (рис.1 в) это соответственно восходящие и нисходящие участки. Кроме того, производная функции (6) меняет знак на участке от $-b$ до a . Смена знака производной отвечает переходу материала из состояния уплотнения к состоянию дилатации на условной диаграмме $\sigma_o - \varepsilon_o$ (рис.1 б).

Общий вид поверхности нагружения в пространстве главных напряжений и ее характерные сечения представлены на рис.2 а. Так называемое девиаторное сечение этой поверхности представляет собой криволинейный треугольник с максимальным τ_1 и минимальным τ_2 радиусами (рис.2 б), которые соответствуют экстремальным значениям угла $\theta = \pi/3$ и $\theta = 0$ при $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ и $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$. При этом по Кулону

$$M_1 = 2\sqrt{2} \frac{\sin \varphi}{3 - \sin \varphi}; M_2 = 2\sqrt{2} \frac{\sin \varphi}{3 + \sin \varphi}; c_1 = 2\sqrt{2} \frac{\cos \varphi}{3 - \sin \varphi} c; c_2 = 2\sqrt{2} \frac{\cos \varphi}{3 + \sin \varphi} c,$$

где φ и c – кулоновские угол внутреннего трения и сцепление

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

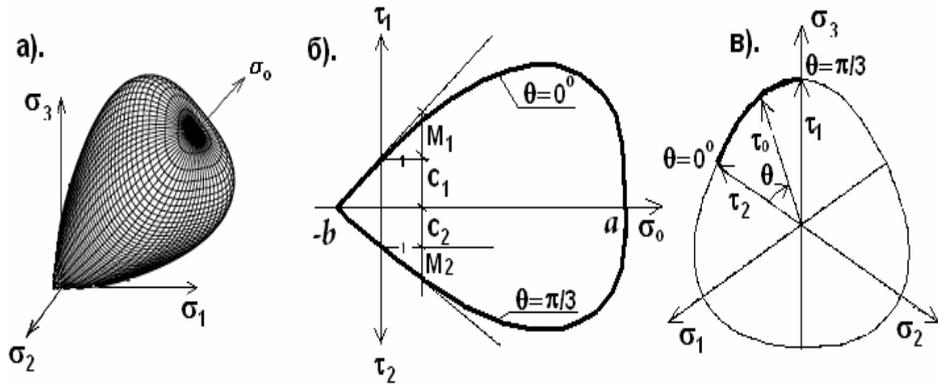


Рис.2. Общий вид поверхности и ее характерные сечения

Интерполяцию между двумя предельными случаями $\theta = 0$ и $\theta = \pi/3$ можно осуществить с помощью следующего выражения [3]:

$$\rho(\theta) = 1 - 4(1 - g) \cos \vartheta (1 - \cos \vartheta), \quad \vartheta = \frac{\pi}{3} - \theta, \quad (11)$$

где $g = \frac{3 - \sin \varphi}{3 + \sin \varphi}$. При этом $\rho(0) = 1$ и $\rho(\pi/3) = g$. Тогда параметры формулы (9) могут быть определены так:

$$M_o = \rho(\theta)M_1; \quad c_o = \rho(\theta)c_1,$$

$$a \quad A_o = \rho(\theta)A_1; \quad A_1 = \frac{2\sqrt{a}}{2a+b}M_1. \quad (12)$$

Вектор-столбец производных $\frac{\partial F}{\partial \{\sigma\}}$, входящий в выражения (2)

и (3), имеет вид

$$\frac{\partial F}{\partial \{\sigma\}} = \left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma_o}, \quad \frac{\partial F}{\partial \tau_o} \right\}. \quad (13)$$

Дифференцируя (6) по σ_o и τ_o , будем иметь

$$\frac{\partial F}{\partial \sigma_o} = -A_o \left(\sqrt{a - \sigma_o} - \frac{b + \sigma_o}{2\sqrt{a - \sigma_o}} \right); \quad \frac{\partial F}{\partial \tau_o} = 1 - (b + \sigma_o)\sqrt{a - \sigma_o} \frac{\partial A_o}{\partial \tau_o}. \quad (14)$$

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

В свою очередь, имея в виду (12) и (4), находим

$$\frac{\partial A_o}{\partial \tau_o} = A_I \frac{\partial \rho(\theta)}{\partial \tau_o} = A_I \frac{\partial \rho(\theta)}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial \tau_o} = \frac{3\sqrt{2} J_3 A_I}{\tau_o^4 \sqrt{1 - 2 \left(\frac{J_3}{\tau_o^3} \right)^2}} \frac{\partial \rho(\theta)}{\partial \theta}. \quad (15)$$

Дифференцирование выражения (11) дает

$$\frac{\partial \rho(\theta)}{\partial \theta} = -4(1 - g) \sin \vartheta (2 \cos \vartheta - 1). \quad (17)$$

Таким образом все аналитические выражения для производных, входящих в соотношения (2) и (3), установлены.

Строго говоря, соотношение (6), представляющее собой функцию нагружения, уже учитывает упрочнение, т.к. соответствующая ей поверхность непрерывно меняет свою форму в процессе нагружения. Параметр a в (10) является функцией напряженного состояния. В принципе выражение для A в соотношениях (2) может быть принято равным нулю. По всей видимости, это было бы справедливым, если бы грунт был абсолютно плотным материалом. Однако большинство грунтов обладает довольно высокой пористостью, которая уменьшается в результате его всестороннего обжатия. Причем это уменьшение непропорционально напряжению гидростатического обжатия, что обуславливает дополнительную физическую нелинейность материала. Поэтому изменение пористости целесообразно принять в качестве дополнительной меры упрочнения. Объемная пористость грунта e определяется в зависимости от октаэдрических нормальных напряжений по известной формуле Терцаги [6]

$$e = e^o - \mu \ln \sigma_o, \quad (18)$$

где e^o – пористость в естественном, ненагруженном, состоянии;

μ – параметр, определяемый из компрессионных испытаний.

График этой функции в логарифмических координатах представлен в виде прямой 1 на рис. 3. Объемные деформации, вызванные изменением пористости, определяются так:

$$3\varepsilon_o = -\frac{e - e_o}{1 + e}, \quad 3d\varepsilon_o = -\frac{de}{1 + e}. \quad (19)$$

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

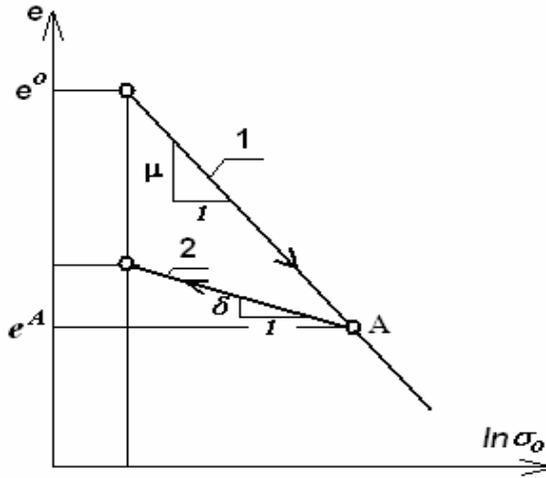


Рис.3. Изменение пористости

При разгрузке из положения А пористость не восстанавливается до первоначального состояния, сохраняется остаточная пористость. Восстанавливаемая часть также определяется по формуле Терцаги

$$e = e^A - \delta \ln \sigma_0, \quad (20)$$

где δ – экспериментальный параметр. График функции (20) представлен на рис.3 (прямая 2). Приращения пластической части объемных деформаций равны $d\varepsilon_o^p = d\varepsilon_o - d\varepsilon_o^e$, где $d\varepsilon_o^e$ – остаточные деформации. Другими словами,

$$3d\varepsilon_o^p = \frac{\mu - \delta}{(1 + e)\sigma_o} d\sigma_o. \quad (21)$$

Принимая в качестве параметра упрочнения работу октаэдрических нормальных напряжений на пластических деформациях, с помощью (21) получим следующее выражение для производной $\frac{\partial F}{\partial \chi}$, входящей в соотношение (3)

$$\frac{\partial F}{\partial \chi} = - \frac{3(1 + e)}{\mu - \delta} \frac{\partial F}{\partial \sigma_o}. \quad (22)$$

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

Заметим, что при таком подходе разгрузка осуществляется по нелинейному логарифмическому закону с модулями

$$K_o = \frac{1+e}{\delta} \sigma_o; \quad G_o = \frac{3K_o(1-2\nu)}{2(1+\nu)},$$

где ν – коэффициент поперечных деформаций. При этом, как обычно при разгрузке, второе слагаемое в (2) равно нулю [12].

Если напряжения лежат выше предельной прямой (рис.1а), т.е. находятся в зоне разупрочнения, то соотношения теряют смысл, т.к. при этом нарушается известный постулат Друккера. Тем не менее этот эффект в реальных опытах наблюдается, процесс деформирования осуществляется по ниспадающей ветви диаграммы (рис.1в). Поэтому, чтобы его учесть, выражение (22) представим в виде

$$\frac{\partial F}{\partial \chi} = \frac{1}{\tau_o} \frac{\partial F}{\partial \tau_o} \frac{\partial \tau_o}{\partial \gamma_o^p} = \frac{1}{\tau_o} G_p \frac{\partial F}{\partial \tau_o} = \frac{1}{\tau_o} \frac{G_o G}{G_o - G} \frac{\partial F}{\partial \tau_o}, \quad (23)$$

где G_p – пластический модуль сдвига. Касательный упругопластический модуль G определим, задав аналитическое выражение для кривой на рис.1 в, например, в виде, аналогичном для диаграммы деформирования разупрочняющихся материалов при одноосном сжатии [16]

$$\xi = \frac{k\eta}{1 + (k-2)\eta + \eta^2}, \quad (24)$$

где $\xi = \frac{\tau_o}{\bar{\tau}_o}$; $\eta = \frac{\gamma_o}{\bar{\gamma}_o}$; $k = G_o \frac{\bar{\gamma}_o}{\bar{\tau}_o}$. Здесь $\bar{\gamma}_o$ и $\bar{\tau}_o$ – координаты вершины диаграммы. Дифференцируя (24) по γ_o , получим

$$G = \frac{\partial \tau_o}{\partial \gamma_o} = G_o \frac{1 - \eta^2}{[1 + (k-2)\eta + \eta^2]^2}. \quad (25)$$

Описанная модель тестировалась в составе вычислительного комплекса “Concord” [3], предназначенного для решения физически нелинейных задач методом конечных элементов. В качестве тестового примера рассматривался расчет одного восьмиузлового объемного конечного элемента прямоугольной формы единичных размеров (рис.4 а), с помощью которого моделировалось сложное напряженное состояние.

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

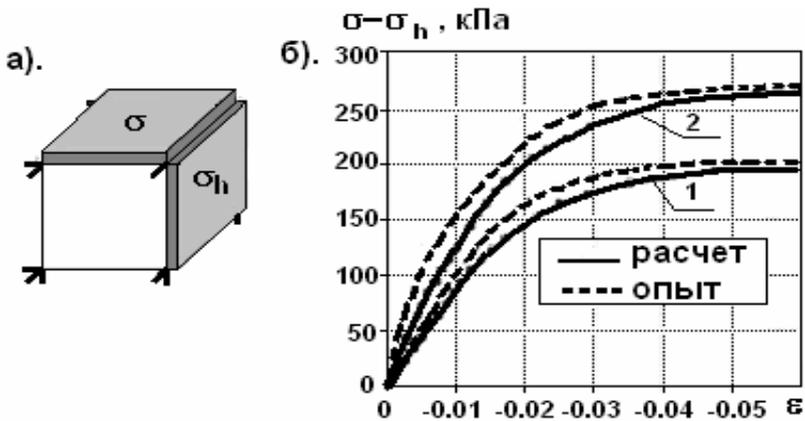


Рис.4. Тестовая задача

Нагрузки к элементу прикладывались в горизонтальном и вертикальном направлениях ступенями, причем на первой ступени их величины были равны значениям, создающим равномерное гидростатическое сжатие $\sigma_h = 100$ кПа. На последующих ступенях прикладывалась только вертикальная нагрузка вплоть до наступления предельного состояния. На рис.4б представлены данные расчетов для грунта со следующими характеристиками:

1.- $E=20$ МПа, $\nu=0.2$, $\varphi=30^\circ$, $c=0$;

2.- $E=30$ МПа, $\nu=0.2$, $\varphi=35^\circ$, $c=0$. Результаты расчетов сравнивались с данными [15].

Приведем результаты численного решения МКЭ еще одной тестовой задачи о действии квадратного жесткого штампа на грунт и сопоставим результаты расчетов с экспериментальными данными [7]. Размер штампа 40x40 см. Нагрузка в испытаниях увеличивалась ступенями по 40 кН/м². Для расчета использовались объемные изопараметрические восьмиузловые конечные элементы. Рассматривалась только симметричная часть образца. Расчетные характеристики грунта, отвечающие экспериментальным данным [7]: $E = 2,5$ МПа; $\varphi = 18^\circ$; $c = 0,045$ МПа. Коэффициент Пуассона $\nu = 0,35$. Нагружение в расчете принималось аналогично опытному. Результаты расчета осадок штампа по ступеням нагружения представлены на рис.5 г. Здесь же даны изолинии перемещений (рис.5 а) и напряжений (рис.5 б, в) при $q = 680$ кН/м². Из рисунков видно, что расчетный характер деформированного и напряженного состояния грунта под штампом отвечает истинному.

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

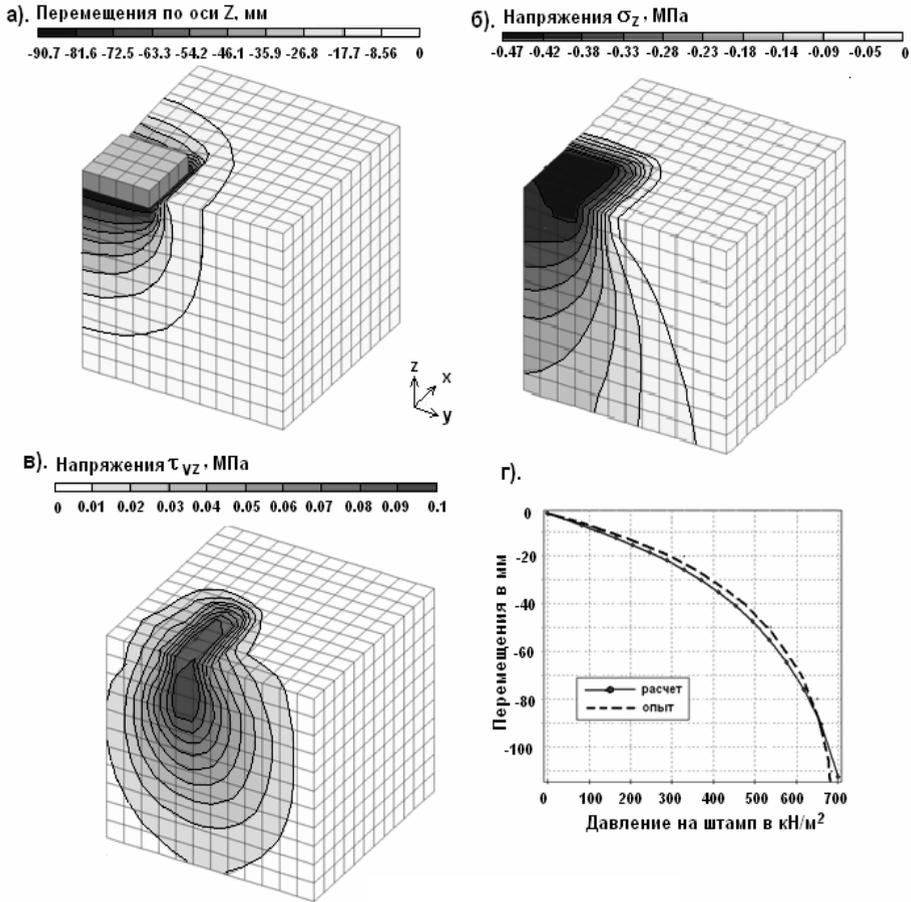


Рис.5. Задача о штампе

ЛИТЕРАТУРА

1. Филоненко-Бородич М.М. Об условиях прочности материалов, обладающих различным сопротивлением растяжению и сжатию // Инж. сборник. – 1954. – Вып.19. – С.36-48.
2. Зарецкий Ю.К. Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений. – М.: Стройиздат, 1988. – 352 с.
3. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. – Запорожье: ИПО Запорожье, 2009. – 400 с.

ВАРИАНТ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ ДИЛАТИРУЮЩИХ ГРУНТОВ

4. Дидух Б.И. Упругопластическое деформирование грунтов. – М.: Изд-во Унив. Дружбы народов, 1987. – 166 с.
5. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. – М.: Изд-во ассоциации строительных вузов Москвы, 2001. – 384 с.
6. Терцаги К. Теория механики грунтов. – М.: Стройиздат, 1961. – 507 с.
7. Балюра. М.В. Горизонтальные перемещения в основании под жестким штампом // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1973. – № 6. – С.39-41.
8. Stein E., Ramm E., Rabk E. and other. Error-Controlled Adaptive Finite Element in Solid Mechanics. – Willey, West Sussex PO198SQ, England, 2003. – 410 p.
9. Brinkgreve R.B.J., Vermeer P.A. Plaxis. Finite Element Code for Soil and Rock Analysis. Materials Models Manual. Part 3. – A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1998.
10. Zienkiewicz O.C. The Finite Element Method. Fifth edition. V.2. Solid Mechanics. – Butterworth-Heinemann, 2000. – 459 p.
11. Bigoni D., Piccolroaz A. Yield Criteria for Quasibrittle and Frictional Materials // Int. J. of Solid and Structures. – № 3. – 2004. – P. 2855-2878.
12. Roscoe K.J, Schofield A.N. Mechanical Behavior of an Idealised “Wet” Clay // Proc. European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering. – V.1. – 1963. – P.47-54.
13. Collins I.F., Hilder T. A theoretical Framework for Constructing Elastic/Plastic Constitutive Models of Triaxial Test // Int. J. for Numerical and Analytical Method in Geomechanics. – № 26. – 2002. – P. 1313-1347.
14. Borja R.I., Sama K.M., Sanz P.S. On the Numerical integration of Three-invariant Elastoplastic Constitutive Models //Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. –192. – 2003. – P. 1227-1258.
15. Burland J.B. The Yielding and Dilatation of Clay. (Correspondence)// Geotechnique. – 1965. – V.15. – P.211-214.
16. Liu T.C.Y., Nilson A.H., Slate F.O. Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Uniaxial and Biaxial Compression//ACI Journal. – V.69. – 1972. P. 291-295.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Рассмотрена специфика работы шпунтовых стенок портовых сооружений при использовании свай корытного профиля. Впервые проведены полномасштабные эксперименты как на строительной площадке, так и в лабораторных условиях с использованием технологии задавливания свай. Получены интересные данные о распределении сил трения в замках шпунтовых свай.

Розглянуто специфіку роботи шпунтових паль портових споруд під час використання паль коритного профілю. Вперше проведено повномасштабні експерименти як на будівельному майданчику, так і в лабораторних умовах з використанням технології вдавлення паль. Отримано інтересні дані щодо розподілу сил тертя у замках шпунтових паль.

Peculiarities of sheet piling walls work made of U-profile piles are considered. For the first time full-scale experiments both at the construction site and in laboratory conditions by press-in method were provided. There were obtained interesting results about friction forces distribution in the sheet piles interlocks.

Ключевые слова: *техническая эксплуатация, шпунтовая свая, эксперимент, задавливание свай.*

Для обеспечения оптимальных параметров технической эксплуатации воднотранспортных гидротехнических сооружений, а также экономичных методов их реконструкции и ремонта, необходимо максимально точно учитывать жесткостные характеристики основных несущих конструктивных элементов сооружения. Данное соображение имеет существенное значение при использовании в составе воднотранспортных сооружений гибких шпунтовых стенок корытного профиля (сечения типа «Ларссен»), в частности, при определении их момента инерции и момента сопротивления.

Основная особенность шпунтовых стенок корытного профиля заключается в том, что их замковые соединения расположены в зоне нейтральной оси стенки. Таким образом, усилия и деформации в замках таких шпунтовых свай играют важную роль в поведении свай и в формировании реальных значений упомянутых геометрических параметров сечения стенки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

При полной передаче усилий от сваи к свае через замки стенка из шпунтовых свай работает как сплошная конструкция (геометрические параметры сечения могут приниматься по их каталожным значениям, предоставляемым производителями). При полном проскальзывании свай в замках (нулевое трение) каждая шпунтина работает как одиночная свая, при этом момент инерции и момент сопротивления шпунтовой стенки минимальны. В действительности силы трения в замках имеют некоторое промежуточное (между нулевым и полным трением) значение. Это предопределяет и некоторые промежуточные значения (между минимальным для работы одиночных свай и максимальным для сплошной стенки) рассматриваемых геометрических параметров, на величину которых оказывают влияние такие основные факторы как свойства грунтов, в которые погружают сваи, метод и технология погружения.

Механические свойства грунтов влияют на силы трения в замковых соединениях шпунтовых свай и передачу продольных усилий от сваи к свае.

Одним из наиболее приемлемых методов изучения взаимодействия замковых соединений шпунтовых свай с грунтовой средой при устройстве и эксплуатации шпунтовых стенок является метод вдавливания свай, позволяющий ступенчато варьировать прилагаемую внешнюю силу в заданных интервалах, скорость и направление приложения нагрузки, а также избежать негативных динамических эффектов, сопровождающих процессы забивки свай.

В связи с изложенным были проведены комплексные исследования, включающие как полномасштабные натурные опыты, так и лабораторные эксперименты с реальными замковыми соединениями шпунтовых свай в разнообразных грунтовых условиях.

Цель исследований состояла в определении особенностей взаимодействия замковых соединений стальных шпунтовых свай корытного профиля с грунтовой средой при погружении свай статическим вдавливанием, а именно зависимостей типа «нагрузка-перемещение» в широком (и реальном для рассматриваемых сооружений) интервале усилий. Полученные зависимости могут быть использованы для разработки достоверной модели взаимодействия элементов системы «шпунтовая стенка-грунтовая среда», а также повышения эффективности численного моделирования и проектирования воднотранспортных сооружений для стадий их возведения, эксплуатации, реконструкции и ремонта. Следует отметить, что упомянутые разные стадии работы сооружения характеризуются различными интервалами нагрузок и перемещений шпунтовых свай. Так, для стадии технической эксплуатации взаимные смещения свай вдоль замковых соединений могут составлять от нескольких миллиметров до нескольких

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

сантиметров. Для этапов строительства, реконструкции или ремонта шпунтовых стенок такие смещения могут быть выше на порядок.

Таким образом, полномасштабное физическое моделирование в реальном масштабе сил и перемещений целесообразно для оценки поведения свай при возведении (реконструкции) сооружений. Для изучения особенностей стадии эксплуатации рассматриваемых конструкций полезными оказываются более точные лабораторные опыты для ограниченных интервалов усилий и деформаций исследуемых элементов. Некоторые ранее выполненные исследования (лабораторные опыты и численное моделирование [1, 2]) показали обоснованность предлагаемых подходов и перспективность их развития для воднотранспортных сооружений, включающих стальные шпунтовые стенки. В то же время полномасштабное физическое моделирование (ввиду значительных технологических, материальных и методологических трудностей) ранее для решения поставленных задач не проводилось, в связи с чем приведенные в данной публикации данные представляются интересными, полезными и уникальными.

Полномасштабное физическое моделирование процессов вдавливания и извлечения стальных шпунтовых свай было основано на применении модульной координационной свае вдавливающей системы (МКС). МКС – высокотехнологичное строительное оборудование, предназначенное для ведения свайных работ поточным методом [3, 4]. Основные технологические преимущества модульной сваевдавливающей системы – высокая производительность, точность позиционирования, интерактивный контроль качества работ. Сваевдавливающая система применяется для погружения железобетонных призматических и стальных шпунтовых свай, а также труб с усилием вдавливания до 2000 кН. Сваевдавливающая система позволяет реализовать непрерывный мониторинг каждой погружаемой свай. Данные мониторинга, подтвержденные результатами контрольных испытаний, позволяют гарантировать несущую способность каждой сваи и открывают возможность интерактивного проектирования. Оборудование работает бесшумно, не оказывает динамического и вибрационного воздействия на грунт основания и соответствует самым высоким требованиям экологической безопасности.

Сваевдавливающая машина может быть использована как стенд для проведения контрольных испытаний свай. Она способна ступенчато по заданной программе передавать усилие на испытываемую сваю до 2000 кН. Перемещение сваи под нагрузкой фиксируется относительно неподвижной реперной системы. По результатам контрольных испытаний определяется допустимая нагрузка на фундамент. Ведется непрерывный мониторинг усилия вдавливания каждой сваи. Данные мониторинга, подтвержденные результатами контрольного испытания, позволяют гаранти-

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

ровать несущую способность каждой сваи, а также качество свайного фундамента в целом, что открывает возможности интерактивного проектирования.

Сравнительные исследования технологий погружения свай, показали, что метод вдавливания свай наименее энергоемок по сравнению с ударным, виброударным, вибровдавляющим и вибрационным способом погружения. Объясняется это тем, что при вдавливании свай работа максимально затрачивается на преодоление внешних сил – сопротивления грунта. При других методах погружения свай эта работа затрачивается на преодоление внутренних сил, возникающих в погружающих механизмах.

Сваевдавляющие машины СО-500 в смонтированном виде представляют собой конструкцию, содержащую грузовую раму, станину с направляющими колоннами, вдавливающий и зажимной механизмы, гидроцилиндры рабочего и обратного хода, а также средства управления.

Вдавливательный механизм сваевдавляющей машины представляет собой головку рамкообразной формы с размещенным в её центральной части центрирующим зажимным механизмом, который в отличие от прототипов не только зажимает сваю, но и передаёт ей вдавливающее усилие не с торца, а через боковую поверхность. Вдавливающая головка машины выполнена из конструктивных элементов, каждый из которых кинематически связан с зажимным механизмом, имеет возможность образования единой жесткой подвижной системы, обеспечивающей эффективную фиксацию и цикличное погружение сваи в грунт независимо от её конфигурации и длины.

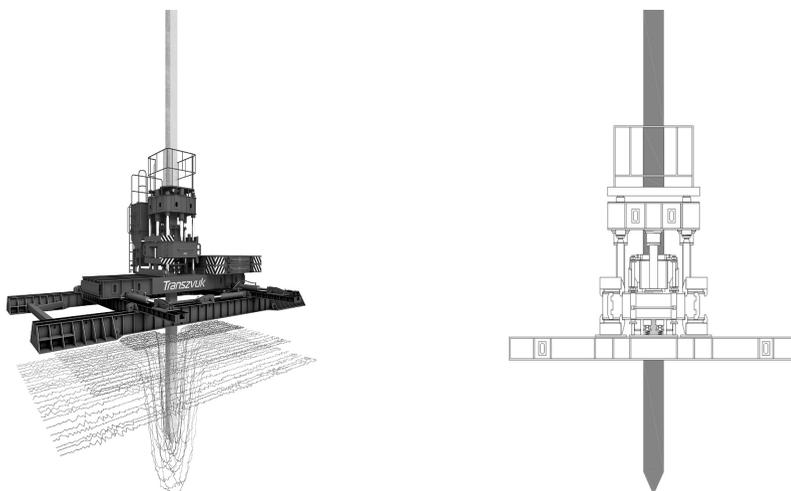
Нагрузка от рабочих гидроцилиндров сосредоточена вдоль оси, проходящей через центр давления клиновидных элементов, и совпадает с ней, а площадь зажимной губки рассчитана так, чтобы обеспечить условия, при которых боковое удельное давление на сваю всегда меньше удельной нагрузки на неё в поперечном сечении.

Экспериментальные исследования по полномасштабному физическому моделированию силового взаимодействия шпунтовых свай в замковых соединениях при их вдавливании и извлечении, а также соответствующие лабораторные опыты проводились Одесским национальным морским университетом (кафедра «Морские и речные порты, водные пути и их техническая эксплуатация») и Инженерным центром «Трансзвук» при содействии Международной Ассоциации по вдавливанию свай (International Press-In Association) и компании Гикен (Япония).

Натурные опыты проводились на экспериментальной площадке Инженерного центра «Трансзвук» вблизи побережья Одесского залива в июле 2009 г. Исследованиям были подвергнуты стальные шпунтовые сваи корытного профиля типа PU 32 (производство Арселор Миттал) с

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

замковыми соединениями типа Ларссен (рис. 1, 2). В экспериментах использовали два свайных элемента (усеченные вдоль замковых соединений шпунтовые сваи упомянутого типа) с шириной полки 150 мм (рис. 3, 4). Один из элементов имел длину 10 м, другой – 5 м.



*Рис. 1. Сваявдавливающая машина:
общий вид и принципиальная схема*



Рис. 2. Замок шпунтовой сваи после ее извлечения

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Рис. 3. Подвижный свайный элемент (справа), вдавливаемый и извлекаемый через замковое соединение фиксированного элемента

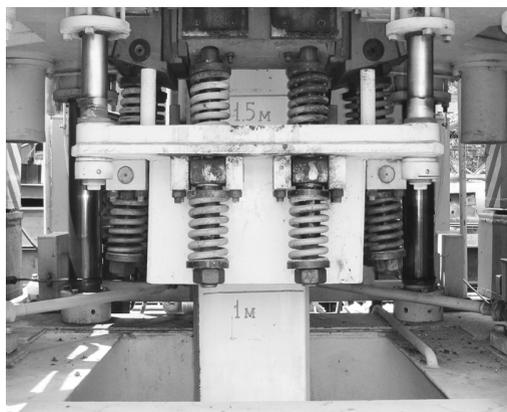


Рис. 4. Передача усилия в голове свайного элемента

Более длинный свайный элемент рассматривался как базовый (фиксированный). Короткий же элемент погружался (вдавливался) в грунт или извлекался из грунта вдоль базового (замок в замок) и считался подвижным.

Благодаря предварительной подготовке (выравниванию) поверхностей замков сопротивление при взаимных перемещениях свайных эле-

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

ментов возникало только вследствие трения между грунтом и поверхностью замков и сопротивления грунта по концу подвижного свайного элемента.

Натурные опыты на экспериментальной площадке проводились с грунтами двух типов:

Тип 1. Естественное (существующее на площадке) свайное основание (глубина слоя более 10 м) – в основном насыпной/намывной грунт со следующими основными параметрами: плотность $11,0 \text{ кН/м}^3$, угол внутреннего трения 40° , сцепление отсутствует. Грунтовые воды присутствуют на глубине 1,85 м.

Тип 2. Модифицированный тип 1 путем замены верхнего слоя естественного грунта (на глубину от поверхности основания до уровня грунтовых вод) мелким песком со следующими основными параметрами: плотность $17,6 \text{ кН/м}^3$, угол внутреннего трения 34° , сцепление отсутствует. Плановые размеры такой песчаной колонны составляли $2500 \times 2000 \text{ мм}$, а ее глубина 1850 мм; при этом ось замкового соединения базового свайного элемента совпадала с продольной осью песчаной колонны.

В процессе натурных полномасштабных экспериментов с элементами шпунтовых свай (при их вдавливании и извлечении) выполнялись измерения для построения зависимостей «продольная нагрузка – осевое перемещение». Ввиду ограниченного времени возможного использования строительного оборудования на экспериментальной площадке (сваевдавливательная машина, кран) были выполнены только две серии опытов: по одной серии по вдавливанию/извлечению шпунтовых свай «замок в замок» с каждым из двух упомянутых типов грунта (каждая серия состояла из трех аналогичных экспериментов).

Каждый эксперимент включал следующие этапы:

- этап 1 – вдавливание базового элемента и его фиксация в грунтовом основании;
- этап 2 – вдавливание подвижного элемента «замок в замок» вдоль базового элемента на максимально возможную глубину;
- этап 3 – извлечение подвижного элемента «замок в замок» вдоль базового элемента;
- этап 4 – извлечение базового элемента.

Второй эксперимент выполнялся в двух вариантах:

- вариант 1 – песчаный грунт в замковых соединениях был той же плотности, что и окружающий сваи песчаный грунт;
- вариант 2 – песчаный грунт в замковых соединениях был повышенной плотности благодаря намыву в замки песчаной пульпы.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

В ходе натуральных экспериментов определялись следующие параметры:

1. Компоненты сопротивления грунта погружению и извлечению шпунтовых свай для грунта типа 1:

- сопротивление по боковой поверхности сваи (силы трения);
- сопротивление под концом сваи (реакция грунта вдавливанию сваи);
- сопротивление в замках свай (при обоих направлениях относительных перемещений свай);

2. То же для грунта типа 2 (вариант 1);

3. То же для грунта типа 2 (вариант 2).

Ввиду ограниченности объема статьи ниже на рис. 5 и 6 приведены графики, относящиеся к наиболее интересному для предмета данной публикации параметру, – сопротивлению грунта в замковых соединениях шпунтовых свай.

На рис. 5 приняты следующие обозначения:

1 – первая серия опытов; 2 – вторая серия опытов (вариант 1);
3 – вторая серия опытов (вариант 2).

На рис. 6 – следующие:

1 – общее сопротивление при первой серии опытов; 3 – то же при второй серии опытов (вариант 1); 5 – то же при второй серии опытов (вариант 2); 2 – сила сопротивления за счет трения в замке при первой серии опытов; 4 – то же при второй серии опытов (вариант 1); 6 – то же при второй серии опытов (вариант 2).

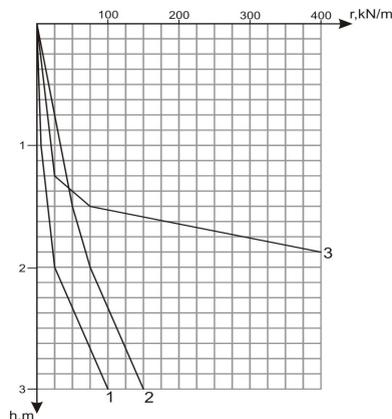
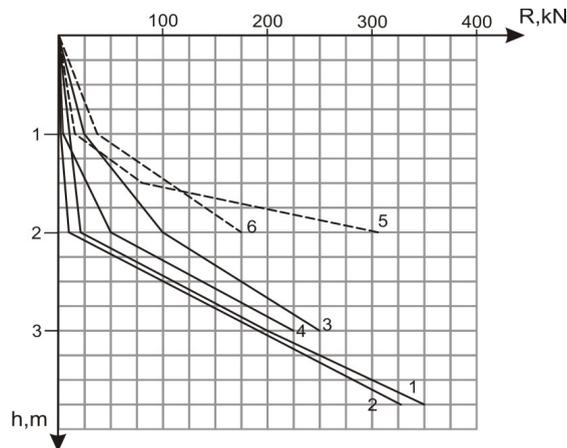


Рис. 5. Интенсивность сил трения (r) в замковом соединении при погружении подвижной сваи в различных грунтовых условиях

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**



*Рис. 6. Сила сопротивления (R) погружению подвижной сваи
в различных грунтовых условиях*

Из результатов проведенных полномасштабных натуральных опытов можно сделать следующие основные выводы:

- силы трения в замковых соединениях шпунтовых свай корытного профиля играют существенную роль во взаимодействии элементов системы «свая-грунт», достигая 60-90 % общего сопротивления вдавливанию сваи в грунт; вклад сил трения в суммарную величину сопротивления возрастает с увеличением глубины погружения шпунта (указанный количественный интервал определен для свай и грунта, использованных в натуральных экспериментах);

- результирующая сила трения и ее интенсивность нелинейно возрастают по мере вдавливания одной сваи относительно другой «замок в замок»; характер такой нелинейной зависимости может быть описан гиперболической функцией;

- замена верхнего слоя первоначального (естественного) грунта основания выше уровня грунтовых вод мелким песком вызвала значительный рост сопротивления грунта погружению сваи вдоль замка (до 2,5 раза), главным образом, благодаря развитию сил трения;

- дополнительное уплотнение песка в замковом соединении базового (фиксированного) элемента гидравлическим методом перед погружением «замок в замок» подвижного элемента вызвало резкий рост сопротивления грунта вдавливанию сваи.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Лабораторные эксперименты проводились теми же участниками в лаборатории кафедры «Морские и речные порты, водные пути и их техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета в конце 2009-начале 2010 г. В опытах применены те же замковые соединения стальных шпунтовых свай и те же грунты, что при натуральных экспериментах, что дало возможность корректно сравнивать и сопоставлять результаты как натуральных, так и лабораторных исследований (рис. 7).



Рис. 7. Лабораторное моделирование взаимодействия песчаного грунта с замковыми соединениями шпунтовых свай

При лабораторном моделировании также использовались базовый (фиксированный) и подвижный элементы шпунтовых свай с замковыми соединениями. При варьировании грунтовых условий использованы три типа грунтов:

- песчаный грунт из основания экспериментальной натурной площадки (тип 2, как описано выше);
- естественный грунт из основания экспериментальной натурной площадки (тип 1, как описано выше);
- лессовый грунт (удельный вес $11,1 \text{ кН/м}^3$, угол внутреннего трения 41°).

В ходе лабораторных опытов измерялись как взаимные продольные перемещения свайных элементов, так и силы сопротивления таким перемещениям. Некоторые результаты измерений, относящиеся к взаимодействию свайных элементов как при отсутствии грунта в замковых соединениях (трение замка по замку), так и при наличии песчаного грунта (грунт типа 2, вариант 1), представлены на рис. 8.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

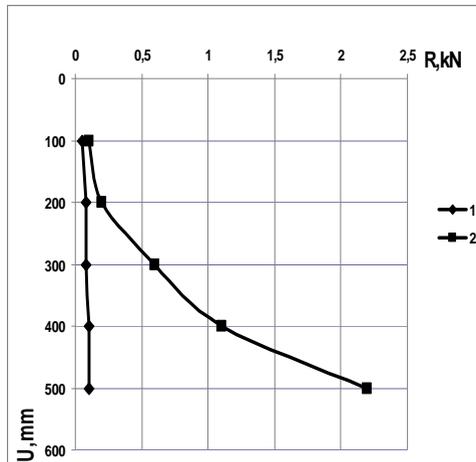


Рис. 8. Сила сопротивления (R) перемещению подвижного свайного элемента относительно фиксированного при отсутствии (1) и наличии (2) песчаного грунта в замковом соединении (лабораторные условия)

Зависимости «сила сопротивления-перемещение сваи» для первой серии опытов (без грунта в замках) показывают стабильный уровень сопротивления после некоторого его возрастания в начальный период перемещения подвижного свайного элемента.

Зависимости «сила сопротивления – перемещение сваи» для второй серии опытов (песчаный грунт в замках) качественно подобны кривым, описывающим соответствующий опыт в натуральных условиях. Относительно количественных показателей можно отметить, что силы сопротивления (или усилия вдавливания) в лабораторных опытах отличались от соответствующих усилий в натуральных экспериментах примерно на два порядка, а перемещения свайных элементов замковых соединениях – примерно на порядок.

Проведенные исследования позволили получить новую информацию об особенностях взаимодействия стальных шпунтовых свай корытного профиля с грунтовой средой, в частности, об условиях развития сил трения в замковых соединениях свай при их задавливании в грунтовое основание. Методика выполнения экспериментов с применением реального сваевдавляющего строительного оборудования позволила определить основные компоненты сопротивления грунта вдавливанию шпунтовой сваи, а также влияние вида грунтов и их физических характеристик на исследуемые процессы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ
И РЕМОНТЕ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

ЛИТЕРАТУРА

1. Juaristi E. *Influence of Interlock Friction on the Flexural Stiffness of a Double U Steel Sheet Pile Wall. Technical Report. Industrial Technologies Laboratory. Luxembourg, Henri Tudor Public Research Centre. – 1998. – 112 p.*
2. Doubrovsky M.P. *Modelling of the Behaviour of a Single U-Sheet Pile Wall Taking in Account the Frictions in the Interlocks. Technical Report. Industrial Technologies Laboratory. Luxembourg, Henri Tudor Public Research Centre. – 1999. – 54 p.*
3. Meshcheriakov N.G., Meshcheriakov G.N., Vakulin A.A., Vakulin N.A. *Piling and testing equipment. Proceedings of the 8th International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles. 245-248 Lisbon. IOS Press. – 2008. – P. 44-56.*
4. Doubrovsky M.P., Poizner M.B., Meshcheriakov G.N. *Improvement of monitoring, design and constructing of piled structures located at the base of soil slopes. The Academia & Practice of Geotechnical Engineering. Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Alexandria, Egypt. – 2009. – P. 2609-2612.*

Надійшла 22.11.09

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИГЛОЙ ФОРСУНКИ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ

Изложены результаты теоретического и экспериментального исследования влияния способа управления иглой на процесс впрыскивания топлива в дизелях. Установлено, что способ управления иглой не оказывает заметного влияния на все основные характеристики впрыскивания топлива.

Викладено результати теоретичного і експлуатаційного дослідження впливу способу керування голкою на процес впорскування пального у дизелях. Встановлено, що спосіб керування голкою не справляє помітного впливу на всі основні характеристики впорскування пального.

The results of the theoretical and experimental research of the influence of the needle control method on the fuel injection process in diesel engines are presented. It is determined that the needle control method does not influence considerably all main fuel injection characteristics.

Ключевые слова: дизели, форсунки, гидравлическое управление

Известно три основных способа управления иглой дизельной форсунки: механический (пружинный), гидравлический и гидромеханический. Остается неизученным вопрос о влиянии способа управления иглой на процесс впрыскивания топлива, а следовательно, и на рабочий процесс, так как одни авторы, например [1], считают, что способ управления иглой не влияет на процесс впрыскивания, а другие, например [2], утверждают, что при гидравлическом управлении иглой улучшается качество распыливания топлива.

В связи с этим было проведено исследование влияния способа управления иглой на процесс впрыскивания вначале на математической модели, а затем на экспериментальных стендах.

При анализе результатов теоретического исследования не удалось установить какого-либо существенного влияния способа управления иглой на процесс впрыскивания, если сохраняются неизменными все остальные конструктивные параметры форсунки, в том числе и масса ее подвижных деталей. При уменьшении указанной массы в 5 - 8 раз, что характерно для гидравлического управления иглой, получены некоторые изменения в процессе впрыскивания в период подъема и посадки иглы, но эти изменения сравнительно невелики.

Известно, что любая математическая модель базируется на некоторых допущениях, а поэтому для окончательного заключения выводы теоретического исследования проверялись опытным путем. Опыты проводились на топливной аппаратуре дизелей Ч32/48 и Ч17,5/24, причем исследования проходили при изменении профиля кулачковой шайбы и эф-

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИГЛОЙ ФОРСУНКИ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ

фективного сечения распылителя, а также с нагнетательным клапаном в топливном насосе и без клапана. Во время испытаний топливные системы работали на различных режимах скоростной, нагрузочной и винтовой характеристик.

Особое внимание было уделено регистрации давления топлива перед сопловыми отверстиями p_a , так как это давление при прочих равных условиях определяет качество распыливания топлива. Давление p_a фиксировалось тензометрическим датчиком, наклеенным на наружную поверхность распылителя перед сопловыми отверстиями. Датчик давления управляющей жидкости был размещен в корпусе форсунки на расстоянии 30 мм от верхнего торца иглы.

Прежде всего необходимо отметить, что на всех режимах работы исследуемых топливных систем получено существенное изменение давления гидрозарпорной жидкости над иглой p'_r по сравнению со статическим давлением p_r . В период подъема иглы давление p'_r повышается, после остановки иглы у упора оно снижается до статического, а в момент посадки иглы происходит дальнейшее его уменьшение. При обработке осциллограмм, снятых при номинальной частоте вращения кулачкового вала топливного насоса дизеля Ч32/48 ($n = 187,5 \text{ мин}^{-1}$), были получены следующие величины максимального повышения давления p'_r в период подъема иглы ($\Delta p'_{r \max}$) и наибольшего снижения этого давления в период посадки иглы ($\Delta p'_{r \min}$):

статическое давление управляющей жидкости, МПа	10,0	15,0	20,9	28,0
изменение давления управляющей жидкости, МПа				
$\Delta p'_{r \max}$	1,83	2,4	2,4	1,93
$\Delta p'_{r \min}$	4,0	4,6	4,6	5,1

Так как площадь поперечного сечения иглы равна $0,515 \text{ см}^2$, то, следовательно, изменение усилия, воздействующего на иглу сверху, во время подъема иглы составит 94; 123; 123 и 99 Н при $p_r = 10,0; 15,0; 20,9$ и $28,0$ МПа. При посадке иглы изменение действующего усилия соответственно равнялось: 205; 237; 237 и 262 Н. В связи с тем, что при полном подъеме иглы (0,55 мм) усилие штатной пружины изменяется на 126 Н, изменение усилия, создаваемого управляющей жидкостью, при подъеме иглы находится в тех же пределах, что и изменение усилия пружины в механической форсунке, а в период посадки это изменение почти в два раза выше, чем в механической форсунке.

Теоретическое исследование на ПК и обработка многочисленных осциллограмм процесса впрыскивания в форсунках с гидравлическим управлением и механических форсунках показали, что в период движения иглы происходит «саморегулирование» давления топлива в распылителе

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИГЛОЙ ФОРСУНКИ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ

под иглой, давления управляющей жидкости или усилия пружины и перемещения иглы. Это означает, что если по какой-либо причине игла поднимается быстрее, то при этом сильнее снижается давление топлива в распылителе под иглой и повышается усилие, воздействующее на иглу сверху. В результате движение иглы замедляется.

Зависимость основных характеристик процесса впрыскивания топлива:

- 1 – цикловой подачи $q_{ц}$;
- 2 – максимального давления топлива в штуцере насоса $p'_н$;
- 3 – максимального давления топлива перед распылителем $p'_ф$;
- 4 – максимального давления топлива перед сопловыми отверстиями p_a ;
- 5 – угла продолжительности впрыскивания $\varphi_{вп}$;
- 6 – угла опережения впрыскивания $\varphi_{оп}$ по условной шкале маховика – от частоты вращения кулачкового вала для топливной системы двигателя Ч32/48 в случае работы по винтовой характеристике двигателя при разных способах управления иглой (О – механический; Х – гидравлический; Δ – гидромеханический) показана на рис. 1. Как видно из рисунка, способ управления иглой не влияет на характеристики процесса впрыскивания на всех режимах, в том числе и при впрыскивании малых цикловых подач на низкой частоте вращения.

При сравнении осциллограмм топливоподачи для исследуемых режимов установлено, что способ управления иглой (— гидравлический; ---- механический) не оказывает заметного влияния на основные характеристики процесса впрыскивания топлива (1 – подъем иглы; 2 – давление управляющей жидкости при входе в форсунку; 3, 4 и 5 – давление топлива соответственно перед распылителем, перед сопловыми отверстиями и в штуцере насоса), т. е. на качество распыливания топлива, что убедительно подтверждается совмещенными осциллограммами процесса впрыскивания топлива (дизель Ч32/48) на режиме $n = 185 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 2).

Независимость процесса впрыскивания топлива от способа управления иглой подтвердилась и при испытаниях в случае установки распылителя с увеличенным эффективным сечением (s 0,0041 до 0,0059 мм^2), когда наблюдался предвпрыск, а время подъема иглы увеличилось более чем в три раза.

Проведенные испытания топливной системы дизеля Ч32/48 показали, что способ управления иглой практически не влияет и на скорость подъема и посадки иглы на большинстве исследуемых режимов работы. Так, среднее арифметическое значение времени подъема иглы, найденное по значениям десяти режимов, при гидравлическом управлении иглой было меньше, чем при механическом, всего на 3 %. Причиной малого влияния способа управления иглой на скорость подъема иглы является описанное выше «саморегулирование».

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИГЛОЙ ФОРСУНКИ
НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ**

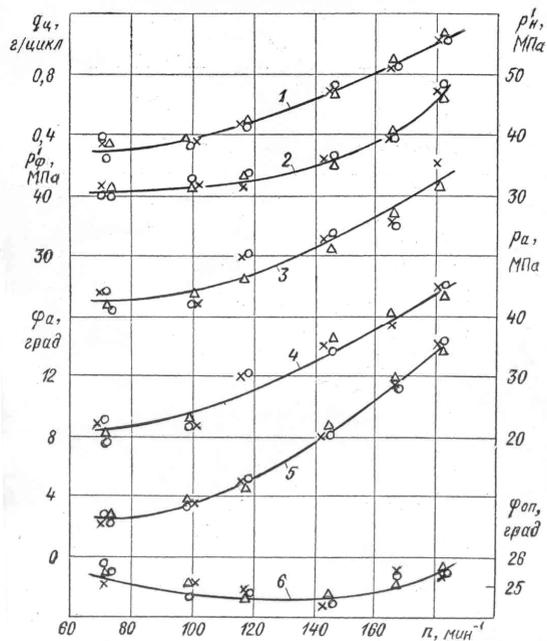


Рис. 1. Изменение характеристик топливоподачи при разных способах управления иглой

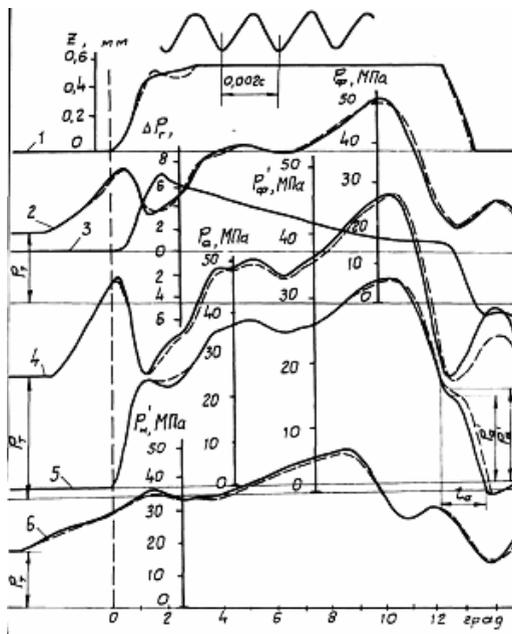


Рис. 2. Совмещенные осциллограммы процесса впрыскивания топлива

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИГЛОЙ ФОРСУНКИ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ

При теоретическом и экспериментальном исследовании установлено, что на закон подъема иглы основное влияние оказывает не способ управления иглой, а закон подачи топлива насосом и эффективное сечение распылителя. Существенное влияние закона подачи на подъем иглы было подтверждено опытами на гидравлически управляемой форсунке, когда повышение давления гидрозапорной жидкости с $p_r = 10,0$ МПа до 28,0 МПа привело не к увеличению времени подъема иглы $t_{\text{под}}$, а к уменьшению ($t_{\text{под}} = 5,7$ мс при $p_r = 10,0$ МПа и $t_{\text{под}} = 3,6$ мс при $p_r = 28,0$ МПа).

В данном случае при повышении давления p_r подъем иглы происходил позднее, т. е. при более высокой скорости движения плунжера топливного насоса. Значительное изменение характера подъема иглы было получено после замены распылителя с эффективным сечением $\mu f_c = 0,0041$ см² на распылитель с $\mu f_c = 0,0059$ см². В этом случае на номинальном режиме работы топливной системы дизеля Ч32/48 время подъема иглы до упора возросло в три раза.

Необходимо также отметить, что в гидроуправляемых форсунках за счет существенного снижения массы подвижных деталей в некоторых топливных системах или на отдельных режимах удается несколько повысить скорость подъема иглы. Однако обычно это не обеспечивает улучшения качества распыливания топлива в начальной фазе его впрыскивания, несмотря на уменьшение дросселирования потока топлива в седле иглы.

Объясняется это тем, что при возрастании скорости подъема иглы из-за насосного ее эффекта происходит и более сильное снижение давления топлива в кольцевой камере распылителя перед входом в щель под иглой. Кроме того, из-за насосного эффекта конусной части иглы одновременно снижается и давление топлива перед сопловыми отверстиями. В конечном счете, перечисленные факторы в значительной мере компенсируют друг друга, в результате чего повышение скорости подъема иглы не оказывает существенного влияния на давление топлива перед сопловыми отверстиями.

Такой вывод полностью подтверждается приведенными на рис. 3 совмещенными осциллограммами (способ управления: — гидравлический; ----- механический; 1 — подъем иглы; 2, 3 и 5 — давление топлива соответственно перед распылителем, в штуцере насоса и перед сопловыми отверстиями; 4 — давление управляющей жидкости при входе в форсунку), снятыми при работе топливной аппаратуры дизеля Ч32/48 на режиме $n = 142 - 145$ мин⁻¹ и $q_{\text{ц}} = 0,67 - 0,68$ г/цикл, на котором скорость подъема иглы при ее гидравлическом управлении оказалась на 30 % выше, чем при механическом.

Установлено, что при нахождении иглы у упора обеспечивается хорошее ее уплотнение. Если при механическом управлении от наличия данного уплотнения момент начала посадки иглы не зависит, то при гидравлическом управлении посадка иглы начинается позднее из-за более

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИГЛОЙ ФОРСУНКИ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ

низкого давления топлива, соответствующего моменту отхода иглы от упора.

Время запаздывания начала посадки иглы зависит от изменения давления топлива в распылителе в период отсечки.

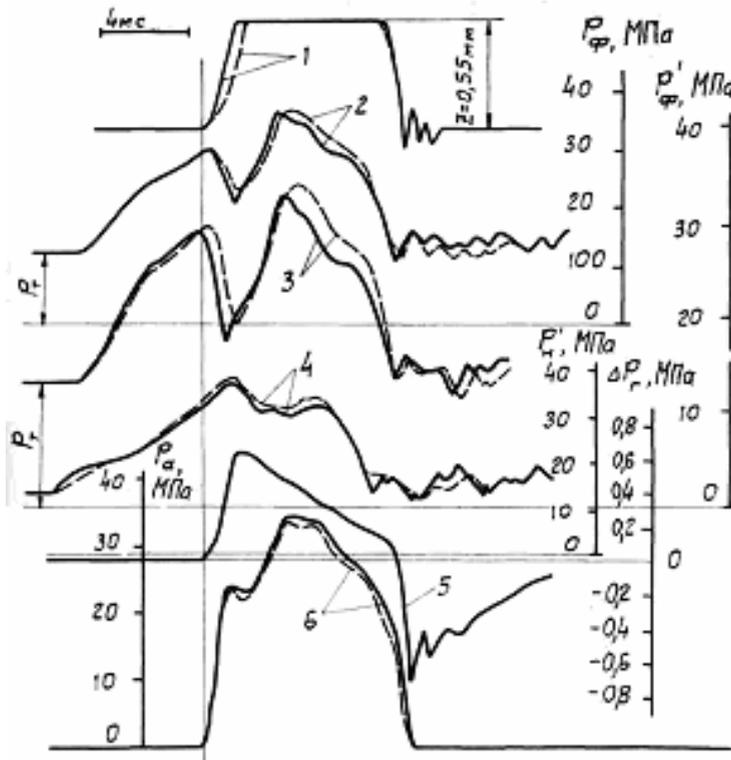


Рис. 3. Совмещенные осциллограммы процесса впрыскивания топлива

При опытном исследовании топливной аппаратуры дизеля Ч32/48 это запаздывание было очень малым и не оказало влияния на конец впрыскивания. В результате среднее время посадки иглы, найденное по данным обработки осциллограмм десяти режимов, получено равным 1,25 мс как при гидравлическом, так и при механическом управлении иглой. Незменным осталось и качество распыливания топлива в заключительной фазе впрыскивания.

В топливной аппаратуре дизеля Ч17,5/24 запаздывание посадки иглы было значительным, в результате чего, несмотря на более высокую скорость посадки иглы (на 10-25 %) по сравнению со случаем механического управления, увеличилась даже продолжительность впрыскивания топлива (на 1-1,5 °ПКВ на режимах средних и полных цикловых подач при $n = 375 \text{ мин}^{-1}$). Полученное повышение скорости посадки иглы обусловлено тем обстоятельством, что отмеченное выше «саморегулирование»

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИГЛОЙ ФОРСУНКИ НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ

происходит при более низком давлении топлива в распылителе. Следовательно, при гидравлическом управлении иглой в топливной системе Ч17,5/24 на многих режимах работы по нагрузочной характеристике произошло увеличение продолжительности впрыскивания топлива и некоторое снижение давления в конечной фазе впрыскивания. Естественно, в данном случае механическое управление иглой предпочтительней гидравлического.

Во время испытаний топливных систем дизелей Ч32/48 и Ч17,5/24 также было установлено, что способ управления иглой не оказывает большого влияния не только на качество распыливания малых цикловых подач, но и на значение минимально устойчивых цикловых подач $q_{уст}$, если остается неизменным значение давления начала подъема иглы p_0 и установлен распылитель, гидроплотность которого удовлетворяет требованиям ГОСТ 10578-63. Так, в топливной системе дизеля Ч32/48 при установке распылителя с $\mu f_c = 0,0059 \text{ см}^2$ и $p_0 = 30,0 \pm 0,5 \text{ МПа}$ получено $q_{уст} = 0,2 \text{ г/цикл}$ при механическом управлении иглой и $q_{уст} = 0,19 \text{ г/цикл}$ при гидравлическом.

Если давление p_0 устанавливалось на форсуночном прессе с погрешностью $\pm 2,0 \text{ МПа}$, что обычно имеет место в эксплуатации дизелей, то в зависимости от фактического значения этого давления изменялось и значение $q_{уст}$ при любом способе управления иглой. Ошибка в установке давления p_0 на форсунке дизеля Ч32/48 на 2,0 МПа приводила к соответствующему изменению подачи $q_{уст}$ на 15-20 %.

При установке распылителей с пониженной гидроплотностью, т. е. с большими диаметральными зазорами, в период между впрыскиваниями управляющая жидкость, поступая в нагнетательный топливопровод, повышает в нем остаточное давление, тогда как при механическом управлении, наоборот, происходит снижение остаточного давления. В связи с этим при гидравлическом управлении иглой создаются условия и для впрыскивания малых цикловых подач топлива при более высоком остаточном давлении, и для более устойчивой работы форсунки на режимах малых цикловых подач, что подтвердилось при испытаниях топливной аппаратуры дизелей Ч32/48 и Ч17,5/24, а также на топливной аппаратуре дизеля ЧН 26/26 [3].

Однако применение распылителей с низкой гидроплотностью имеет серьезный недостаток, заключающийся в повышении неравномерности цикловых подач в многоцилиндровом двигателе, что необходимо учитывать при желании воспользоваться отмеченным преимуществом гидравлического управления иглой.

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать вывод, что способ управления иглой форсунки (механический, гидравлический и гидромеханический) не оказывает существенного влияния на процесс впрыскивания топлива на всех режимах работы двигателя.

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ ИГЛОЙ ФОРСУНКИ
НА ВПРЫСКИВАНИЕ ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЯХ**

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов Л. Н., Рыбаков М. Г. Исследование работы гидромеханических форсунок // Труды ЦНИИМФ, 1967. – Вып. 86. С. 24-32.
2. Шишлов Г. Н. и др. Гидрозапорная топливная аппаратура судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1970. – 125 с.
3. Роганов С. Г., Каракаев А. К., Пинский Ф. И., Башкин А. В. Сравнительные стендовые исследования процесса впрыска топлива форсунками с гидравлическим и пружинным запирающим игл. В кн.: Технические науки //Сборник статей аспирантов и соискателей. Алма-Ата: Министерство высшего и среднего специального образования Казахской ССР, 1970. – Вып. X. С. 38-42.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Представлены результаты разработки логико-лингвистической модели центральной системы комфортного кондиционирования воздуха, построенной на основе использования нечеткой логики.

Представлено результати розробки логико-лінгвістичної моделі центральної системи комфортного кондиціонування повітря, побудованої на основі використання нечіткої логіки.

The results of the development of logic-linguistic model of the central system of the comfort air conditioning is presented built on the basis of the, fuzzy logic.

Ключевые слова: математическая модель, нечеткая логика, функция принадлежности, управляющие и контролируемые параметры.

Современные методы управления технологическими процессами на основе компьютерных технологий характеризуются широким использованием в различных областях науки и техники интеллектуальных систем управления. К ним относятся системы нечеткого управления (fuzzy control). Fuzzy control – одно из направлений современных новейших технологий управления, базирующееся на математическом аппарате теории нечетких множеств и понятии лингвистической переменной [1].

Сложность математических моделей реальных систем комфортного кондиционирования воздуха (СККВ) и процессов управления ими [2], необходимость повышения адекватности моделей и учета все большего числа различных факторов, оказывающих влияние на процессы принятия решения, обуславливают актуальность применения нечеткого управления подобными системами.

Необходимо отметить, что традиционные методы построения математических моделей СККВ не приводят к удовлетворительным результатам. Это объясняется тем, что исходное описание проблемы, подлежащей решению, заведомо является неточным и неполным. С другой стороны, попытка получить исчерпывающую информацию для построения точной математической модели СККВ часто приводит к потере времени и средств, поскольку это в принципе невозможно. Поэтому целесообразно воспользоваться методами, специально ориентированными на построение моделей, учитывающих неполноту и неточность исходных данных. Именно в таких случаях технология нечеткого управления оказывается наиболее конструктивной.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Специфика технологического процесса воздухообработки в СККВ заключается в том, что:

- не все цели управления могут быть выражены в количественных соотношениях (например, состояние комфорта воздушной среды в кондиционируемых помещениях);
- между рядом параметров, оказывающих влияние на процесс тепловлажностной обработки воздуха, нельзя установить точные количественные зависимости (например, зависимости между подвижностью воздуха и его температурой, относительной влажностью);

Несмотря на то, что СККВ является сложным технологическим объектом, эксплуатируемым в нестационарных условиях, управляющие воздействия для такой системы могут быть сформулированы в виде нечётких высказываний, например: «уменьшить расход воздуха», «немного увеличить расход воды на охлаждение» и т.д. Исходя из вышесказанного, предлагается разработать математическую модель СККВ на основе нечёткой логики (логико-лингвистическую модель).

В логико-лингвистических моделях для управления сложными объектами используется информация, представленная в лингвистической форме и отражающая качественные свойства объекта. Подобная модель основывается на знаниях об объекте, полученных с учетом индивидуальных ощущений состояния комфорта воздушной среды человеком (экспертом) [1].

Для качественной оценки режимов работы СККВ нужно определить понятие оптимального режима. Это режим, при котором обеспечивается поддержание комфортного состояния воздушной среды и экономное расходование топливно-энергетических ресурсов [2].

Оптимальный режим работы СККВ в зависимости от состояния параметров наружного и внутреннего воздуха обеспечивается изменением переменных технологических параметров системы, а также температуры ограждающих поверхностей обитаемых помещений. К управляющим параметрам относятся расходы теплоносителей и их температуры, температура и относительная влажность кондиционируемого воздуха, расход воздуха в системе. Количество переменных в системе может быть и больше.

По установленным отклонениям контролируемых параметров от их заданных значений система управления должна обеспечивать работу СККВ в оптимальном режиме.

Разработка логико-лингвистической модели СККВ включает следующие этапы:

Первый этап. Выбор минимально необходимого числа входных и выходных параметров СККВ, дающих достаточное количество информации об объекте.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Второй этап. Разделение параметров на нечёткие регионы. Нечёткие параметры формализуются через значения функций принадлежности $\mu(x)$, принимающих любые промежуточные значения от 0 до 1, в лингвистические понятия «низкий», «нормальный», «высокий». На основании экспертных оценок для каждого нечёткого параметра определяется количество, форма и взаимное расположение функций принадлежности. Функции принадлежности, имеющие триангулированную форму, представлены на рис. 1-4.

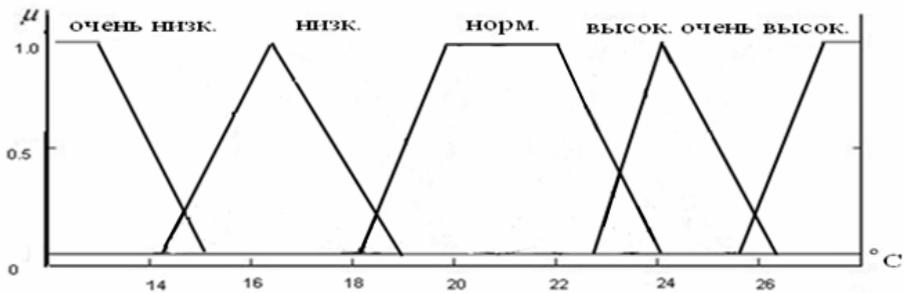


Рис. 1. Функции принадлежности температуры воздуха в кондиционируемом помещении

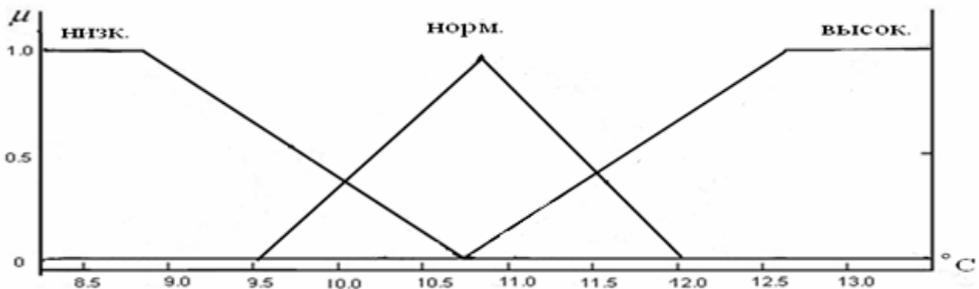
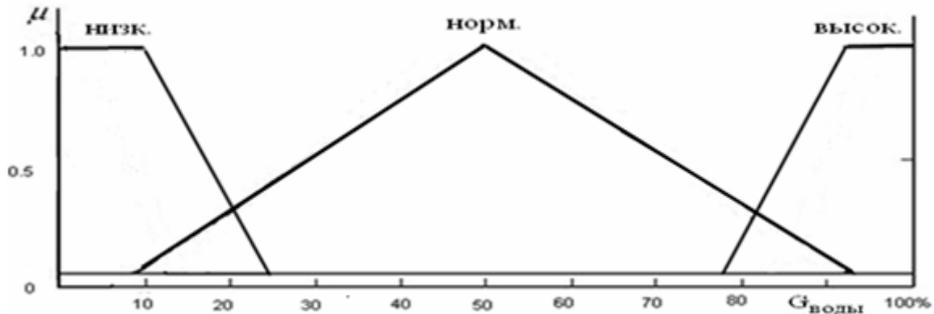
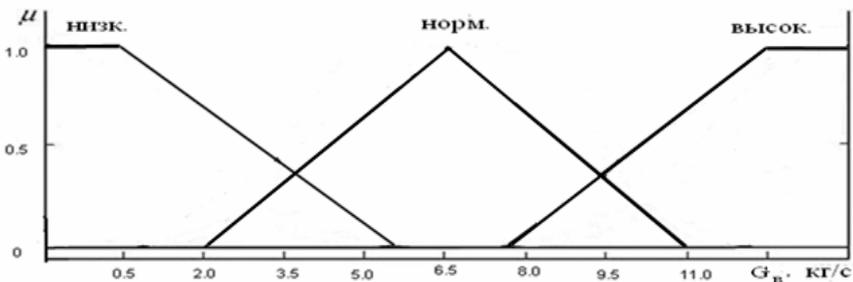


Рис. 2. Функции принадлежности для входного параметра — температура охлаждающей воды

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
СИСТЕМЫ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**



*Рис. 3. Функции принадлежности
для входного параметра – расход охлаждающей воды*



*Рис. 4. Функции принадлежности
для входного параметра - расход воздуха*

Третий этап состоит в том, чтобы исходя из опыта эксплуатации СККВ, составить базы нечётких правил при различных нарушениях технологического процесса воздухообработки.

Данный этап является наиболее ответственным при разработке логико-лингвистической модели. Фрагмент базы нечетких правил представлен ниже:

.....

1. Если ($T_{в.пом.} =$ ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ) и ($T_{воды} =$ НОРМАЛЬНАЯ) тогда ($G_{воды} =$ БОЛЬШОЙ), ($G_{в.} =$ БОЛЬШОЙ);
2. Если ($T_{в.пом.} =$ ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ) и ($T_{воды} =$ ВЫСОКАЯ) тогда ($G_{воды} =$ МАЛЫЙ), ($G_{в.} =$ БОЛЬШОЙ);
3. Если ($T_{в.пом.} =$ ОЧЕНЬ ВЫСОКАЯ) и ($T_{воды} =$ НИЗКАЯ) тогда ($G_{воды} =$ НОРМАЛЬНЫЙ), ($G_{в.} =$ БОЛЬШОЙ);

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
СИСТЕМЫ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

4. Если ($T_{в.пом.} = \text{ВЫСОКАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{НОРМАЛЬНАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{БОЛЬШОЙ}$), ($G_{в.} = \text{НОРМАЛЬНЫЙ}$);

5. Если ($T_{в.пом.} = \text{ВЫСОКАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{ВЫСОКАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{МАЛЫЙ}$), ($G_{в.} = \text{БОЛЬШОЙ}$);

6. Если ($T_{в.пом.} = \text{НОРМАЛЬНАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{НОРМАЛЬНАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{НОРМАЛЬНЫЙ}$), ($G_{в.} = \text{НОРМАЛЬНЫЙ}$);

7. Если ($T_{в.пом.} = \text{НОРМАЛЬНАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{ВЫСОКАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{НОРМАЛЬНЫЙ}$), ($G_{в.} = \text{БОЛЬШОЙ}$);

8. Если ($T_{в.пом.} = \text{НОРМАЛЬНАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{НИЗКАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{МАЛЫЙ}$), ($G_{в.} = \text{НОРМАЛЬНЫЙ}$);

9. Если ($T_{в.пом.} = \text{НИЗКАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{НОРМАЛЬНАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{НОРМАЛЬНЫЙ}$), ($G_{в.} = \text{МАЛЫЙ}$);

10. Если ($T_{в.пом.} = \text{НИЗКАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{НИЗКАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{МАЛЫЙ}$), ($G_{в.} = \text{МАЛЫЙ}$);

11. Если ($T_{в.пом.} = \text{НИЗКАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{ВЫСОКАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{НОРМАЛЬНЫЙ}$), ($G_{в.} = \text{МАЛЫЙ}$);

12. Если ($T_{в.пом.} = \text{ОЧЕНЬ НИЗКАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{НОРМАЛЬНАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{БОЛЬШОЙ}$), ($G_{в.} = \text{МАЛЫЙ}$);

13. Если ($T_{в.пом.} = \text{ОЧЕНЬ НИЗКАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{НИЗКАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{МАЛЫЙ}$), ($G_{в.} = \text{МАЛЫЙ}$);

14. Если ($T_{в.пом.} = \text{ОЧЕНЬ НИЗКАЯ}$) и ($T_{воды} = \text{ВЫСОКАЯ}$), тогда ($G_{воды} = \text{БОЛЬШОЙ}$), ($G_{в.} = \text{МАЛЫЙ}$).

.....

где $T_{в.пом.}$ – температура воздуха в помещении;

$T_{воды}$ – температура охлаждающей воды;

$G_{воды}$ – расход охлаждающей воды;

$G_{в.}$ – расход кондиционируемого воздуха.

Сформированные правила проверялись на полноту/избыточность и непротиворечивость.

Четвертый этап заключается в поиске последовательности воздействий, переводящих СККВ в оптимальный режим работы в зависимости от нестационарных условий эксплуатации. В качестве критерия используются ограничения по энергопотреблению и обеспечению состояния комфортного микроклимата в кондиционируемых помещениях.

С помощью программной системы MatLab (пакет Fuzzy Logic Toolbox) проведено имитационное моделирование технологического процесса воздухообработки в центральном кондиционере в «летнем» режиме работы. В системе MatLab программируются все функции принадлежности и база нечётких правил. Пример графического изображения поверхности отклика (пространство управления регулятора) приведен на рис. 5 и 6.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
СИСТЕМЫ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

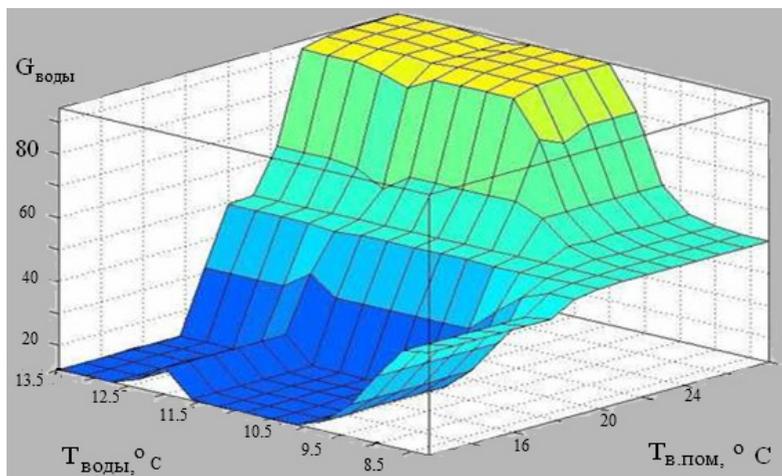


Рис. 5. Поверхность отклика переменной – расход охлаждающей воды

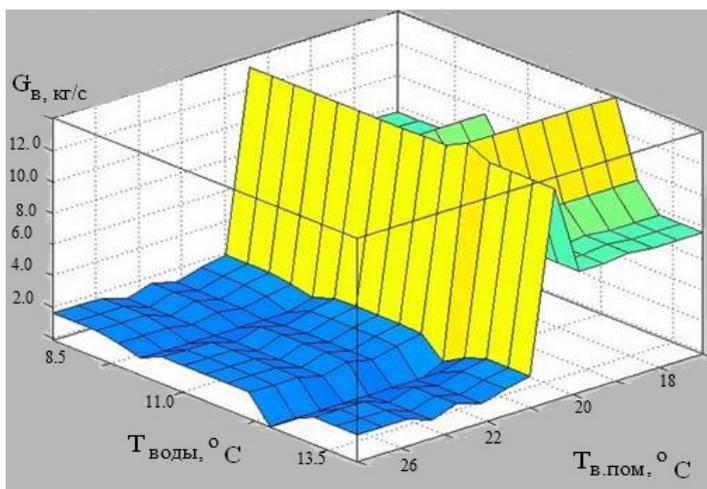


Рис. 6. Поверхность отклика переменной – расход воздуха

Одним из главных преимуществ разработанной математической модели СККВ на основе нечеткой логики является возможность ее использования при не полном описании объекта автоматизации. Предлагаемую модель рекомендуется использовать для управления СККВ в режиме реального времени, а также при разработке экспертной системы управления технологическим процессом воздухообработки.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
СИСТЕМЫ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

ЛИТЕРАТУРА

1. *Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение для принятия приближенных решений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 165 с.*
2. *Вычужанин В.В. Повышение эффективности эксплуатации судовой системы комфортного кондиционирования воздуха при переменных нагрузках. Монография. – Одесса: ОНМУ, 2009. – 206 с.*

Надійшла

НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ

Формулируются задачи, которые необходимо решать компаниям, оперирующим арендованным тоннажем. Предлагаются модели обоснования принимаемых решений по видам (сегментам рынка) отфрахтования тайм-чартерных судов. Показаны особенности формирования доходов и расходов арендатора, эксплуатирующего суда в различных сегментах фрахтового рынка.

Формулюються задачі, які мають вирішувати компанії, що оперують орендованим тоннажем. Пропонуються моделі обґрунтування ухвалення рішень з видів (сегментів ринка) відфрахтування тайм-чартерних суден. Показано особливості формування доходів та витрат оператора з експлуатації суден в різних сегментах фрахтового ринка.

The problems which are to be settled by companies operating the time-chartered tonnage are determined. There are models which help to make a decision of using the rented tonnage in different segments of freight market (kinds of chartering). The specialties of forming the incomes and expenses of the operating company in different segments of market are shown.

Ключевые слова: тайм-чартер, сегменты рынка, модели оценки, фрахт, арендная ставка, оператор судна, судового менеджера.

В последнее время в некоторых работах [1], посвященных тайм-чартерной аренде судов и, в частности, их оперированию особо подчеркивается, что в Украине с недавнего времени функционируют компании, которые занимаются новой для отечественной практики формой судового менеджмента. По характеру своей деятельности такие судовладельческие компании следует отнести к классическим бизнес-структурам, которые специализируются на фрахтовании и оперировании морских судов. Осуществляемые ими коммерческие операции сводятся к использованию на открытом фрахтовом рынке предварительно взятых в тайм-чартерную аренду судов с целью получения финансовой прибыли. Поэтому основные цели и задачи, которые ставятся и решаются компаниями, занимающимися менеджментом тайм-чартерных судов, совершенно другие, чем у судо- и грузовладельческих фирм, время от времени арендующих суда для выполнения обязательств по морским перевозкам. Здесь также следует отметить, что коммерческие операции, проводимые с тайм-чартерными судами операторскими компаниями, принципиально отличаются от практики фрахтования на время, которая осуществлялась в советской морской отрасли. Краткая характеристика особенностей новой формы менеджмента арендованных судов в условиях рынка приводит к выводам об ак-

НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ

туальности и практической значимости проведения исследований по этим фрахтовым операциям. Предпосылки для таких исследований следующие:

- рассматриваемая форма менеджмента судов, основа которой определяется коммерческими целями, является новой и малоизученной для украинского судоходства;

- кроме важного для отечественной морской отрасли значения развития такого судового менеджмента, его перспективность обуславливается и тем, что данный морской бизнес не требует особых капитальных затрат и других финансовых вложений;

- украинские операторские компании пока не располагают достаточным опытом работы в этом бизнесе, а поэтому часто испытывают затруднения в принятии обоснованных рыночных решений, рыночного характера;

- большинство теоретических исследований посвященных тайм-чартерному фрахтованию судов [2, 3, 4] базируется на условиях эксплуатации морского тоннажа еще советскими пароходствами, т.е. в иной системе хозяйствования;

- в других работах [5, 6, 7, 8], близких по рассматриваемой в статье теме, с других позиций оценивается эффективность работы судов на условиях тайм-чартера; в них не учитываются особенности фрахтовых операций с арендованными судами, которые проводятся на так называемом «вторичном» фрахтовом рынке.

Весомым аргументом в пользу практической значимости и целесообразности проведения исследований по рассматриваемым вопросам служат данные о состоянии перевозок внешнеторговых грузов Украины и ее торговом флоте. Данная система, во многом предопределяющая результативность внешнеэкономической деятельности страны, функционирует недостаточно эффективно. Основной причиной этого является образовавшийся дисбаланс между провозной способностью малочисленного и устаревшего флота [9] и растущими объемами экспортно-импортных грузопотоков. Они, как правило, более чем на 90 % осваиваются иностранными судовладельцами.

Частично такое положение можно исправить путём использования для транспортировки таких грузов судов, зафрахтованных на условиях тайм-чартера. При хорошей организации и коммерческом обеспечении привлечения на рынок перевозок отечественных внешнеторговых грузов украинских компаний, оперирующих тайм-чартерным тоннажем, могут получить экономический эффект как грузовладельцы, так и компании судовых менеджеров. Это произойдет за счет сокращения фрахтовых потерь и оперативности проведения фрахтовых операций с учетом своевременного реагирования на рыночный спрос на суда, а также аренды необходимого количества судов требуемой специализации, размеров и т.п. Возможность реализации на практике последнего из приведенных выше ус-

НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ

ловий подтверждается тем, что работа на рынке перевозок отечественных внешнеторговых грузов во всех отношениях более прогнозируемая, чем на международном фрахтовом рынке. Поэтому для компании менеджеров работа в таких условиях менее рискованная, что является весомым стимулом для ведения рассматриваемого морского бизнеса.

Компаниям, которые занимаются менеджментом морских судов, в том числе и взятых в аренду на условиях тайм-чартера, постоянно приходится принимать определенные стратегические и оперативные решения, связанные с организационно-коммерческими условиями рыночной деятельности. Существует некоторый комплекс задач, на которые судовой менеджер чаще всего должен давать ответы в виде принятия обоснованных решений. Ниже приводится примерный перечень типовых задач, выстроенных в иерархической последовательности, которые решают судовые менеджеры, оперирующие флотом:

- на каком из рынков (сухогрузный, наливной) целесообразнее работать;
- какую формы (регулярную, трамповую) эксплуатации флота выбрать;
- судами какой специализации и типоразмеров эффективнее оперировать на рынке;
 - в каких географических секторах эксплуатировать суда;
 - какие грузопотоки обслуживать;
 - какие виды фрахтования и отфрахтования судов будут предпочтительнее.

Каждая из перечисленных задач содержит определенные сложности для принятия решений, особенности которых в значительной степени зависят от экономической эффективности реализации намечаемого комплекса коммерческих задач как бизнес-плана компании. Поскольку постановка и содержание задач разные, методические подходы к их решению могут значительно отличаться. Поэтому в настоящей статье рассмотрим, решение одной из задач, часто встречаемой в работе компании, осуществляющих менеджмент тайм-чартерных судов. Она сводится к разработке экономико-математических моделей, с помощью которых оператор тайм-чартерных судов сможет принимать обоснованные решения по следующим главным вопросам, относящимся к его компетенции:

- в каком сегменте рынка (рейсовое фрахтование, передача в субаренду) фрахтового рынка в условиях сложившейся конъюнктуры эффективнее оперировать тоннажем;
- в каком долевым участии по сегментам, при возникновении соответствующей рыночной ситуации, компании-оператору наиболее эффективно эксплуатировать тайм-чартерный тоннаж.

Необходимо разработать модели критериев оценки эффективности оперирования тайм-чартерными судами в отдельных рассматриваемых

НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ

мых рыночных сегментах и при одновременной их работе с определенными долевыми объемами в этих сегментах.

В исходные данные решаемой задачи введем некоторые ограничения. Они касаются следующего:

- все суда оператор берет в аренду по тайм-чартеру;
- суда будут эксплуатироваться в разных сегментах фрахтового рынка;
- все фрахтуемые суда одной специализации и тоннажной группы;
- условия тайм-чартерной аренды судов (арендная ставка и др.), а также условия их отфрахтования оператором отличаются несущественно.

Принципиальная особенность моделирования заключается в том, что здесь рассматриваются взаимоотношения операторской компании с партнерами при ее работе на «вторичном» фрахтовом рынке. Отсюда вся «экономика» моделей будет базироваться на рыночных показателях (ставки фрахта и аренды, цен на бункер и т.д.), а не на внутренних затратах сторон, например, - постоянных расходах судовладельца [6].

Будем исходить из того, что менеджер-оператор стремится оптимизировать доходы от эксплуатации тайм-чартерных судов, затраты на оплату аренды и расходы по оперированию судами в определенных сегментах рынка.

Допустим, что для ведения морского бизнеса на открытом фрахтовом рынке в очередном году (второй период) компанией менеджером было взято в аренду на условиях тайм-чартера n судов. Период тайм-чартерной аренды всех судов T' одинаковой продолжительности, также равными по величине являются суточные арендные ставки A' и другие условия тайм-чартерного контракта. Из этого следует, что рыночная стоимость контролируемого оператором тайм-чартерного тоннажа на конец первого периода, предшествующего началу его эксплуатации (второй период), равняется S_1 :

$$S_1 = \sum_{i=1}^n T' A' . \quad (1)$$

Эта стоимость складывается из суммы затрат оператора на оплату тайм-чартерной аренды n судов, зафрахтованных для ведения бизнеса.

В начале бизнес-периода 2 компанией были отфрахтованы на рынке все n судов и соответственно заключены для этого n чартерных сделок. При этом некоторое количество судов отфрахтованы для работы в сегменте рейсового чартера, а оставшаяся часть судов сдана в тайм-чартерную субаренду. С учетом этого, стоимость (активы) оперируемого

**НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ
И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ**

компанией флота во втором периоде возросла и стала равняться величине S_2

$$S_2 = S_1 + \sum_{i=1}^n R_i, \quad (2)$$

где R_i – затраты компании по оперированию i -м судном во втором периоде.

Разрабатывая финансовую стратегию действий на второй период по оперированию тайм-чартерным тоннажем в рыночных условиях, компания ставит задачу: обеспечить полный возврат контролируемой во втором периоде стоимости S_2 и максимизировать получаемую прибыль

$\Pi_2 \rightarrow \max$. Одновременно с этим поставленная задача минимизировать все риски, связанные с планируемыми коммерческими операциями бизнес-плана. К такой группе рисков прежде всего относятся конъюнктурные изменения фрахтового рынка (величины ставок фрахта и арендных ставок, спрос на тоннаж и т.д.), локализовать которые или уменьшить степень их влияния договорными условиями фрахтования не предусмотрено.

Если допустить, что часть взятых в тайм-чартер судов компания будет эксплуатировать в сегменте рейсового фрахтования n_m , а остальные – сдавать в тайм-чартерную субаренду n_z , соблюдая при этом условие $n = n_m + n_z$, то расходы компании по оперированию n судами определяются по формуле

$$\sum_{i=1}^n R_i = \sum_{m=1}^M r_m^n T'_m + \sum_{i=1}^n \eta_i T'_i, \quad (3)$$

где r_m^n – суточные переменные расходы m -го судна при работе в сегменте рейсового фрахтования [6];

η_i – суточные административно-управленческие расходы по i -му судну.

Показатель η_i легко и точно рассчитывается по данным плана годового бюджета компании и количества тайм-чартерных судов.

Подставив в выражение (2) значение расходов компании по оперированию n судами на «вторичном» фрахтовом рынке (3), получим

**НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ
И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ**

развернутую модель контролируемой оператором стоимости флота во втором периоде в виде

$$S_2 = \sum_{i=1}^n (A'_i + \eta_i) T'_i + \sum_{m=1}^M r_m^n T'_m, \quad (4)$$

При оперировании тайм-чартерными судами доходы компании формируются из финансовых поступлений от отфрахтования судов на условиях рейсового чартера и сдачи в тайм-чартер. То есть, они складываются из фрахта за перевозку грузов и арендных платежей от субаренды судов. Общий вид расчетной формулы доходов операторской компании такой:

$$\sum_{i=1}^n D_i = \sum_{m=1}^M D_m + \sum_{z=1}^P D_z, \quad (5)$$

где D_m – доходы (фрахт) от работы m -го судна в рыночном сегменте рейсового фрахтования;

D_z – доходы (арендные платежи) от сдачи z -го судна в субаренду.

Доходы от работы n_m судов в сегменте рейсового фрахтования определяются следующим образом:

$$\sum_{m=1}^M D_m = \sum_{m=1}^M f_m T'_m, \quad (6)$$

где f_m – суточный показатель дохода m -го судна от его работы в сегменте рейсового фрахтования [6];

Соответственно, доходы компании от сдачи n_z судов в тайм-чартерную аренду таковы:

$$\sum_{z=1}^P D_z = \sum_{z=1}^P A_z^c T'_z, \quad (7)$$

где A_z^c – суточная тайм-чартерная ставка по z -му судну в сегменте тайм-чартерной субаренды.

Модель общих доходов компании от комбинированного использования в различных сегментах рынка всех n судов примет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n D_i = \sum_{m=1}^M f_m T'_m + \sum_{z=1}^P A_z^c T'_z = \sum_{m=1}^M \sum_{z=1}^P f_m A_z^c T'_{m,z}. \quad (8)$$

**НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ
И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ**

В качестве критерия, которым оценивается реализация условия стратегии операторской компании о том, что доходы от оперирования тайм-чартерными судами за период T' должна возместить S_2 и обеспечить максимальную прибыль, принимается показатель интенсивности прибыли Π_t . Таким образом, оптимизация использования на фрахтовом рынке тайм-чартерного тоннажа проводится по максимуму интенсивности прибыли $\Pi_t \rightarrow \max T, t$. При этом должно соблюдаться условие, что все n судов, взятых оператором в тайм-чартер, в течение оцениваемого периода T' , обеспечены работой в соответствующих сегментах фрахтового рынка. Они не выводятся из эксплуатации на более длительные сроки, чем те, которые предусмотрены тайм-чартерными договорами.

Критерий интенсивности прибыли, подлежащий максимизации, можно представить в следующем виде:

$$\Pi_t = \frac{\sum_{i=1}^n D_i - S_2}{T'} \rightarrow \max T, t \quad (9)$$

Подставив значения $\sum_{i=1}^n D_i$ и S_2 в формулу (9), модель максимизации интенсивности прибыли от оперирования тайм-чартерными судами получим в виде

$$\Pi_t = \sum_{m=1}^M (f_m - r_m^n) + \sum_{z=1}^P A_z^c - \sum_{i=1}^n (A_i + \eta_i) \rightarrow \max T, t, \quad (10)$$

Перед тем, как проводить расчеты показателей интенсивности прибыли по возможным вариантам использования тайм-чартерных судов, компания должна провести мониторинг уровня конъюнктуры интересующих сегментов фрахтового рынка. Для этого в качестве обобщающего показателя, характеризующего уровень цен фрахтового рынка, отдельных его секций и сегментов видов фрахтования, принимается известный [5, 10] тайм-чартерный эквивалент \mathcal{E}_m . В данном случае его расчет может базироваться на отдельных суточных показателях, используемых при выборе видов от фрахтования судов [6]. При этом модели расчета тайм-чартерного эквивалента для рассматриваемых сегментов рынка очень просты:

- для сегмента рейсового фрахтования

$$\mathcal{E}_m^P = f_m - r_m^n, \quad (11)$$

**НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ
И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ**

- для сегмента тайм-чартерной субаренды судов

$$\mathcal{E}_m^c = kA_z^c, \quad (12)$$

где k – коэффициент, значение которого можно принять равным 1,13 [5, 10].

В зависимости от значения тайм-чартерного эквивалента и величины спроса на тоннаж в сегментах рынка, возможных вариантов принятия решения может быть три. Соответственно, по выбранному варианту использования тайм-чартерных судов, как стратегическому решению операторской компании на второй период, рассчитывается показатель интенсивности прибыли.

Вариант, при котором наибольшее значение \mathcal{E}_m по сегменту рейсового фрахтования: оператор принимает решение все n судов эксплуатировать именно в данном сегменте. Тогда модель показателя интенсивности прибыли будет иметь следующий вид:

$$\Pi_t^P = \sum_{i=1}^n f_i - \sum_{i=1}^n \left(A'_i + \eta_i + r_i^n \right) \rightarrow \max T, t. \quad (13)$$

Вариант, при котором наибольшее значение \mathcal{E}_m по сегменту тайм-чартерной аренды судов: оператор принимает решение все n судов сдать в субаренду. Модель показателя интенсивности прибыли будет такой:

$$\Pi_t^C = \sum_{i=1}^n A_i^c - \sum_{i=1}^n \left(A'_i + \eta_i \right) \rightarrow \max T, t, \quad (14)$$

В случае, если у операторской компании из-за ограниченного спроса на тоннаж возникают затруднения в использовании всех судов в одном сегменте, она должна принять решение о комбинированном варианте отфрахтования их по сегментам фрахтового рынка. Для этого необходимо провести расчет значений долей участия общих активов оператора соответственно в сегменте рейсового фрахтования α и в сегменте тайм-чартерной субаренды судов β . Они определяются из соотношения величин \mathcal{E}_m по сегментам фрахтового рынка с помощью таких формул:

$$\alpha = \frac{f_m - r_m^n}{f_m - r_m^n + 1,13A_z^c}, \quad (15)$$

**НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ
И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ**

$$\beta = \frac{1,13A_z^C}{f_m - r_m^n + 1,13A_z^C}. \quad (16)$$

Рассчитанные по формулам (15) и (16) значения долей участия тайм-чартерных судов в разных сегментах рынка позволяют определить среднерыночную (среднесеgmentную) величину показателя интенсивности прибыли.

Модель показателя интенсивности прибыли от оперирования арендованными судами с их долевым участием в двух сегментах фрахтового рынка имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \overline{\Pi_t^{P,C}} = & \alpha \left[\sum_{m=1}^M f_m - \sum_{m=1}^M (A'_m + \eta_m + r_m^n) \right] + \\ & + \beta \left[\sum_{z=1}^P A_z^C - \sum_{z=1}^P (A'_z + \eta_z) \right] \rightarrow \max T, t, \end{aligned} \quad (17)$$

Корректировку (уменьшение, увеличение) его показателя в случаях изменения спроса на тоннаж в одном из сегментов рынка компания оператора может внести в оперативном порядке.

Данная статья является продолжением исследований особенностей менеджмента тайм-чартерных судов, опубликованных в работе [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Рылов С.И., Коскина Ю.А., Судник Н.В. Современные тенденции фрахтового бизнеса в Украине // Сб. научн. трудов по материалам научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании». – Одесса, 2009. – С.43-45.
2. Раховецкий А.Н. Оперативная фрахтовая деятельность на морском транспорте. – М.: Транспорт, 1986. – 160 с.
3. Рылов С.И. Критерии экономической эффективности при фрахтовании судов. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1980. – 65 с.
4. Бурмистров М.М. Организация фрахтовых и внешнеторговых транспортных операций. – М.: Транспорт, 1982. – 287 с.
5. Бабкин Е.В., Мартынов А.Л. Международные фрахтовые и транспортные операции. – СПб., 2002. – 204 с.
6. Рылов С.И., Коскина Ю.А., Судник Н.В. Выбор судна для тайм-чартерной аренды и критерии эффективности его от фрахтования // Вісник ОНМУ. Зб. наук. праць. – Вип. 27. – Одеса: ОНМУ, 2009. – С. 139-145.

**НОВЫЕ ФОРМЫ МЕНЕДЖМЕНТА АРЕНДОВАННЫХ СУДОВ
И МОДЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
НА ФРАХТОВОМ РЫНКЕ**

7. Berg-Anreassen Jan A. A portfolio approach to strategic chartering decisions // *Maritime Policy and Management*. – 1998. – Vol. 25, №. 4. – P. 375-389.
8. Шутенко В. Аренда судов. Вып. 3. – СПб.: Инф. Центр «Выбор», 2003. – 136 с.
9. Ильницкий К. Шанс торгового флота? // *Порты Украины*. – 2008. – № 5(77). – С. 56-60.
10. Раховецкий А.Н. Эффективность рейса морского судна. – М.: Транспорт, 1989. – 139 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА

Рассмотрена современная практика ведения диспетчерского журнала для оценки результатов оперирования судном в рейсе.

Rozglяnuto sучасnu практику ведення диспетчерського журналу для оцінки результатів оперування судном в рейсі.

It is observed the present-day practice of conducting dispatcher journal for evaluation of the results of vessel operating in the voyage

Ключевые слова: оперативная информация, трамповое судоходство, менеджментская компания, тайм-чартерный эквивалент

На морском транспорте известны две базовые системы оперативного учета перевозок и работы флота – по отправлениям и законченным рейсам. Каждую из указанных систем учета отличает определенный учетный момент.

Система оперативного учета по отправлениям широко использовалась при планово-административной модели хозяйствования и ее основной характеристикой следует считать то, что выполнение планового задания по всем показателям засчитывается на момент отправления. При этом выполнение показателей транспортной работы учитывается как бы наперед, в то время, как перевозочный процесс еще не завершен. Очевидно, что отправление каждого судна с грузом в пределах планового календарного периода, которое будет учтено как выполнение плана перевозок, возможно, если клиентура предъявит его к перевозке несколько раньше, в срок, достаточный для загрузки судна и подготовки его к выходу в рейс.

Система оперативного учета по отправлению предполагает применение для получения отчетных показателей работы флота соответствующих нормативов, например, по времени, по затратам и т.д. Численные значения показателей получают в этом случае с помощью известных формул. Учет по отправлению ведется за каждые сутки и нарастающим итогом за пятидневку, декаду и т.д. При этом граница охватываемого периода является неопределенной.

Система учета по законченным рейсам охватывает учет перевозок и работы флота за отдельные календарные периоды – месяц, квартал и год. Особенность этой системы учета, как показывает само ее название, состоит в том, что при ней не принимаются во внимание рейсы, окончание которых приходится на даты за пределами отчетного периода. Такой системе присущи следующие свойства: условная продолжительность отчетного периода; исключение в одних случаях и учет в других показателей переходящих рейсов, т.е. рейсов, начатых в одном месяце или квартале и законченных в другом, следующем.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА

Достоинство этой системы заключается в том, что при ней получаемые результаты отражают действительно выполненную работу. При этом допущение состоит в том, что условно принимается равенство учитываемых показателей переходящих рейсов предыдущего отчетного и следующего периодов. Неточности, связанные с указанным допущением, тем меньше, чем больше продолжительность отчетного периода. Поэтому результаты учета по законченным рейсам, например за месяц, обладают меньшей достоверностью и не сопоставимы с планами по отправлению. Для квартала указанное несоответствие несколько сглаживается, а для годового периода становится, как правило, малоощутимым.

Основой оперативного учета любого перевозочного процесса является оперативная информация, характеризующая его состояние. Оперативная отчетность о перевозках и работе флота формируется на судах и обобщается в судоходных компаниях. Диспетчерская информация была разработана на рубеже 60-70-х гг. прошлого столетия и представлена формами диспетчерской отчетности ДИСП/1, в которых первичная информация приводилась в зависимости от состояния перевозочного процесса в виде радиограмм «Море», «Отход», «Порт», «Грузы» [1. С.332-333; 2. С.283-285]. В ее основе лежала следующая информация, получаемая с судов:

ДИСП/1 «Море» – о нахождении судна в пути (координаты, ветер и волнение, пройденное за сутки расстояние и др.);

ДИСП/1 «Отход» – об отходе судна из порта (время отхода, количество груза, запасов и др.);

ДИСП/1 «Порт» – о работе судна в портах (операции, производимые в порту, количество погруженного и выгруженного груза за сутки, всего переработанного груза и др.);

ДИСП/1 «Грузы» – о грузах, принятых в последнем порту отхода.

Документом, систематизирующим первичную оперативную информацию, служил диспетчерский журнал, на основе которого можно было проанализировать рейс и определить, в том числе, следующие результирующие показатели:

валютная доходность одних тоннаже-суток;

валютная доходность одних судо-суток;

валютная эффективность;

финансовый результат;

уровень доходности [1. С.287-289; 2. С.100, 101; 120; 106-109].

Первый из указанных показателей весьма широко применялся для анализа работы группы судов или всего флота в планово-административной системе хозяйствования. Он показывает, сколько чистой валютной выручки приносит одна тонна чистой грузоподъемности как в целом за эксплуатационный период, так и во время работы судов на отдельных направлениях перевозок или перевозок отдельных категорий грузов.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА

Второй показатель определяет размер чистой валютной выручки судна за сутки рейса или эксплуатационного периода. Однако, этот показатель применим только при сравнении результатов работы одного и того же судна или группы однотипных судов. Для различных же судов следует применять показатель валютной доходности одних тоннаже-суток, поскольку он отражает продолжительность использования отдельных судов с учетом их грузоподъемности.

Расходы в национальной валюте, которую не содержат оба указанных выше показателя, отражает показатель валютной эффективности, считавшийся одним из важнейших финансовых показателей результатов работы флота и рассчитывавшийся на практике как в целом по пароходству по всем видам заграничных перевозок, так и с детализацией по принятым в тот период видам перевозок (грузов иностранных фрахтователей, между советскими и иностранными портами, между иностранными портами).

Показатель финансового результата характеризует конечный результат производственной деятельности за определенный период времени. Он показывает, прибыльны или нет рейсы судна, группы судов, всего флота. Этот показатель рассчитывается за заданный производственный период, весьма универсален, так как содержит все составляющие доходов и расходов, а в приведении к единице времени отражает результаты деятельности предприятия. Однако, анализ фактического выполнения отдельных рейсов по отношению к плановым значениям по такому показателю затруднен. В случаях выполнения рейсов с низкой эффективностью, когда плановое значение этого показателя близко к нулю, даже незначительное отклонение в достигнутом фактическом значении приводит к неадекватной оценке. Отмеченного недостатка лишен показатель уровня доходности.

В современных условиях работы судов в трамповой форме судоходства, когда оперирование, как правило, осуществляется менеджментскими компаниями, основным комплексным показателем результатов эксплуатации судов выступает фактический тайм-чартерный эквивалент (ТЧЭ) – маржинальный суточный доход [3. С.186]

$$\text{ТЧЭ} = (F - R_{\text{пер}}) / t_p, \quad (1)$$

где ТЧЭ – показатель тайм-чартерного эквивалента за рейс, \$/сут.;

F – величина фрахта за рейс, \$;

R_{пер} – переменные расходы за рейс, \$;

t_p – продолжительность рейса, сут.

Анализ результатов расчета ТЧЭ сводится к выводу о том, что данная работа судна соответствует текущему состоянию фрахтового рынка, т.е. что ТЧЭ соответствует текущему уровню мировой цены продукции судна данной тоннажной группы и специализации. Эта идея основыв-

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА

вається на том, что для данного момента и региона работы ТЧЭ по предложениям перевозок для определенного судна будет некоторой постоянной величиной, не зависящей от груза или направления перевозки. Причем условие постоянства ТЧЭ равносильно условию суточной равноприбыльности вариантов работы. Таким образом, ТЧЭ представляет собой показатель состояния локального фрахтового рынка, и оператор должен планировать свою работу так, чтобы получать в течение суток приток денежных средств, соответствующий величине ТЧЭ. Другими словами, ТЧЭ является также универсальным способом определения идеи фрахтовой ставки, используемой на практике опытными брокерами. Если расчетное значение показателя ТЧЭ больше либо равно величине, соответствующей ситуации на рынке ($TЧЭ \geq TЧЭ_{рын}$), использование судна для данной морской перевозки является эффективным.

На основе расчета ТЧЭ в современной практике разрабатывают план рейса с расчетом проектного значения этого показателя ($TЧЭ_{пр}$).

Сегодня оперативная информация, получаемая с судов, представлена следующими группами информационных сообщений:

- стандартные оперативные сообщения;
- специальные оперативные сообщения;
- ежемесячные отчеты;
- судовая корреспонденция (переписка);
- прочие сообщения [3. С.168-170].

Стандартные сообщения со строго регламентированными сроками отправления включают четыре обязательные информационные формы: сообщение об окончании перехода (ОП); оперативный рейсовый отчет; сообщение об отпадении (начале перехода, НП); сообщение о позиции судна на переходе.

Кроме того, конкретные обстоятельства рейса диктуют необходимость использования также следующих дополнительных стандартных информационных форм, направляемых при возникновении таких обстоятельств: нотис за 48 часов до ожидаемой даты ОП; нотис за 6 часов до ожидаемой даты ОП; нотис об изменении предполагаемой даты окончания выгрузки (ETD); сообщение о задержке отхода на срок, более чем 12 часов; сообщение об изменении предполагаемой даты прибытия в порт (ETA); сообщение об изменении характера рейса.

Специальные сообщения используются для информирования аппарата управления менеджментской компании о непредвиденных обстоятельствах, которые не нашли отображения в стандартных сообщениях. Ежемесячные информационные отчеты направляются каждым судном по окончании отчетного периода и включают: исполнительный отчет; отчет о снабжении судна; отчет о расходах за связь; отчет о расходах судна в портах.

Судовая переписка включает смешанные информационные формы и связанные с ними документы и письма, отправляемые регулярно капи-

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА

таном и старшим механиком. Смешанные сообщения состоят из отчетов, направляемых капитаном судна в адрес диспетчерского аппарата менеджментской компании, и включают: сообщения об авариях и происшествиях, включая данные о полученных травмах членами экипажа; сообщения о несоответствиях, которые используются для информирования о проблемах, встречающихся при проведении грузовых операций; текущие сообщения о прочих разнообразных событиях.

В рамках информационно-технологического процесса заполняется следующая форма диспетчерского журнала (табл. 1), в которой содержатся эксплуатационные показатели выполнения рейса, включая дату, координаты, задержки, связанные с погодными условиями и техническими причинами, количество пройденных миль, среднюю скорость, обороты двигателя (мин.), волнение моря, а также количество израсходованного за сутки топлива и воды. Кроме этого указывается информация по топливу на начало и конец рейса и бункеровок топливом, маслом и водой в течение рейса с указанием стоимости (табл. 2). На основе проформ дисбурсментских расходов, а также счетов, получаемых от агентов при проходе каналов, заполняется форма, учитывающая переменные расходы в рейсе (табл.3).

Компьютерные технологии позволили значительно упростить задачу анализа результатов работы судна в рейсе, основываясь на проектном и фактическом значениях ТЧЭ. Итоговый результат выполнения рейса представляется в следующей структуре данных (табл.4). Как видно, электронный документ содержит следующие показатели: время перехода по проекту и фактическое; время судна на стоянке по проекту и фактическое; общее время в эксплуатации и общее время рейса с учетом задержек по техническим причинам; общий и суточный доход в рейсе и тайм-чартерный эквивалент проектный и фактический, причем фактический приводится, как общий, так и за время эксплуатации.

Сравнение проектного и фактического значений ТЧЭ позволяет выяснить причины невыполнения показателей рейса, связанных с погодными условиями, техническими причинами, наличием праздничных и выходных дней, пр. и внести необходимые коррективы.

Рассмотренная система позволяет определить среднее значение ТЧЭ как по данному судну за определенный период, так и по группе однотипных судов. Причем переходящие рейсы разбиваются пропорционально их временной продолжительности, приходящейся на рассматриваемый период (квартал, год). Это позволяет более точно определять фактическую эффективность эксплуатации судна в отчетном периоде.

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА**

Таблица 2

Информация о запасах топлива и бункеровках в рейсе

Sheet#		...
Voyage#		01
Date		19.11.200 9 15:20
MAIN & GEN FUEL		
Balance main & generator fuel MGO	Stock 1	21,50 t
		\$ 580,00/t
	Total	\$ 12 470,00
		21,50 t
Total	\$ 580,00/t	
	\$ 12 470,00	
Supplied MGO	Supplier	“YY”
	Date	7-Nov-09
	Quantity	55,00 t
	Price	\$ 600,00/t
	Total	\$ 33 000,00
Balance after supply main & generator fuel MGO	Stock 1	21,50 t
		\$ 580,00/t
		\$ 12 470,00
	Stock 2	55,00 t
		\$ 600,00/t
		\$ 33 000,00
	Total	76,50 t
\$ 594,38t		
\$ 45 470,00		
Consumed main & generator fuel MGO	Stock1	21,50 t
		\$ 580,00/t
		\$ 12 470,00
	Stock 2	32,50 t
		\$ 600,00/t
		\$ 19 500,00
Total	54,00 t	
	\$ 592,04/t	
\$ 31 970,00		
Balance main & generator fuel MGO	Stock 1	22,50 t
		\$ 600,00/t
		\$ 13 500,00
	Total	22,50 t
		\$ 600,00/t
		\$ 13 500,00

MAIN & GEN LUBOIL		
Balance main & generator luboil SAE-30	Stock 1	1 270 kg
		\$2,19/kg
		\$2 781,30
	Total	1 270 kg
\$2,19/kg		
\$2 781,30		
Supplied LO	Supplier	
	Date	
	Quantity	
	Price	—
	Total	
	Supplier	
	Date	
	Quantity	
Price	—	
Total		
Balance after supply main & generator luboil SAE-30	Stock 1	1 270 kg
		\$2,19/kg
		\$2 781,30
	Total	1 270 kg
\$2,19/kg		
\$2 781,30		
Consumed main & generator luboil SAE-30	Stock 1	520 kg
		\$2,19/kg
		\$1 138,80
	Total	520 kg
		\$2,19/kg
		\$1 138,80
Balance main & generator luboil SAE-30	Stock 1	750 kg
		\$2,19/kg
		\$1 642,50
	Total	750 kg
		\$2,19/kg
\$1 642,50		

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА**

Таблица 3

Проектные и фактические показатели рейса

Voyage Projection/Control		
Cargo quantity, t		3 000,000
Load Port 1	Name	Yeisk
	Distance to, ml	1295
	Load rate, mt/day	1250
	Transit to load port, days	6,74/-2
	Time in load port, days	2,4/1,18
Load Port 2	Name	
	Distance to	
	Load rate	
	Transit to load port	
	Time in load port	
Disch Port 1	Name	Egypt
	Distance to, ml	1295
	Disch rate, mt/day	1000
	Transit to disch port, days	6,74/4,94
	Time in disch port, days	3/8,9
Disch Port 2	Name	
	Distance to	
	Transit to disch port	
	Time in disch port	
Total days for loading/discharge		
Point of closing	Distance to, ml	722
	Transit to point of closure, days	3,76/0,47
Back voyage	Distance to point of closure	
	Time to point of closure	
Total distance covered, ml		3312/-684
Delays due to, days	Straight (transit)	1,00
	Storm standing (transit)	1,00
	Weekend/ holiday (ports)	2,00
Off-hire due to	Technical	
	Other reasons	
	Total	
Total time, days	In transit	19,24/ 1,41
	In transit (inc. back voy.)	19,24/ 1,41
	In ports	7,4/ 8,09
	Total projected time	26,64/ 9,49
Freight	Rate, \$/ t	38,00
	Gross, \$	11400
	Total commission, %	2,50
	Total commission, \$	2850
	Net, \$	111150/15989
Main & gener. fuel MGO	Price, \$	600
	Price, \$	600/-8
	Quantity, t	65,04/-11,04
	Total, \$	39024/-7054
D/A	D/A at loading, \$	10000
	D/A at discharge, \$	6000
	Canals, \$	1500
	Other expenses, \$	
	Total, \$	17500/-451
Projected Net revenue, \$		54626/23494
Projected TCE, \$		2051/111

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА**

Продолжение табл.3

Voyage Number		01
Voyage	Charter Party (Recap) date	17-Nov-09
	B/L date	26-Nov-09
	Charterers	"XXX"
	Start	19.11.2009 15:20
	End	25.12.2009 18:30
Cargo	Type	Wheat in bulk
	Quantity, t	3 026,480
Load Port I	Name	Yesik
	Arrival	24.11.2009 9:00
	Departure	27.11. 2009 23:00
	Transit to load port	4,74 days
	Time in load port	3,58 days
...
Disch Port I	Name	Egypt
	Arrival	09.12.2009 15:20
	Departure (voyage end)	21.12.2009 13:00
	Transit to disch port	11,68 days
	Time in disch port	11,90 days
...
Point of closing	Arrival	25.12.2009 18:30
	Transit to point of closing, days	4,23
Back voyage	Distance to point of closure, ml	
	Time to point of closure, days	
Total distance covered, ml		2628
Delays due to, days	Straight (transit)	1,15
	Storm standing (transit)	3,25
	Weekend/holiday (ports)	
Off-hire due to	Technical	
	Other reasons	
	Total	
Total time, days	In transit	20,65
	In transit (inc. back voy)	20,65
	In ports	15,49
	Total operational time	36,13
	Total actual time	36,13
Freight	Gross, \$	115 006,24
	Total commission, %	2,50
	Total commission, \$	3 259,98
	Balance (deadfreight)	
	Demm (dispatch) at loading, \$	569,98
	Demm (dispatch) at disch, \$	14 822,95
Main & gener. fuel MGO	Net, \$	127 139,19
	Actual price, \$/t	592,04
	Consumed, \$	31 970,00
	Bunker for back voy.	
D/A	Total, \$	31 979,00
	D/A at loading, \$	8 074,33
	D/A at discharge, \$	6 956,00
	Canals, \$	2 018,65
	Other expenses, \$	
TCE	Total, \$	17 048,98
	Actual Net revenue, \$	78120,21
Operational days, \$		2162,08
	Actual, \$	830,24

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА**

Таблица 4

Результаты выполнения рейса

VOYAGE#	01
Charterers	"XXX"
Loading Port	Yeisk
Discharging Port	Egypt
Voyage Start	November 19, 2009 15:20
Voyage End	December 25, 2009 18:30
Voyage Duration	36,13 days
Voyage Operational Duration	36,13 days
Freight Rate	38,00 USD/t
Type of Cargo	Wheat in bulk
Cargo Quantity	3026,480 t

BUNKER CONSUMPTION		Quantity	Amount
Main & gener. fuel MGO	Stok #1	21,50 t	\$ 12 470,00
	Stok #2	32,50 t	\$ 19 500,00
	Stok #3		
	Stok #4		
Total		54,00 t	\$ 31 970,00

DELAYS DUE TO:		OFF-HIRE TO:	
Bosporus Straight	1,15 days	Technical	
Weather	3,25 days	Other reasons	
Weeknds, Holyds			
Total	4,40 days	Total	

FREIGHT	Amount	Date of receipt
Revenue	\$ 112 131,08	Oct 30, 2009
Balance	no	
DEMMURAGE (DISPATCH)		
At Load Port	\$ 555,73	
At Discharge Port	\$ 14 452,38	
Total Revenue	\$ 127139,19	

MAIN FIGURES	Projected	Actual	Difference
Time in transit	19,24 days	20,65 days	1,41 days
Time in ports	7,40 days	15,49 days	8,09 days
Total time (operat)	26,64 days	36,13 days	9,49 days
Total time (actual)		36,13 days	9,49 days
Net revenue	\$ 54626	\$ 77339	\$ 22713
TCE (operational)	\$ 2051	\$ 2140	\$ 89
TCE (actual)		\$ 2140	\$ 89

Checked and approved by: _____

Date: _____, 2010

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ДИСПЕТЧЕРСКОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ФЛОТА**

ЛИТЕРАТУРА

1. Организация и планирование работы морского транспорта / Г.Е. Гуревич, В.И. Немчиков. – М.: Транспорт, 1972. – 352 с.
2. Организация и планирование работы морского транспорта / [П.Р. Дубинский, О.Т. Кондрашихин, В.С. Петухов, А.А. Союзозов]; под. ред. А.А. Союзозова. – М.: Транспорт, 1979. – 416 с.
3. Лапкин А.И. Организация и управление работой флота последовательными рейсами / А. И. Лапкин. – Одесса: ОГМУ, 2000. – 200 с.

Надійшла 21.10.09

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗА НА ТЕХНОЛОГИЮ И ОРГАНИЗАЦИЮ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКИ

Исследуется влияние транспортировочного состояния груза на технологические и организационные стороны процесса доставки в сохранности в установленные сроки, с надлежащей скоростью и без ущерба для окружающей среды.

Вивчається вплив транспортувального становища вантажу на технологічні та організаційні процеси його доставки з належною швидкістю та без шкоди для навколишнього середовища.

The influence of cargo conditions under transportation is studied on technological and organization problems connected with its safe delivery in time and without any damage to the environment.

Ключевые слова: транспортное состояние груза, особенности морской транспортировки, сохранность грузов.

Общеизвестно, что любой продукт только тогда готов к потреблению, когда он доставлен из места производства в место потребления, причем перемещение предмета труда является всеобщим и необходимым условием общественного производства.

Груз должен быть доставлен в сохранности в установленные сроки, с надлежащей скоростью и без ущерба для окружающей среды.

В мировом хозяйстве в процессе перевозки постоянно находятся многомиллиардные материальные ресурсы. Понятно, что проблема обеспечения сохранности грузов на транспорте относится к категории важнейших. На морском транспорте убытки от порчи и повреждения грузов только от воздействия агрессивных факторов при перевозке достигают 30% общей суммы убытков [1]. Но дело не только в убытках.

Перевозимый морем груз нередко является носителем повышенной опасности для находящихся на борту судна людей и окружающей среды. Это определяется следующими особенностями морской перевозки:

- мощным воздействием на судно и грузы стихийных сил, концентрацией в ограниченном пространстве (на судне) разных видов опасности;

- недостаточной изученностью взаимодействия грузов с внешней средой и между собой;

- значительной экологической опасностью аварий при перевозке многих грузов (особенно химических и наливных); невозможностью, как правило, оказания быстрой помощи извне и надежной изоляции людей от воздействия грузов при аварийных ситуациях [4].

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗА НА ТЕХНОЛОГИЮ И ОРГАНИЗАЦИЮ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКИ

Часто причинами несохранности грузов и возникновения опасных ситуаций при морской перевозке являются специфические свойства грузов.

По данным Организации ООН, убытки судоходных компаний мира от несохранной доставки грузов морем составляют 1,2-1,6 % их стоимости, которая приближается к триллиону долларов. Поскольку аварии сопровождаются, как правило, и человеческими жертвами, актуальность решения задачи обеспечения сохранности грузов и безопасности их морской перевозки очевидна.

Теория транспортного состояния груза базируется на известном положении о том, что на транспорте груз должен подвергаться только пространственному перемещению, физические, химические и другие свойства грузов при этом не должны изменяться, так как все перемены, произведенные перевозкой в естественных свойствах продуктов (за некоторыми исключениями) являются не преднамеренным полезным эффектом, а неизбежным злом.

Объект исследования (груз) рассматривается как совокупность элементов (свойств), характеризующих определенную материальную целостность, которая в процессе транспортировки подвергается комплексу внутренних и внешних воздействий.

Современная концепция теории транспорта подтверждается международным и национальным опытом морских перевозок грузов. Например, в основе так называемых джутовых пожаров на море лежат процессы теплового самовозгорания волокнистых материалов; гибели судна «Умань» и многих морских судов с навалочными грузами - игнорирование законов механики грунтов и тиксотропных свойств грузов; взрывов и пожаров на наливных и других судах – физические процессы дефлаграции и детонации; гибели судов «Мактра», «Марпесса» и многих других танкеров-непонимание физических законов накопления и разряда статического электричества в углеводородной среде.

Миллионные убытки пароходств и портов от несохранности ценных гигроскопических грузов вызваны незнанием процессов тепло-, массообмена и конденсации влаги в трюмах и на складах.

С развитием химии, энергетики, сельского хозяйства в структуре грузооборота транспорта постоянно растет (по объему и номенклатуре) доля потенциально опасных грузов.

Все это предъявляет повышенные требования к качеству подготовки кадров в области оценки транспортного состояния груза, к их умению предвидеть и оценить вид, степень опасности того или иного груза и возможный ущерб при его транспортировке.

Научно-технический прогресс на транспорте развивается по направлениям:

- укрупнения и унификации грузовых мест;

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗА НА ТЕХНОЛОГИЮ И ОРГАНИЗАЦИЮ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКИ

– специализации высокопроизводительных транспортных средств и средств грузообработки на всем пути следования груза;

– повышения уровня организации, механизации и автоматизации технологических процессов;

– представления комплекса транспортных услуг при координированном технико-эксплуатационном взаимодействии всех видов транспорта, участвующих в системах интегрированных сквозных бесперегрузочных сообщений по оптимальным маршрутам «от двери отправителя до двери получателя» [3].

В транспортном процессе наиболее динамичным элементом является состояние груза, которое в результате научно-технического процесса подвергается существенной трансформации, а это требует создания принципиально новых типов судов, перегрузочного оборудования, других организационных форм перевозки [2].

Такие грузы, как уголь, руда, сахар-сырец, щепа, традиционно перевозившиеся навалом, в ряде случаев целесообразно приводить в пульпообразное состояние и перевозить как наливные. Битум и серу в месте производства или добычи в расплавленном состоянии грузят на суда как жидкий груз. Жидкие грузы перевозят наливом в танкерах, но разлитыми в тару (бочки) их транспортируют как генеральные на обычных сухогрузных судах.

Древесину переводят в технологическую щепу и перевозят на специализированных судах. Пакетирование пиломатериалов привело к отказу от традиционного лесовоза и замене его судном нового типа, грузоподъемность которого в несколько раз больше.

То же самое происходит с рудовозом при перевозке концентратов в виде пульпы, перекачиваемой по трубопроводам. Традиционно навалочный груз – металл в чушках, будучи пакетирован, подлежит перевозке как генеральный. Штучные грузы переводят в укрупненные грузовые места (пакеты, контейнеры, трейлеры). Транспортные характеристики сжиженного газа потребовали создания узкоспециализированного газовоза – метановоза, в котором груз перевозят при температуре (-162 °С).

Все стороны совершенствования транспортной работы непосредственно связаны с транспортным состоянием груза. Изменение транспортного состояния груза прежде всего выдвигает задачу выбора новой технологии перевозки. По Н.А. Панибратцу задача формулируется так: как наиболее эффективно осуществить перевозку груза X, обладающего набором свойств d_1, d_2, \dots, d_n , между номинированными портами при условии соблюдения требований сохранной и безопасной доставки груза?

Решение задачи выполняется поэтапно: определяют множество возможных технологий перевозки данного груза; отбирают приемлемые варианты для конкретной перевозки; оценивают осуществимость отобранных вариантов. При выборе окончательного варианта должны учи-

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗА НА ТЕХНОЛОГИЮ И ОРГАНИЗАЦИЮ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКИ

тываться три основных критерия: показатель отраслевой эффективности (должен быть максимальным); показатель вероятности (риска) несохранной доставки груза (должен быть минимальным); показатель вероятности (риска) нарушения безопасности при перевозке (должен быть минимальным).

При установлении приоритета критериев следует учитывать, что выбор окончательного варианта эффективной технологии не может быть произведен в ущерб требованиям обеспечения сохранности груза или безопасности мореплавания. Окончательный вариант технологии должен в равной мере обеспечивать повышение эффективности, необходимое качество и полную безопасность перевозок.

Влияние транспортного состояния груза на технические средства и технологию морской перевозки подробнее рассмотрим на примере транспортировки некоторых грузов [2].

Резкое увеличение количества морских перевозок сверхтяжеловесных и крупногабаритных грузов привело к созданию специализированных судов с одновременным изменением способа погрузки-выгрузки. Традиционный вертикальный способ погрузки-выгрузки тяжеловесных грузов потребовал внесения изменений в конструкцию судна: грузоподъемность стрел возросла до 300 т, потребовались противокренные балластные цистерны большой вместимости, люковые крышки повышенной прочности, отказ от твердого балласта.

Большой объем перевозок колесных технических средств привел к созданию судов с горизонтальным способом погрузки-выгрузки, в которых традиционные грузовые отсеки заменены по сути дела грузовыми палубами. Некоторые суда приспособлены и для вертикального, и для горизонтального способа погрузки-выгрузки. Горизонтальная погрузка-выгрузка осуществляется через носовую и (или) кормовую аппарели, способные пропускать груз массой до 1000 т; вертикальная погрузка-выгрузка – стрелами грузоподъемностью до 100 т. Крен устраняется путем применения жидкого балласта.

Значительные трудности транспортировки крупногабаритных плавсредств привели к созданию судов с погрузкой-выгрузкой в доковом варианте. При погрузке грузов судно с откинутой аппарелью притапливают, плавсредство заводят в доковую камеру, затем жидкий балласт откачивают, аппарель поднимают, камеру герметически закрывают, воду из нее откачивают. Плавсредство устанавливают на кильблоках и крепят. Выгрузка груза может осуществляться: на берег через кормовую аппарель на транспортировочных тележках; на речные баржи двумя козловыми кранами грузоподъемностью по 350 т, путем вывода из док-камеры в приотпленном состоянии.

Лесные грузы, как правило, легкие, поэтому для лучшего использования грузоподъемности до 1/3 и более общего количества леса приходится грузить на палубу, а это создает проблему обеспечения устойчиво-

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗА НА ТЕХНОЛОГИЮ И ОРГАНИЗАЦИЮ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКИ

сти груженого судна. Лесовоз выполняют однопалубным, трюмы – допускают большую вместимости, без пиллерсов и других мешающих элементов, грузовые люки – длинными и широкими, фальшборт – повышенной прочности и высоты. Судно, перевозящее палубный груз, характеризуется повышенным расположением центра тяжести, поэтому такое судно имеет развитую междудонную балластную систему.

Рудовозы имеют корпус повышенной прочности, грузовые помещения небольшой вместимости, высокое междудонное пространство, бортовые или подпалубные танки, трюмы такой формы, при которой сводится к минимуму объем штифовочных и зачистных работ. Увеличение размеров и грузоподъемности рудовозов выдвигает проблему интенсификации погрузочно-разгрузочных работ и сокращения стояночного времени судов. Традиционные методы погрузки-выгрузки груза грейферами и конвейерами уже не удовлетворяют эксплуатационников.

Перспективно применение гидромеханического способа транспортировки руды и других навалочных грузов. При этом способе груз разжижают и переводят в пульпообразное состояние. Перевод груза из категории навалочного в категорию наливного позволяет осуществлять перегрузку на рейде. При этом снижается стоимость перегрузочных работ, значительно сокращаются потери груза, возможны полная автоматизация и механизация транспортировки (включая перегрузку), сокращение времени погрузочно-разгрузочных операций.

Однако широкому распространению метода мешают свойственные ему недостатки. До 30 % грузоподъемности судна используется на перевозку воды в составе пульпы. Трудно обеспечить остойчивость судна из-за наличия больших площадей свободной поверхности груза. На разных этапах перевозки приходится ускорять либо замедлять осаднение груза, для чего в пульпу добавляют суспензирующие добавки (глину, известь, карбонат натрия) или коагулянты (известь, едкий натр, хлорное железо).

Рудные концентраты можно транспортировать и выгружать разными способами: в виде пульпы при перевозке и перегрузке; в виде пульпы при перевозке и в осушенном виде при выгрузке (пульпу сушат и перегружают грейферами и пневмоустановками); в сухом виде при перевозке и в виде пульпы при выгрузке. Эффективность той или иной технологии зависит от многих факторов; в их числе размер и стабильность грузопотока, техническая оснащенность пунктов погрузки-выгрузки.

Мелкоштучные грузы во все больших количествах перевозят в виде укрупненных грузовых мест. На первом этапе в качестве УГМ были использованы пакеты, сформированные на универсальных поддонах. Производительность технологической линии увеличилась, но внутри-трюмное перемещение грузов было затруднено, был ограничен рост производительности погрузочно-разгрузочных работ. Возникла необходимость в увеличении ширины люков, в результате появились суда откры-

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗА НА ТЕХНОЛОГИЮ И ОРГАНИЗАЦИЮ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКИ

того типа. Производительность погрузочно-разгрузочных работ возросла в 1,5-2 раза, однако общее время доставки генеральных грузов продолжало оставаться большим. Требовались радикальные меры в области транспортировки грузов. Одной из таких мер явилась контейнеризация грузов [4].

Однако на первых порах контейнеры использовались по сути дела как оборотная тара повышенной прочности и вместимости, и их применение никаких особых преимуществ не давало. И только при организации сквозных перевозок «от двери отправителя до двери получателя» удалось решить три основные проблемы транспортировки: сократить общее время доставки грузов, снизить стоимость перевозки, автоматизировать процесс учета и планирования транспортного потока.

Развитие современных транспортно-технологических систем предполагает организацию всех элементов транспортировки по схеме «от двери отправителя до двери получателя», т. е. изменение технологии перевозки не только на морском, но и на смежных видах транспорта. Перевозка от отправителя до получателя 'мелкоштучного груза через океан сопровождается примерно 30 операциями по перевалке, что приводит к 20 задержкам в ожидании очередной операции.

Выход из такого положения был найден в контейнеризации грузов [5], которая вызвала радикальную перестройку транспортной системы. В материально-технической области потребовалось: создать парк крупнотоннажных контейнеров, соответствующих международным и Государственным стандартам; построить дорогостоящие быстроходные морские контейнеровозы; переоборудовать или построить новые железнодорожные платформы, специализированные под перевозку стандартных контейнеров; специализировать теплоходы-площадки на речном транспорте; создать специализированные автотранспортные средства; специализировать самолеты и вертолеты на воздушном транспорте; построить терминалы или специализированные перегрузочные комплексы с мощным подъемно-транспортным оборудованием; создать контейнерные участки на железнодорожных станциях, речных пристанях.

Изменение технологии транспортировки привело к изменению ее организации. Развитие перевозки в контейнерах, трейлерах, лихтерах вызвало углубление интеграции разных видов транспорта в национальном и международном масштабах; при этом оказались затронутыми интересы не только транспорта, но и отправителей и получателей грузов. Влияние транспортного состояния груза на технологию и организацию перевозки – процесс не односторонний. Условия и масштабы перевозок, их техническая оснащенность приводят к максимальной унификации транспортного состояния груза, его наибольшей приспособленности к конкретным условиям данной линии.

В организации перевозок массовых грузов (руда, уголь, нефть, природный газ) намечается тенденция включения судов в технологиче-

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СОСТОЯНИЯ ГРУЗА НА ТЕХНОЛОГИЮ И ОРГАНИЗАЦИЮ ЕГО ТРАНСПОРТИРОВКИ

ский цикл работы промышленных предприятий от добычи сырья до выпуска готовой продукции. Морской транспорт начинает во все большей мере выполнять функции технологического транспорта с характерными для него особенностями. Так, включение морского транспорта непосредственно в технологический цикл работы металлургического производства стимулировало появление агломератовозов, при перевозке на которых груз нагрет до 700 °С. Межконтинентальные перевозки сжиженного газа из Персидского залива в Японию осуществляются крупными газовозами в условиях глубокого охлаждения груза, фидерные перевозки между Японскими островами – небольшими газовозами с цистернами высокого давления или комбинированного типа. Все это имеет и обратную связь: организация работы флота по расписанию на конкретной линии способствует все более узкой специализации судов, базовых портов и созданию мощного специализированного перегрузочного оборудования.

Изменение технологии и организации работы флота меняет и управление судоходством. Морские перевозки концентрируются в крупных национальных и международных компаниях и организациях, осуществляющих все операции по доставке грузов «от двери отправителя до двери получателя» с участием не только транспортных организаций, но и поставщиков грузов. Морские суда постепенно превращаются в один из элементов единой транспортной системы, а это невозможно без широкого применения автоматизированных систем управления транспортными потоками на базе математических методов и компьютеризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамовский Э.В. Сохранность грузов при перевозке: Сер. «Транспорт». 1988. – № 4. – 64 с.
2. Козырев В.К. Грузоведение: Учебник для вузов. – 2-е изд. – Одесса: Феникс; М.: Росконсульт. – 2005. – С.358,
3. Кочетов С.Н. Прогрессивные транспортно-технологические системы на морском транспорте. – М.: Транспорт, 1981. – 232 с.
4. Общие и специальные правила перевозки грузов (4-М): – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1988. – 392 с.
5. Снопков В.И. Морская перевозка грузов: Справочное пособие. – 2-е изд. – М.: Транспорт, 1986. – 312 с.

Надійшла 21.01.10

УРОВЕНЬ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ УКРАИНЫ (НА ПРИМЕРЕ ПОРТА ЮЖНЫЙ)

Разработаны принципы оценки уровня технико-эксплуатационного состояния воднотранспортных сооружений Украины, которые применены для причальных сооружений морского торгового порта Южный. Полученные результаты позволяют обоснованно прогнозировать устойчивую работу транспортных систем.

Розроблено принципи оцінки рівня техніко-економічного становища воднотранспортних споруд України, які використано на причальних спорудах морського торговельного порту Південний. Отримані результати дозволяють обґрунтувати сталу роботу транспортних систем.

Basis of evaluation of level of the technical-operational state of water transport structures of Ukraine are worked-out. These principles are applied to the berth of Sea Commercial Port of Yuzhny. Obtained results allow grounded prediction of sustainable work of transport systems.

Ключевые слова: *технико-эксплуатационное состояние, воднотранспортные сооружения, причал, измерение деформаций*

Известно, что длина грузовых причалов морских портов и СРЗ Украины составляет около 43 км. В общей длине причальных сооружений 57,5 % составляют сооружения эстакадной конструкции, 34,5% – сооружения типа «большерк», 8,0 % – сооружение гравитационного типа. При этом срок службы большинства причалов приближается либо превышает нормативный.

Нормальное функционирование портовых перегрузочных комплексов, в т. ч. обеспечение экологической безопасности, связано с безаварийной эксплуатацией причальных сооружений. В сложившейся ситуации контроль за их технико-эксплуатационным состоянием приобретает особую актуальность.

Опыт показывает, что большое значение для жизнедеятельности причалов в эксплуатационный период имеют наблюдения за их деформативным состоянием. В этом смысле, на наш взгляд, наиболее показательными являются причальные сооружения порта Южный, где практически все причалы охвачены наблюдениями за деформативным состоянием с начального периода эксплуатации.

Рассмотрим результаты циклических инструментальных наблюдений за причалами №№ 5-6 порта Южный за период 1986-2005 гг.

В принципиальном отношении геодезическая наблюдательная сеть должна представлять следующую систему [1, 2]. В верхнем строении исследуемого сооружения устанавливают деформационные наблю-

УРОВЕНЬ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ УКРАИНЫ (НА ПРИМЕРЕ ПОРТА ЮЖНЫЙ)

дательные марки – в одну или две линии параллельно кордону, образуя так называемые измерительные створы (марки располагаются на расстоянии 5-20 м друг от друга). На оконечностях сооружения, а также через каждые 70-100 м (как правило, по краям секций) устанавливают деформационные марки, выполняющие функции узловых наблюдательных пунктов (далее – НП). В тыловой зоне причалов, в местах наименее подверженных внешним силовым воздействиям, располагают группы опорных (базисных) грунтовых марок, относительно которых производят измерения горизонтальных смещений сооружения. Указанные марки вместе с переходными грунтовыми марками и НП образуют измерительные «поперечники», расположенные перпендикулярно створам наблюдательных деформационных марок. При этом в промежутке между опорными (базисными) марками и НП может устанавливаться любое (необходимое в зависимости от общего расстояния и имеющихся препятствий, мешающих прямой видимости) количество переходных грунтовых (или набетонных) марок при обязательном условии обеспечения прямой видимости хотя бы между двумя соседними марками.

В комплексе исследований планово-высотных деформаций причалов должны входить измерения длин поперечников, створные измерения, нивелирование наблюдательных марок, измерение горизонтальных углов [1]. В результате фиксируются высотные изменения конструкций причалов, отклонения в плане наблюдательных марок. Наблюдения за деформациями причалов проводятся циклически (первый цикл – «нулевые» измерения). Для измерения длин поперечников, как правило, используются светодальномеры, либо высокоточные электронные тахеометры, работающие по схеме «приемопередатчик – оптический отражатель». По изменениям длин поперечников можно судить о горизонтальных смещениях НП и, в конечном счете, о смещениях секций причалов. Определение горизонтальных проекций между исследуемыми точками производится с учетом их вертикальных отметок, полученных в результате нивелирования поперечников. Абсолютные горизонтальные смещения точек НП определяются по разности показаний между «нулевым» и последующими циклами измерений. Отклонения в плане от линии створов набетонных марок, расположенных между точками НП, определяются методом створных измерений при помощи специальных ординатометров и высокоточных теодолитов.

Упомянутое выше рассмотрим на конкретных примерах.

Причалы для навалочных грузов №№ 5-6 (для обработки угля, руды и других навалочных грузов) построены в 1981-1987 гг. Общая протяженность – 698,5 м, проектная отметка кордона – 2,5 м, отметка дна – минус 14,0 м (с перспективой углубления до минус 19,0 м). В конструктивном отношении причалы однотипны, представляют собой заанкеренный больверк из металлического шпунта Ларсен V, погруженного до отметок

**УРОВЕНЬ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ
ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ УКРАИНЫ
(НА ПРИМЕРЕ ПОРТА ЮЖНЫЙ)**

минус 27,0-минус 27,8 м. Боковое давление грунта экранируется тремя рядами свай из металлических труб:

- кордонным (диаметр свай 920х12 мм, шаг – 1,68 м);
- промежуточным (диаметр свай 920х12 мм, шаг – 3,36 м);
- тыловым (диаметр свай 720х11 мм, шаг – 3,36 м).

Шпунтовая стенка и свайное поле объединены общим ростверком.

Анкерная система: анкерные тяги диаметром 90 мм, расположены с шагом 3 м, крепятся к консоли анкерного ростверка, образованного козловой и полукозловой опорами из свай диаметром 720х11 мм, погруженных с шагом 3,36 м. Надстройка выполнена из железобетона, тыловой частью опирается на прикордонный ряд свай, кордонной – на поддерживающие сваи.

Инженерное обследование причалов (надводное и подводное освидетельствование конструкций, подводное обследование примыкающей акватории) включает:

- установку наблюдательной и опорной сети;
- выполнение циклических наблюдений за осадками и горизонтальными смещениями причалов по установленным маркам наблюдательной сети;
- комплексный анализ результатов исследований технического и деформированного состояний причалов [3].

Для измерения длин поперечников использован светодальномер "Топаз" СП 2. Створными измерениями фиксируется положение линии кордона причалов в плане в пределах точек НП (выполняются при помощи теодолита ЗТ2 КП и специального ординатомера методом подвижной марки). Возможные осадки определяются по продольным и поперечным створам геометрическим нивелированием по замкнутым полигонам, с использованием нивелиров Н-1; 2НЗЛ. Для контроля планового положения угловых наблюдательных марок и НП относительно опорных марок и жестких ориентиров методом угловых засечек используется теодолит ЗТ2 КП.

Опорная геодезическая сеть на причалах представлена шестью поперечниками, расположенными перпендикулярно линии кордона (пересекают три створа – кордонный, тыловой в нижней части склона, тыловой в верхней части склона). Каждый поперечник включает наблюдательный пункт (НП) непосредственно на причале, три опорных пункта в нижней части склона, одну опорную марку на верхней части склона и четыре-пять грунтовых марок в тыловой зоне.

В процессе исследований получены следующие основные результаты.

За весь период наблюдений (1986-2005 гг.) наибольшие величины осадок (до 64 мм) и горизонтальных смещений в сторону акватории (до 164 мм) зафиксированы по секциям 1-3; по секциям 4-8 осадки – в преде-

**УРОВЕНЬ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ
ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ УКРАИНЫ
(НА ПРИМЕРЕ ПОРТА ЮЖНЫЙ)**

лах 39-44 мм, горизонтальные смещения – в пределах 45-73 мм; по секциям 9-11 осадки – до 20 мм, горизонтальные смещения – до 40 мм.

Средняя скорость горизонтальных смещений составляет: по секциям 2-3 – порядка 8 мм/г.; секциям 1, 4 – до 4 мм/г., по остальным секциям – до 2 мм/г..

За период 2001-2005 гг. по секциям 2-3 величина осадок – до 20 мм, горизонтальных смещений – до 35 мм; по остальным секциям осадки практически отсутствуют, горизонтальные смещения – до 10 мм.

Основные результаты исследований приведены на рис.

На основании комплексного анализа технического и деформативного состояний причалов:

- подтверждена проектная схема допускаемых эксплуатационных нагрузок;
- по дефектным ведомостям определены объемы и номенклатура ремонтно-восстановительных работ;
- рекомендована цикличность наблюдений за деформативным состоянием причалов – один раз в год.

Выводы

В результате комплексного подхода к оценке уровня технико-эксплуатационного состояния воднотранспортных сооружений морских портов и, в частности, причальных сооружений представляется возможным своевременно обнаружить появление чрезмерных деформаций или определить начальную стадию разрушения отдельных элементов, предотвратив тем самым причины, вызывающие эти явления.

Таким образом, на основании полученных данных может быть дана интегральная оценка фактической несущей способности конструкций, а также разработаны рекомендации по продлению срока службы и обеспечению надежной эксплуатации воднотранспортных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Інструкція з інженерних обстежень і паспортизації портових гідротехнічних споруд (НД 31.3.002-2003). – Одеса, 2003. – 229 с.
2. Правила технической эксплуатации портовых гидротехнических сооружений (НД 31.3.003-2005). – Одесса, 2005. – 91 с.
3. Пойзнер М.Б., Постан М.Я. Эксплуатационная надежность причальных сооружений. Вероятностные методы исследования. – Одесса: АстроПринт, 1999. – 148 с.

Надійшла 25.12.09

FEATURES OF LAYTIME CALCULATION DURING AN ANNOUNCEMENT OF ICE CAMPAIGN IN PORT

В статье рассмотрены варианты расчета стальнойго времени при объявлении ледовой кампании в порту. Даны предложения по защите интересов судовладельца при заключении чартера.

У статті розглянуті варіанти розрахунку сталійного часу при оголошенні льодовій кампанії в порту. Надані пропозиції по захисту інтересів судовласника при укладенні чартеру.

The article contains variants of laytime calculation that are considered in the case of announcing an ice campaign in the port. Suggestions for chartering a vessel upon shipowner's interest protection are given.

Ключевые слова: чартер, стальнойное время, ледовая кампания.

In a charter it is the responsibility of the charterer to send the ship to a safe port. A port which is "ice-bound" or in which ice conditions can cause damage to the ship, may not be a "safe port". To confirm the protection for the shipowners a protective clause dealing with ice conditions is inserted in the charterparty (C/P).

Accordingly a charterparty must contain appropriate clauses that protect the shipowner from ice hazards and insurance problems that could results from trading in ice conditions. Moreover, the laytime clause must contain protection for both parties if the loading and/or discharging is likely to be delayed because of ice.

Let's consider features of laytime calculation in the port, in the case of announcing an ice campaign.

It is known that laytime calculating requires a familiarity with a time sheet and perhaps also and statement of facts (SOF). The purpose of calculating laytime is not only to calculate the time during which the vessel is made available to the charterer for loading and/or discharging but also to calculate demurrage or dispatch if there is time lost or saved.

The generally accepted practice provides for, that after announcing an ice campaign in port by harbormaster, a vessel that intends to enter such a port, approaching to the ice edge, gives a notice about its approach and stands by for instructions on forming a caravan for proceeding behind an ice-breaker to the port.

We shall consider some examples of additional clauses to charterparty, related to calculating the laytime during an announcement of an Ice Campaign in port.

Ice Clause variants in different C/P:

1. Time lost waiting for ice-breaker's assistance exceeding 24 running hours on SSHINC basis in and 24 running hours on SSHINC basis out (non reversible) shall be at charterers' account.

FEATURES OF LAYTIME CALCULATION DURING AN ANNOUNCEMENT OF ICE CAMPAIGN IN PORT

If the vessel will have to wait for the ice breaker to sail from load port, master to report about waiting time to load port agents and they to file it in the SOF.

2. Inwards ice-breaker waiting time to count between the vessel's arrival at the ice edge and the departure time of the inwards of ice-breaker convoy and to resume as per 0800/1400 hours formula, when the vessel arrives at load port and duly tenders notice of readiness (NOR) time lost for shifting from waiting place to the ice-breaker meeting point not to count.

The outwards ice-breaker waiting time to count between the time when all cargo documents are ready and the departure time of the outwards ice-breaker convoy. Three hours for vessel's passing through all port sailing procedures to be excluded from outwards waiting time.

3. In case of ice condition come into force NOR to be tendered /accepted from edge of ice or place of forming ice-convoy but time lost for proceeding to port not to count as laytime.

4. In the event that Ice Campaign has been declared by the Harbor master's order, the NOR is to be tendered as per charterparty from the ice edge or from the ice convoy waiting place.

Time for waiting for ice breaker assisted convoy exceeding 24 running hours on SSHINC basis to leave the loading port (reversible) shall be at charterers' account and is to be paid at demurrage rate.

Time for waiting for ice-breaker assisted convoy in if any is to start counting at 1400 hours if NOR is given from the ice edge or ice convoy waiting place up to and including 1200 hours and at 0800 hours next working day if the same is given during office hours after 1200 hours. Laytime is to start counting up to vessel arrival at the loading port roads.

5. Time for waiting ice breaker inwards/outwards assistance in excess 24 running hours "in" and 24 hours "out" to count as laytime and payable on basis demurrage rate.

If the vessel will have to wait for the ice-breaker at the ice edge to call load port, report from the vessel's log endorsed by load port agent to be considered evidencing document.

If the vessel will have to wait for the ice-breaker to sail from load port, master to report about waiting time to load port agents and they to file it in the SOF.

Inwards ice-breaker waiting time to count between the vessel's arrival at the ice edge and the departure time of the inwards of ice-breaker convoy and to resume as per 0800/1400 hours formula, when the vessel arrives at load port and duly tenders NOR time lost for shifting from waiting place to the ice-breaker meeting point not to count.

Outwards ice-breaker waiting time to count between the time when all cargo documents are ready and the departure time of the outwards ice-breaker convoy. Three hours for vessel's passing through all port sailing procedures to be excluded from outwards waiting time.

FEATURES OF LAYTIME CALCULATION DURING AN ANNOUNCEMENT OF ICE CAMPAIGN IN PORT

Charterers not to bear responsibility for vessel's waiting for the inwards ice-breaker if master fails to tender 3/2/1 day notices of estimated time of arrival (ETA) to load port agents.

As it seen from the indicated examples, expressly certain principle of laytime calculation is not foreseen, and in one or other case calculations are made variously.

In an order to set single principles of calculation, it is necessary to answer the followings questions to C/P proforma based on "GENCON":

1. Where NOR is given, which notice is it?
2. When does 24 hours countdown start in expectancy of an ice-breaker?
3. What happens after 24 hours - laytime or time on demurrage?
4. When the 8/14 rule comes to act and whether it operates at all?
5. Until which moment laytime operates?
6. When does "once on demurrage always on demurrage" rule begin and until when it operates?
7. From which moment 24 hours in expectancy of ice-breaker begin, when leaving the port?
8. What starts or proceeds after 24 hours – "laytime" or "time on demurrage"?
9. What document is recommended for use to prove outages in expectancy of ice-breaker during motion to the charterer?
10. The meaning of «non reversible» in the ice condition?

We shall define foremost, what is NOR and when such a notice is given by the master.

During a voyage charter various notices may be required to be given by the shipowner (or the master, on his behalf) to the charterer - "Notice of Readiness to load date" and "Notice of Arrival". Notice of Readiness is defined in the "Charterparty Laytime Definitions 1980" as: "Notice to the charterer, shipper or other person as required by the charter that the ship has arrived at the port or berth as the case may be and is ready to load / discharge".

Therefore, two variants of calculation are possible:

First variant, when a ship approaching edge of ice and the master provides NOA, whereupon the charterer is given set time in expectancy of ice-breaker, whereupon "Damages for detention" comes to act. "Damages" is the legal word for compensation or indemnity for loss suffered for and breach of contract. Damages can be "liquidated", that is, agreed by the parties as compensation. The obvious example of liquidated damages for delay is "demurrage". So in this particular case damages for detention waiting for ice-breaker assisted convoy considered on demurrage rate. Therefore it is recommended to bring in the followings stipulations into the charter.

Recommendations of Laytime Calculation in declared Ice Campaign.

FEATURES OF LAYTIME CALCULATION DURING AN ANNOUNCEMENT OF ICE CAMPAIGN IN PORT

Case A:

1. As soon, as the vessel arrives ice-edge NOA to be tendered.
2. Charterers are given inward 24 hours (including time for forming ice-convoy) free.
3. The delay of the vessel exceeding 24 hours is paid by the charterers as demurrage rate.
4. The moment vessel arrives port outer roads NOR to be tendered.
5. After NOR is tendered usual clause 8/14 incorporates.
6. Laytime to be counted till "cargo documents on board".
7. After completion of cargo operations and etc., the vessel tenders its readiness for sailing.
8. Charterers are given outward 24 hours (including time for forming ice-convoy).
9. The delay of the vessel exceeding 24 hours is paid by the charterers as demurrage rate.
10. All calculation to be on "non reversible" basis.

In case if a ship approaching edge of ice gives usual NOR, laytime begins on traditional rules, i.e.:

Case B:

1. As soon as the vessel arrives ice-edge NOR to be tendered (clause 8/14 to be apply).
2. Charterers are given inward 24 hours (including time for forming ice-convoy) free.
3. Laytime to be counted till vessel sails from the port.
4. Charterers are given outward 24 hours (including time for forming ice convoy) free even on demurrage.

For protection of shipowner's interests it is recommended to enter reservations that the calculation is possible on any alternative and the decision is in shipowner's option.

BIBLIOGRAPHY

1. Norman J. Lopez. *Bes` Chartering and Shipping Terms*. – London: Barker & Howard Ltd., 1992. – 641 p.
2. Alan E. Branch. *Elements of Shipping (Sixth edition)*. – London, New York: Chapman and Hall., 1989. – 484 p.
3. Alan E. Branch. *Economics of Shipping Practice and Management (Second edition)*. - Chapman and Hall, London, New York, 1988. –360 p.
4. Recommended The Baltic and International Maritime Conference Uniform General Charter (BIMCO).

Надійшла 05.04.10

ПОНЯТИЕ ИНТЕГРАЦИИ В ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Рассматривается понятие интеграции в транспортных системах, а также предлагается алгоритм оценки уровня интеграции объектов транспортной системы.

Розглядається поняття інтеграції в транспортних системах, а також пропонується алгоритм оцінки рівня інтеграції об'єктів транспортної системи.

Definition of integration in transport systems is reviewed. Algorithm of estimation of level of transport systems objects integration is proposed.

Ключевые слова: интеграция, транспортная система, уровень интеграции.

Понятие «интеграция» является наиболее часто используемым для повышения эффективности производственно-сбытовых отношений на международных рынках. Появившись в политико-экономическом словаре современности, оно первоначально относилось к процессам объединения Западноевропейских государств. В настоящее время понятие «интеграция» находит свое применение для обозначения процессов расширяющегося взаимодействия между объектами различных иерархических уровней. Так, кроме широко известного Европейского Союза, существует несколько блоков интеграционного характера, которые могут быть отнесены к примерам региональной интеграции: НАФТА, АТЭС, АСЕАН, СНГ и др. В мировой практике сложились разнообразные типы интеграции компаний, различающиеся в зависимости от целей сотрудничества, характера отношений между их участниками, степени самостоятельности входящих в объединение субъектов. Это стратегические альянсы, консорциумы, картели, синдикаты, пулы, ассоциации, корпорации, конгломераты, тресты, концерны, холдинги, ФПГ, интегрированные бизнес-группы и т.п. Сегодня происходит расширение многообразия форм объединений, характер взаимосвязей между компаниями становится все более сложным. В транспортной отрасли наблюдаются серьезные изменения, связанные с внедрением базовых принципов ведения бизнеса, основу которых составляет концепция формирования взаимодействующих структур.

Сложность и многоаспектность современных интеграционных процессов подчеркивает важность:

1) исследования методологических основ интеграции производственно-транспортных структур;

2) обоснования концептуальных основ формирования интеграционных образований путем сравнения мировой и отечественной практики использования различных форм интеграции; 3) обоснования направлений развития транспортной отрасли путем оценки существующего уровня интеграции.

ПОНЯТИЕ ИНТЕГРАЦИИ В ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Основополагающие подходы к исследованию природы интеграционных процессов были заложены в трудах представителей различных школ и направлений экономической теории: Дж. Гелбрейта, Н.Д. Кондратьева, А.А. Богдановна, А. Маршалла [1-4] и др. Специфические особенности и логика развития интеграционных процессов достаточно полно представлены в трудах И. Ансоффа, Р. Аккофа, Ю.Б. Винслава, П. Го- хана [5-8] и др.

Критический анализ исследований в области интеграции на транспорте показывает, что они содержат немало дискуссионных и нерешенных вопросов, отражающих недостаточную степень познания затронутых проблем, в частности, отсутствует методологический подход к типологизации интеграционных образований, оценке эффективности интеграции, учитывающей такие требования к синергетическим результатам интеграции, как снижение общих издержек, наращивание конкурентных преимуществ, и т.п. В большинстве исследований рассматривается статическое положение предприятия, не учитывается динамика развития и возможные трансформации; имеющиеся публикации в основном касаются отдельных сторон формирования и развития интеграционных образований. Практически отсутствует методика оценки уровня интеграции.

Целью настоящей статьи является теоретическое осмысление процессов интеграции в транспортной отрасли, через обзор современных подходов к феномену интеграции.

В теории экономической интеграции выделяется ряд направлений, отличающихся, прежде всего, разными оценками интеграционного механизма. Это неолиберализм, корпорационализм, структурализм, неокейнсианство и дирижизм.

Представители раннего н е о л и б е р а л и з м а (1950-1960 гг.) – швейцарский экономист Вильгельм Репке и француз Морис Аллэ под полной интеграцией понимали создание единого рыночного пространства в масштабе нескольких стран, функционирование которого осуществляется на основе действия стихийных рыночных сил и свободной конкуренции, независимо от экономической политики государств, существующих национальных и международных правовых актов. Вмешательство же государства в сферу международных экономических отношений приводит, по их мнению, к таким негативным явлениям, как инфляция, разбалансированность международной торговли, проблемы платежей.

Однако развитие международной экономической интеграции и формирование при активном участии государств региональных межгосударственных союзов показали несостоятельность взглядов ранних неолибералов. Представитель позднего неолиберализма – американский ученый Бела Баласса, рассматривал проблему интеграции в несколько иной плоскости: ведет ли экономическая интеграция к более интенсивному участию государства в экономических делах. Большое внимание уделялось эволюции интеграции, происходящей на основе как экономических, так и политических процессов.

ПОНЯТИЕ ИНТЕГРАЦИИ В ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В середине 60-х гг. возникло направление *корпорационализма*, представители которого – американские экономисты Сидней Рольф и Юджин Ростоу выявили новый стержень интеграции. Они считали, что в противоположность рыночному механизму и государственному регулированию функционирование транснациональных компаний способно обеспечить интегрирование международной экономики, ее рациональное и сбалансированное развитие.

Представители *структурализма* – шведский экономист Гуннар Мюрдаль и др. критически отнеслись к идее полной либерализации движения товаров, капитала и рабочей силы в интегрируемом пространстве, считая, что свободное функционирование рыночного механизма может привести к определенным диспропорциям в развитии и размещении производства, углублению неравенства в доходах. Экономическая интеграция рассматривалась ими как глубокий процесс структурных преобразований в экономике интегрирующихся стран, в результате которых возникает качественно новое интегрированное пространство, более совершенный хозяйственный организм. По их мнению, полюсами развития интеграции являются крупные фирмы, промышленные компании, целые отрасли промышленности.

В 70-х гг. широкое распространение получили идеи *неокейнсианства*, представители которого – американский экономист Ричард Купер и др. – в частности, считали, что центральная проблема международного экономического сотрудничества состоит в том, как уберечь многообразные выгоды широкого международного экономического взаимодействия от ограничений и в то же время сохранить максимальную для каждой страны степень свободы. Неокейнсианцы выдвинули два возможных варианта развития международной интеграции: первый – интеграция с последующей утратой национальной свободы, но обязательным согласованием экономических целей и политики; второй – интеграция с условием сохранения как можно больше национальной автономии. Предполагая, что ни один из этих вариантов не может быть представлен в чистом виде, они считали необходимым их оптимальное сочетание путем согласования внутренней и внешней хозяйственной политики интегрирующихся сторон.

Разновидностью неокейнсианского направления является *дирингизм*, теоретики которого также отрицают решающую роль в интеграционных процессах рыночного механизма и считают, что создание и функционирование международных экономических структур возможно на основе разработки интегрирующимися сторонами общей экономической политики, согласования социального законодательства, координации кредитной политики. Данное направление экономической мысли представлено голландским ученым Яном Тинбергеном.

Итак, интеграция – в общем случае обозначает объединение, взаимопроникновение. Объединение каких-либо элементов (частей) в целое. Процесс взаимного сближения и образования взаимосвязей.

ПОНЯТИЕ ИНТЕГРАЦИИ В ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Отличительными признаками интеграции являются:

- взаимопроникновение и переплетение производственных процессов;
- структурные изменения в экономических отношениях участников;
- необходимость и целенаправленное регулирование интеграционных процессов.

Различают следующие уровни интеграции:

- макроэкономический (интеграция на государственном уровне);
- микроэкономический (межфирменные объединения).

Основными преимуществами, имеющими место в интеграционных процессах, являются:

- увеличение размеров рынка – проявление эффекта масштаба производства;
- усиление конкуренции, как между отдельными предприятиями, так и между различными производственными объединениями;
- развитие условий процессов ресурсного обмена между странами;
- развитие торговых взаимоотношений параллельно с улучшением инфраструктуры товарораспределительной системы;
- распространение новейших технологий.

Отрицательные последствия:

- для более слабых участников это приводит к оттоку ресурсов (факторов производства), идет перераспределение в пользу более сильных партнеров;
- возможен олигопольный сговор между участниками, который способствует повышению цен на товары и услуги;
- эффект потерь от увеличения масштабов производства.

Определяющую роль в формировании и последующем развитии корпоративных структур в транспортной отрасли играют организация и выбор наиболее рациональной формы интеграции. Основой интеграции транспортных компаний является разработка организационной и инвестиционной составляющих механизма их объединения с учетом социально-экономических последствий этих действий для участников корпорации.

Как известно, выделяют вертикальную, горизонтальную, круговую интеграции и интеграцию предприятий, производящих дополняющие друг друга товары или услуги. При вертикальной интеграции предприятия объединяются от поставщиков до закупщиков, в идеале охватывая всю цепочку от добывающего ресурсы предприятия, до торговой сети, продающей готовый продукт конечному потребителю. Горизонтальная интеграция предусматривает объединения предприятий одной отрасли. Круговая интеграция предприятий охватывает предприятия разных отраслей, что снижает несистемные риски потери доходности.

ПОНЯТИЕ ИНТЕГРАЦИИ В ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Вертикально интегрированные компании объединены через иерархию с общим владельцем. Обычно каждый член иерархии производит различный продукт или услугу для удовлетворения общих потребностей.

Для большинства вертикально интегрированных объединений характерна следующая цепочка: сбор продукта, его переработка, сортировка, упаковка, хранение, транспортировка и, наконец, продажа продукта конечному потребителю. Компания, контролирующая все или несколько звеньев подобной цепи, будет вертикально интегрированной. Вертикальная интеграция это противоположность горизонтальной интеграции.

Горизонтальная интеграция происходит тогда, когда одна фирма берет под контроль или поглощает другую фирму, находящуюся в той же отрасли и на той же ступени производства, как и поглощающая фирма.

К примеру, один перевозчик берет под контроль другого перевозчика, в данном случае они находятся на одной ступени производства и в одной и той же отрасли.

Современная практика создания и функционирования взаимодействующих структур свидетельствует, что пока еще не разработан в полной мере организационно-экономический механизм управления данными процессами, отсутствует аппарат, позволяющий определить текущий и оптимальный уровни интеграции для конкретных отраслей.

Оценить уровень интеграции объектов транспортной системы можно при помощи следующего математического выражения:

$$\frac{\sum_{i=1}^m I_i}{\sum_{i=1}^m I_{i \max}} \cdot 100 \quad (1)$$

где N – показатель уровня интеграции транспортной системы;

I_i – фактический уровень интеграции объектов i -го уровня иерархии системы;

$I_{i \max}$ – максимальная интеграция объектов i -го уровня иерархии системы.

Фактический уровень интеграции объектов i -го уровня

$$I_i = \sum_{j=1}^n K_{ij} \cdot B_{ij}, \quad (2)$$

где K_{ij} – коэффициент значимости j -го объекта i -го уровня интеграции управленческих решений, который назначается экспертом;

B_{ij} – балл (рейтинг), определяющий фактическое состояние j -го объекта i -го уровня интеграции, находящийся в интервале $1 \leq B_{ij} \leq B_{ij}^{\max}$ при B_{ij}^{\max} – достигается максимальное значение.

ПОНЯТИЕ ИНТЕГРАЦИИ В ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Максимальная интеграция i -го уровня управленческих решений $I_{i\max}$ выражается следующей формулой:

$$I_{i\max} = \sum_{j=1}^n B_{ij\max} \cdot K_{ij}, \quad (3)$$

где $B_{ij\max}$ – максимальное значение балла.

Основными составляющими интеграции транспортного предприятия являются инновационная, ресурсная, инвестиционная, маркетинговая составляющие. Каждая из составляющих может оцениваться с помощью ряда качественных или количественных показателей-индикаторов.

Для предприятий транспортной системы оценкой уровня интеграции может служить рейтинг предприятия, рассчитанный по совокупности единичных критериев. Он определяется либо как статический показатель – «мгновенная фотография» положения дел на предприятии, либо как динамический – с учётом прогнозируемого изменения единичных критериев в будущем. Рейтинг предприятия характеризует его конкурентоспособность по отношению к другим предприятиям отрасли, а сила конкурентной позиции как раз и является наилучшим показателем уровня интеграции. Рейтинг предприятия предлагается рассчитывать в баллах по следующей формуле:

$$B_{ij} = \lambda_1 K_{ij}^1 + \lambda_2 K_{ij}^2 + \lambda_3 K_{ij}^3 + \lambda_4 K_{ij}^4, \quad (4)$$

где $K_{ij}^1, K_{ij}^2, K_{ij}^3, K_{ij}^4$ - комплексные показатели инновационной, ресурсной, инвестиционной, маркетинговой деятельности, баллы; λ_i – веса, $\sum \lambda_i = 1$ (вес каждого показателя может быть установлен экспертным путём либо задан в виде норматива).

Уровень интеграции, хотя и может считаться интуитивно понимаемой категорией, количественное выражение для неё пока что не найдено. Определённые шаги основываются на экспертных оценках. Оценка уровня интеграции является отправным пунктом стратегического планирования, показателем инвестиционной привлекательности и надёжности предприятий транспортной отрасли, характеристикой её жизнеспособности.

При оценке уровня интеграции ряд положений оценки пересекается с отдельными видами деятельности предприятий. Это касается, прежде всего, формулирования стратегических интересов предприятий и их количественной интерпретации. Положения оценки уровня интеграции объектов транспортной системы затрагивают область стратегического управления предприятиями, и если на предприятиях разработаны и приняты к реализации соответствующие функциональные стратегии (инновационная, ресурсная, инвестиционная, маркетинговая), то их цели должны корреспондироваться с формулировкой стратегических интересов предприятия в рассматриваемой функциональной области деятельности, а показа-

ПОНЯТИЕ ИНТЕГРАЦИИ В ТЕОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

тели, характеризующие цели стратегии, должны соответствовать количественной оценке стратегических интересов предприятия. Установление такого соответствия является очень важным, поскольку именно с его помощью обеспечивается эффективность управления транспортными предприятиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дж. Гелбрейт. *Новое индустриальное общество*. – М.: Прогресс, 1996. – 430 с.
2. Кондратьев Н. Д. *Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения*. – М.: Экономика, 2002. – 275 с.
3. Богданов Александр Александрович: *Собрание сочинений*. – http://az.lib.ru/b/bogdanow_aleksandr_aleksandrowich/.
4. Маршалл А. *Принципы экономической науки: Пер. с англ.* – М.: Прогресс, 1993. – 311 с.
5. *Стратегический синергизм*. – 2-е изд. / Э. Кемпбелл, К. Саммерс Лачс. – СПб.: Питер, 2003. – 416 с.
6. Акофф Р., Эмери Ф. *О целеустремленных системах*. – М.: ЛКИ, 2008. – 272 с.
7. *Корпоративные проблемы экономического реформирования России: Сб. науч. трудов / Под общ. ред. Ю.Б. Винслава*. – М.: ОАО «НПО Экономика», 2000. – 234 с.
8. Гохан П. *Слияния, поглощения и реструктуризация компаний / П.Гохан*. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. – 176 с.

Надійшла 03.03.2010

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ

Приведены исследования влияния «порога гравитации», обусловленного неравенством значений давления грунта в состоянии покоя, на условия работы и технико-экономические параметры подпорных стенок воднотранспортных сооружений.

Наведено дослідження впливу «порогу гравітації», обумовленого нерівністю значень тиску ґрунту в стані спокою, на умови роботи і техніко-економічні параметри підпірних стінок воднотранспортної споруд.

Researches of the influence of "gravity threshold" due to unequal values of earth pressure at rest, in terms of work and techno-economic parameters of retaining walls water transport facilities are carried out here.

Ключевые слова: боковое давление грунта, воднотранспортное сооружение, численное моделирование, порог гравитации, коэффициент трансформации.

На стадиях эксплуатации, реконструкции и ремонта воднотранспортных сооружений рассматривают различные сочетания нагрузок, соответствующие особенностям этих состояний сооружений. Боковое давление грунта в состоянии покоя, наряду с активным и пассивным давлениями, является одной из основных характеристик, используемых при анализе напряженно-деформированного состояния системы «подпорная стенка – грунтовая среда». Роль этого параметра особенно значительна при рассмотрении жестких или малодеформируемых воднотранспортных сооружений, перемещения или деформации которых недостаточны для реализации предельного напряженного состояния во взаимодействующих с ними грунтовых массивах.

В то же время следует отметить, что боковое давление грунта в состоянии покоя изучено пока недостаточно полно и всесторонне. Это подтверждается, например, тем фактом, что напряженное состояние грунта даже при неподвижной стенке может претерпевать трансформации в зависимости от направления и величины приложенной к подпорной стенке внешней нагрузки. Действующие в настоящее время нормативные документы – как международные (например, Еврокод 7. Часть 1. Общие положения по проектированию в геотехнике), так и отечественные – не дают каких-либо толкований отмеченным обстоятельствам. Впрочем, Еврокод 7 допускает использование неких «промежуточных» значений бокового давления грунта (когда смещения подпорной стенки недостаточны для мобилизации предельных значений), не давая обязательных жестких рекомендаций по методам их определения.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ

В ранее опубликованных исследованиях М.П. Дубровского [1-3] впервые было введено понятие «порога гравитации», обусловленного неравенством значений давления грунта в состоянии покоя, соответствующих потенциальному перемещению подпорной стенки в направлениях от грунта (при образовании распорного давления) и на грунт (при образовании отпорного давления).

До настоящего времени не были выполнены исследования, направленные на качественный и количественный анализ отмеченного фактора, всестороннюю оценку его влияния на условия работы и технико-экономические параметры подпорных стенок воднотранспортных сооружений, что обусловило актуальность рассматриваемой ниже проблематики.

На основании известных экспериментальных исследований, выполненных с применением высокоточной измерительной аппаратуры (например, опыты Р.В. Лубенова и П.И. Яковлева [1, 4]), можно считать по аналогии с образованием при смещениях сооружений поверхностей скольжения, ограничивающих призму распора или отпора, что давлению грунта на неподвижную стенку соответствует некоторая условная призма, отвечающая состоянию покоя. Давление, соответствующее начальному этапу формирования напряженного состояния грунта при потенциальном смещении в сторону на грунт, например, в начальный момент приложения к подпорной стенке внешней боковой нагрузки (назовем его «предотпорным» давлением), будет больше давления, соответствующего начальному этапу формирования напряженного состояния грунта при потенциальном смещении в направлении от грунта (назовем его «предраспорным»). Поскольку по характеру формирования и реализации «предотпорное» давление аналогично отпорному (в пределе - пассивному), то для вычисления его значений целесообразно применить расчетные зависимости отпорного давления, используя значения угла внутреннего трения грунта, соответствующие его текущему напряженно-деформированному состоянию.

Таким образом, напряженное состояние грунта на контакте с неподвижной подпорной стенкой в исследуемой модели описывается не точкой e_o на оси давлений (как в традиционном подходе), а отрезком, ограниченным снизу значением e_{oa} (давление покоя, определенное по зависимостям для распорного давления), а сверху – значением e_{op} (давление покоя, определенное по зависимостям для отпорного давления).

Таким образом, введенное понятие «порога гравитации» может быть описано следующим выражением:

$$\Delta e_o = e_{op} - e_{oa} ,$$

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ

где e_{op} и e_{oa} – боковые давления грунта в состоянии покоя, определенные соответственно по формулам для отпорного и распорного давления.

Представляется, что понятие «порог гравитации», как абсолютная величина, характеризующая разницу между различными давлениями в состоянии покоя, подходит для качественной иллюстрации исследуемого явления трансформации напряженного состояния грунта, взаимодействующего с подпорной стенкой. Более точной характеристикой, пригодной для количественной оценки этого процесса, может служить относительный параметр, назовем его коэффициентом трансформации, равный отношению рассматриваемых значений бокового давления грунта в состоянии покоя $K_t = e_{op} / e_{oa}$.

Как показывают расчеты, при неподвижной контактной грани подпорной стенки, а также при значениях u в окрестности нулевых перемещений разница между величинами начальных давлений e_{oa} и e_{op} может достигать нескольких сотен процентов и существенно влиять на условия работы всего сооружения. Соответственно значения коэффициента трансформации показывают во сколько раз увеличивается значение бокового давления грунта в состоянии покоя при начале смещения подпорной стенки в направлении к засыпке в результате приложения к сооружению внешней боковой нагрузки.

Основным отличием применения расчетных формул для определения бокового давления грунта на подпорную стенку в предельном (активное или пассивное давление) и допредельном (давление в состоянии покоя) состояниях является использование соответствующего текущему напряженно-деформированному состоянию грунта значения угла внутреннего трения. В первом случае применяют реальные, установленные стандартными способами, значения угла φ . Во втором же случае можно основываться на известных рекомендациях о назначении условного угла внутреннего трения φ_0 .

Методологически правильным представляется связать условный угол внутреннего трения грунта с реальными значениями этого угла. С этой целью может быть применена формула Яки [1] $K_o = 1 - \sin \varphi$, откуда может быть получена формула, связывающая условный и реальный углы внутреннего трения грунта, в виде $\varphi_0 = \arcsin [\sin \varphi / (2 - \sin \varphi)]$. В рассматриваемом интервале значений угла φ , характерном для большинства грунтов, используемых в качестве обратной засыпки подпорных стенок портовых причальных сооружений, величины условного угла внутреннего трения φ_0 составляют (0,61-0,65) φ ; в среднем угол φ_0 составляет 63 % от угла φ . Относительная разница между углами φ и φ_0 сокращается с ростом φ .

Рассмотрим воднотранспортное сооружение с подпорной стенкой гравитационного типа с вертикальной тыловой контактной гранью и го-

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ

ризонтовой незагруженной свободной поверхностью засыпки позади стенки.

При анализе бокового давления грунта в состоянии покоя на рассматриваемую конструкцию приняты следующие интервалы изменения указанных параметров, соответствующие как реальным физическим характеристикам несвязных (песчаных) грунтов, используемых в качестве обратной засыпки при строительстве портовых причальных сооружений на Черноморско-Азовском бассейне, так и принятым в проектной практике соотношениям между углами φ и δ

$$\varphi = 22^\circ, 24^\circ, 26^\circ, 28^\circ, 30^\circ, 32^\circ;$$

$$\delta = 0; 0,25 \varphi; 0,5 \varphi; 0,75 \varphi; \varphi.$$

Учитывая геометрические параметры рассматриваемой системы «подпорная стенка-грунтовая среда» и однородность последней, результирующая бокового давления грунта на сооружение может быть получена из известного выражения

$$E = 0,5 \gamma h^2 K,$$

где γ – удельный вес грунта;

h – высота вертикальной контактной грани подпорной стенки;

K – коэффициент бокового давления грунта.

Для обеспечения большей наглядности и универсальности анализа, боковое давление, обусловленное весом грунта засыпки, удобно выражать в безразмерной форме

$$e = E / (0,5 \gamma h^2),$$

где e – безразмерная (приведенная) сила бокового давления грунта, численно равная коэффициенту соответствующего бокового давления (активного, пассивного, в состоянии покоя).

Еще одним параметром, полезным при анализе рассматриваемых процессов трансформации бокового давления, является соотношение между предельным давлением (активным либо пассивным) и соответствующим давлением в состоянии покоя e_{oa}/e_a и e_p/e_{op} (принятая форма записи позволяет в обоих случаях оперировать соотношениями, большими единицы).

В настоящей работе численный анализ исследуемых вопросов выполнен с учетом гипотез как о плоских, так и о криволинейных поверхностях скольжения в массиве грунта, прилегающем к подпорной стенке. Это

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ

позволило повысить объективность анализа и сделать более обоснованные выводы и сопоставления.

Основные качественные и количественные результаты численного анализа бокового давления грунта в состоянии покоя на подпорную стенку позволяют сделать следующие выводы.

Основной качественный вывод по характеру влияния заключается в том, что с ростом величины угла внутреннего трения грунта на порог гравитации значения «порога гравитации» и, соответственно, коэффициента трансформации возрастают. В терминах коэффициента бокового давления грунта это увеличение в рассмотренном интервале значений угла внутреннего трения грунта происходит от 1,10 до 1,61 при отсутствии контактного трения ($\varphi = 0$) и от 1,81 до 3,30 при полном контактном трении ($\delta = \varphi$) в случае использования гипотезы о плоских поверхностях скольжения. При рассмотрении криволинейных поверхностей скольжения увеличение «порога гравитации» происходит от 1,10 до 1,61 при отсутствии контактного трения ($\delta = 0$) и от 1,71 до 2,91 при полном контактном трении ($\delta = \varphi$). Скорость роста «порога гравитации» для крайних значений рассмотренного интервала значений угла внутреннего трения (отношение $\Delta e(\varphi = 32^\circ)/\Delta e(\varphi = 24^\circ)$) увеличивается с ростом значений угла контактного трения от 1,46 ($\delta = 0$) до 1,82 ($\delta = \varphi$) в случае использования гипотезы о плоских поверхностях скольжения. При рассмотрении криволинейных поверхностей скольжения скорость роста «порога гравитации» увеличивается с ростом значений угла контактного трения от 1,5 ($\delta = 0$) до 1,7 ($\delta = \varphi$).

В терминах коэффициента трансформации увеличение последнего в рассмотренном интервале значений угла внутреннего трения грунта происходит от 2,80 до 4,36 при отсутствии контактного трения ($\delta = 0$) и от 4,45 до 8,93 при полном контактном трении ($\delta = \varphi$) в случае использования гипотезы о плоских поверхностях скольжения. При рассмотрении криволинейных поверхностей скольжения увеличение коэффициента трансформации происходит от 2,80 до 4,36 при отсутствии контактного трения ($\delta = 0$) и от 4,10 до 7,66 при полном контактном трении ($\delta = \varphi$). Скорость роста коэффициента трансформации для крайних значений рассмотренного интервала значений угла внутреннего трения (отношение $K_t(\varphi = 32^\circ)/K_t(\varphi = 24^\circ)$) увеличивается с ростом значений угла контактного трения от 1,56 ($\delta = 0$) до 2,01 ($\delta = \varphi$) в случае использования гипотезы о плоских поверхностях скольжения. При рассмотрении криволинейных поверхностей скольжения скорость роста коэффициента трансформации увеличивается с ростом значений угла контактного трения от 1,56 ($\delta = 0$) до 1,87 ($\delta = \varphi$).

Основной качественный вывод по характеру влияния угла контактного трения δ на «порог гравитации» заключается в том, что с ростом величины угла контактного трения значения «порога гравитации» и, соответственно, коэффициента трансформации, возрастают.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ

В терминах коэффициента бокового давления грунта в случае использования гипотезы о плоских поверхностях скольжения это увеличение, например, для значения угла внутреннего трения $\varphi = 30^\circ$ составляет 1,93 раза ($\Delta e = 1,464$ при $\delta = 0$ и $\Delta e = 2,830$ при $\delta = \varphi$). При других значениях угла φ рост порога Δe в рассмотренном интервале значений угла контактного трения находится в пределах 1,68 ($\varphi = 24^\circ$) - 2,05 ($\varphi = 32^\circ$). При рассмотрении криволинейных поверхностей скольжения рост значений «порога гравитации» например, для значения угла внутреннего трения $\varphi = 30^\circ$ составляет 1,74 раза ($\Delta e = 1,46$ при $\delta = 0$ и $\Delta e = 2,54$ при $\delta = \varphi$). При других значениях угла φ рост порога Δe в рассмотренном интервале значений угла контактного трения находится в пределах 1,59 ($\varphi = 24^\circ$) - 1,81 ($\varphi = 32^\circ$).

В терминах коэффициента трансформации увеличение последнего в случае использования гипотезы о плоских поверхностях скольжения, например, для значения угла внутреннего трения $\varphi = 30^\circ$ составляет 1,9 раза ($K_t = 3,890$ при $\delta = 0$ и $K_t = 7,395$ при $\delta = \varphi$). При других значениях угла φ рост коэффициента трансформации в рассмотренном интервале значений угла контактного трения находится в пределах 1,59 ($\varphi = 24^\circ$) - 2,047 ($\varphi = 32^\circ$). При рассмотрении криволинейных поверхностей скольжения рост значений коэффициента трансформации, например, для значения угла внутреннего трения $\varphi = 30^\circ$, составляет 1,67 раза ($K_t = 3,888$ при $\delta = 0$ и $K_t = 6,50$ при $\delta = \varphi$). При других значениях угла φ рост коэффициента трансформации в рассмотренном интервале значений угла контактного трения находится в пределах 1,46 ($\varphi = 24^\circ$) - 1,76 ($\varphi = 32^\circ$).

Следует также отметить влияние угла контактного трения на соотношение бокового давления грунта в состоянии покоя и предельного (активного или пассивного) давления. Как следует из полученных данных, влияние угла δ при реализации распорного давления весьма незначительно (в пределах 1 %). В то же время, при образовании отпорного давления это влияние достаточно существенно (от 20 % до 40 % в зависимости от угла φ). Качественный и количественный характер указанных зависимостей для активного и пассивного давлений виден из графиков, приведенных на рис. 13, 14 и 15, 16 соответственно.

Как известно, значения распорного (активного) давления, вычисленные при плоских и криволинейных поверхностях скольжения отличаются незначительно, а значения отпорного (пассивного) давления получаются более точными (т.е. более соответствующими опытными данным) при использовании криволинейных поверхностей скольжения. В связи с этим представляется целесообразным рекомендовать при оценке давления грунта в состоянии покоя (как «предраспорного», так и «предотпорного»), в том числе таких параметров как «порог гравитации» и коэффициент трансформации, также применять формулы, соответствующие криволинейным поверхностям скольжения.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ

Областью практического применения исследуемого эффекта может стать проектирование и анализ технического состояния при эксплуатации, реконструкции и ремонте воднотранспортных сооружений, включающих в свой состав малодеформируемые (жесткие) подпорные стенки. Подразумевается, что деформации (перемещения) рассматриваемых конструкций настолько малы (или недопустимы по условиям эксплуатации), что реактивным давлением грунта в отпорной зоне следует считать давление в состоянии покоя (например, при заполнении водой камеры шлюза или сухого дока, при навале судна на причал гравитационного типа и т.п.).

Введение в рассмотрение таких понятий как «предраспорное» и «предотпорное» боковое давление грунта в состоянии покоя, позволяет учитывать потенциальное направление смещений и деформаций сооружения после приложения к нему внешних нагрузок.

Для оценки различия между «предраспорным» и «предотпорным» боковым давлением грунта в состоянии покоя введены такие параметры, как «порог гравитации» и коэффициент трансформации. Эти параметры могут иметь важное значение при проектировании малодеформируемых подпорных стенок, так как показывают на сколько и во сколько раз «предотпорное» боковое давление грунта в состоянии покоя, которое ранее вообще не учитывалось при проектировании рассматриваемых сооружений, превышает «предраспорное» давление, аналог которого ранее принимался как боковое давление грунта в состоянии покоя независимо от направления действия внешней нагрузки, вызывающей последующие перемещения или деформации сооружения.

Поскольку «предотпорное» боковое давление грунта в состоянии покоя может превышать «предраспорное» давление в разы (в интервале от трех до восьми раз в зависимости от соотношения исходных данных, характеризующих прочностные свойства грунта), учет введенных в рассмотрение параметров может существенно повысить точность проектирования и расчета конструкций в виде подпорных стенок, а, значит, повлиять на надежность и технико-экономические параметры сооружений.

На основе численного моделирования выявлено и изучено качественное и количественное влияние основных исходных данных на величины бокового давления грунта засыпки на подпорную стенку сооружения: угла внутреннего трения засыпки и угла контактного трения. Установлено, что рост обоих углов сопровождается увеличением как «порога гравитации», так коэффициента трансформации. Определены интервалы соответствующих изменений параметров бокового давления грунта. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по оптимальному применению расчетных зависимостей и расчетных моделей, используемых при проектировании рассматриваемых сооружений.

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ, РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТЕ**

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаев В.Т., Дубровский М.П., Яковлев П.И., Штефан А.В. Конструкции сухих доков и их взаимодействие с грунтом. – М.: НЕДРА, 2001. – 372 с.
2. Дубровский М.П. Определение бокового давления грунта на подпорную стенку с учетом кинематики сооружения// Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1994. – № 2. – С.5-8.
3. Дубровский М.П. Определение бокового давления грунта на подпорные стенки при неплоских поверхностях скольжения с учетом кинематических факторов// Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1997. – № 1. – С.13-18.
4. Лубенов Р.В., Яковлев П.И. Исследование давление грунта с равномерно-распределенной нагрузкой на неподвижную стенку // Сб. научн. тр. "Гидротехника". – М.: Морской транспорт, 1962. – Вып. 2. – С.79-87.

Надійшла 25.01.10

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УКРАИНЫ

Рассмотрены современные подходы к оценке эксплуатационных параметров основных сооружений инфраструктуры морских портов – причальных сооружений. Выполненные расчеты и их анализ продемонстрировали эффективность проведенных комплексных исследований на объектах морского торгового порта Южный.

Розглянуто сьогоденні підходи до оцінки експлуатаційних характеристик інфраструктури морських портів. Розрахунки продемонстрували ефективність заходів щодо проведення комплексних досліджень на об'єктах морського торговельного порту Південний.

Modern approaches to assessment of operational parameters of main facilities of sea ports infrastructure – quay walls – are considered. Fulfilled calculations and their analysis shown effectiveness of provided complex researches at the facilities of Sea Commercial Port of Yuzhny.

Ключевые слова: эксплуатация, портовая инфраструктура, срок службы, причал, деформации

Портовые гидротехнические сооружения являются одним из основным элементов портовой инфраструктуры как таковой. Вместе с тем, контроль эксплуатационных параметров сооружений напрямую связан с их фактическими техническим и деформированным состояниями. Особую актуальность это приобретает в условиях, когда срок службы абсолютного большинства причалов портов Украины составляет 30-40 лет и приближается к нормативному либо превышает его.

Ниже рассмотрен ряд практических подходов, направленных на комплексное исследование безопасного функционирования причального фронта портов Украины. В этом смысле, по нашему мнению, наиболее интересны гидротехнические сооружения порта Южный.

Известно, что причалы порта Южный отличаются нетрадиционной конструктивной схемой, работают в сложных инженерно-геологических условиях, подвержены интенсивным эксплуатационным нагрузкам. В сложившихся условиях важнейшим инструментом обеспечения безопасного функционирования причалов являются инструментальные наблюдения за их деформированным состоянием [1, 2].

В порту Южный этому вопросу уделяют особое внимание – здесь практически все причалы охвачены циклическими геодезическими наблюдениями, а именно: причалы №№ 1-3 – с 1990 г.; причал № 4 – с 2003 г.; причалы №№ 5-6 – с 1986 г.; причал № 7 – с 2002 г.; причал № 8 – с 2004 г.; причал № 17 – с 1989 г.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УКРАИНЫ

Остановимся на практических результатах наблюдений за причалами №№ 7, 8. Причалы построены по проектам института «ЧерноморНИИпроект» и сданы в эксплуатацию в 2001 г. и в 2003 г. (пример конструктивного решения для причала № 8 приведен на рис. 1). В 2005 г., вследствие интенсивной эксплуатации причалов, были обнаружены подвижки линии кордона в сторону акватории. Так, благодаря наличию наблюдательной сети, оказалось возможным зафиксировать величину и точные места горизонтальных подвижек линии кордона. Методические указания по организации и проведению работ приведены в нормативном документе [1].

Вследствие длительной интенсивной эксплуатации обнаружены подвижки линии кордона в сторону акватории:

причал № 8 (на участке ПК7–ПК22) – до 176 мм (ноябрь 2005 г.);

причал № 7 (на участке ПК12–ПК22) – до 276 мм (май 2006 г.).

В результате изменений напряженно-деформативного состояния были введены ограничения эксплуатационных нагрузок на причалы №№ 7, 8.

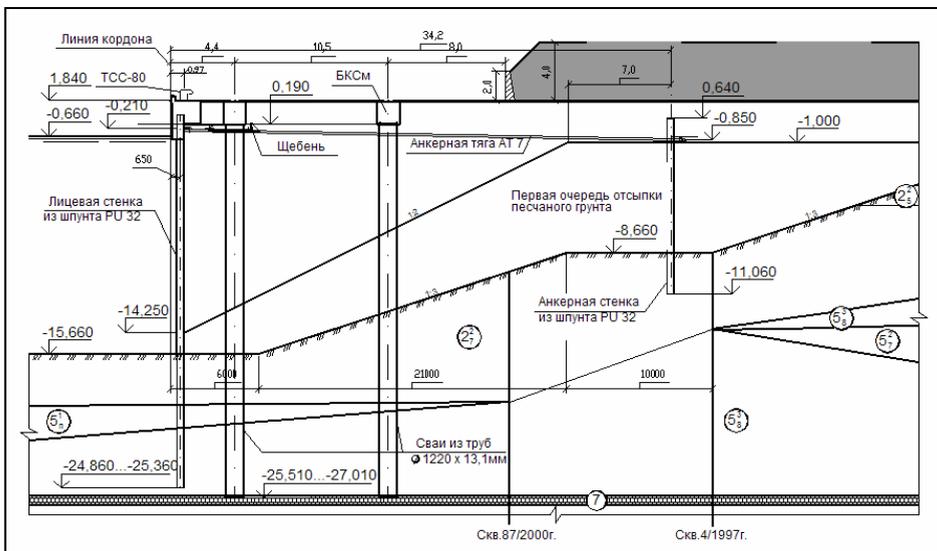


Рис. 1. Разрез причала № 8

Комплексный анализ данных контрольных измерений деформации позволил выработать ряд практических мероприятий, направленных на восстановление несущей способности причала № 8 при проектных эксплуатационных нагрузках (на тыловых складских площадках – 20 т/м^2), в результате которых:

- снижена эксплуатационная нагрузка на кордонной складской площадке до 12 т/м^2 ;

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УКРАИНЫ

– в течение четырёх месяцев (май-сентябрь 2005 г.) проведено шесть циклов измерений планово-высотного положения на контрольном участке (ПК7–ПК22), в результате которых существенных деформаций не зафиксировано;

– принято решение о поэтапном увеличении эксплуатационных нагрузок на причал № 8.

Это увеличение выполнялось так:

I^й этап – 14 т/м² с проведением двух циклов наблюдений за деформациями и фиксированием нагрузок на складских площадках;

II^й и последующие этапы (с повышением нагрузок на 2 т/м² на каждом этапе) допускаются после анализа результатов полевых измерений деформаций от предыдущих нагрузок.

По аналогичной схеме организованы мероприятия по восстановлению уровня эксплуатационных нагрузок на причале № 7.

Эпюры горизонтальных смещений линии кордона причалов № 7, 8 даны на рис. 2, 3.

В результате анализа данных инструментальных измерений установлено следующее.

На причале № 7 за весь период наблюдений (июль 2002 г.-август 2008 г.): горизонтальные смещения (в сторону акватории) – до 337 мм; осадка – до 30 мм (зафиксированы в районе стыка секций 4, 5); за период март-август 2008 г.: смещения – до 4 мм, осадка – практически отсутствует.

На причале № 8 за весь период наблюдений (сентябрь 2004 г.-август 2008 г.): горизонтальные смещения – до 194 мм; осадка – до 20 мм (зафиксированы в районе стыка секции 4); за период март-август 2008 г.: смещения – до 4 мм, осадка – практически отсутствует.

Таким образом, по данным многолетних циклических наблюдений с учётом измерений 2008 г., а также результатам теоретических расчетов общей устойчивости причалов представилось возможным обосновано увеличить эксплуатационные нагрузки до 16 т/м² (причал № 8) и до 18 т/м² (причал № 7).

Поскольку причалы построены в оползнеопасной зоне (в основании залегают меотические глины) в связи с возникшей реальной оползневой опасностью выполнено математическое моделирование устойчивости причалов в соответствии с требованиями действующих нормативных документов [3, 4, 5].

Следует заметить, что результаты расчетов существенно зависят от точности исходных данных, прежде всего принятых расчетных параметров грунтов.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УКРАИНЫ

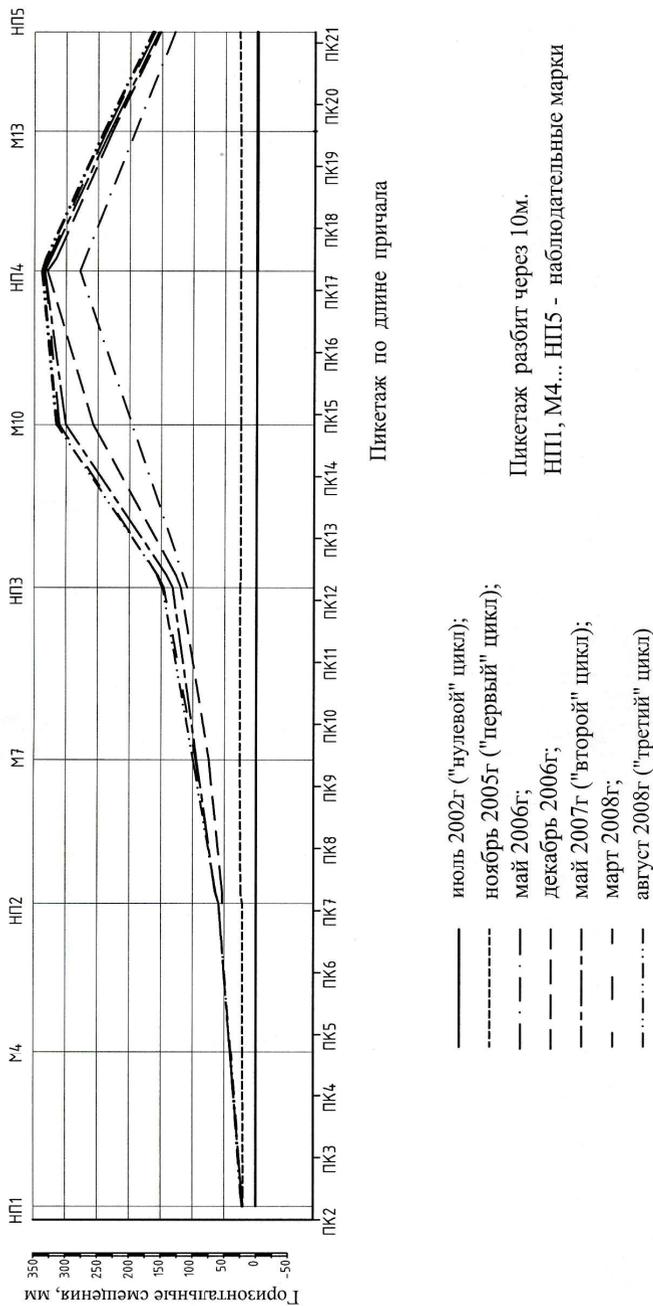


Рис. 2. Причал 7 в п. Южный. Эпюры горизонтальных смещений наблюдательных марок

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УКРАИНЫ

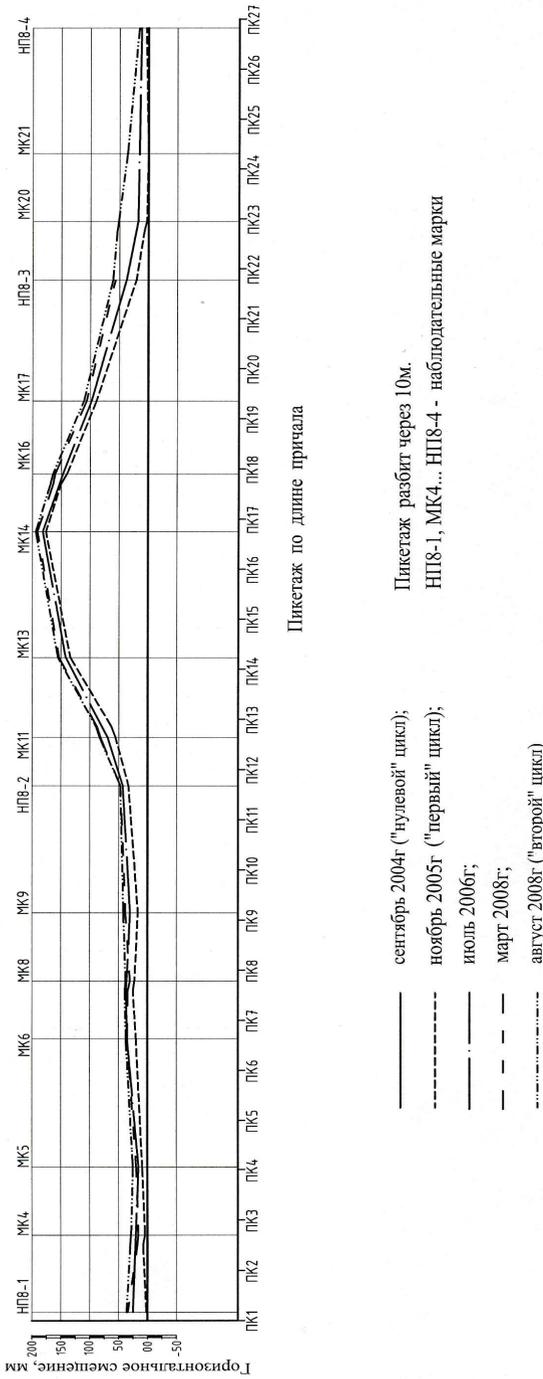


Рис. 3. Причал 8 в п. Южный. Эпюры горизонтальных смещений наблюдательных марок

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УКРАИНЫ

Известно, что прочностные свойства грунтов изменяются во времени. С одной стороны, в грунте могут происходить процессы консолидации, т.е. уплотнения (упрочнения) при достаточной величине нагрузки. С другой стороны, на протяжении какого-либо промежутка времени грунтовая толща постепенно разуплотняется, т.е. теряет свою первоначальную прочность [6]. Глинистые грунты, особенно меотические, обладают ползучестью, т.е. способностью к развитию во времени пластических деформаций без роста напряжений. При этом следует учесть такие соображения.

Изменения грунтами своего напряженно-деформированного состояния во времени, что наиболее ярко выражено в глинистых грунтах, проявляются лишь через несколько лет после постройки сооружений и их эксплуатации. При этом глубина изменений характеристик грунтов в процессе ползучести, скорость их деформаций и степень влияния самого процесса на сооружения (осадка сооружений) тем выше, чем больше крутизна откоса котлована (подпричального) и выше способность грунта к набуханию, разуплотнению.

Имеется множество примеров медленного, но постоянного движения пологих склонов, сложенных глинистыми грунтами. Так, некоторые участки откосов Волго-Балтийского канала ежегодно смещаются на 0,5-1 м, что приводит к необходимости проведения систематических работ по углублению дна. Портовые набережные на Черном море при скорости движения около 1 см в год сместились в сторону моря за 70-100 лет на 50-80 см. Известно [6], что эти откосы и набережные по критериям стандартной прочности грунтов (т.е. прочности, получаемой при обычных лабораторных исследованиях) являются устойчивыми, причем со значительными запасами.

По нашему мнению для сравнительных расчетов общей устойчивости могут быть приняты характеристики грунтов, полученные стандартными лабораторными исследованиями.

Степень устойчивости склонов и откосов оценивается коэффициентом устойчивости. Под этим термином во всех случаях понимается действительное соотношение сумм сил сопротивления смещению и сдвиговых усилий вдоль возможной поверхности или зоны смещения, независимо от того, можно или нет точно определить его практически.

Поиск в массиве грунта поверхности с максимальным значением разности удерживающих и сдвигающих сил является многоэкстремальной вариационной задачей, решение которой с достаточной надежностью возможно только по программам, гарантирующим нахождение глобального экстремума.

Поверочные расчеты общей устойчивости причалов №№ 7, 8 п. Южный выполнялись в предположении ломаных поверхностей скольжения, как наиболее неблагоприятных (по сравнению с круглоцилиндрическими).

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРТОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УКРАИНЫ

Результаты поверочных расчетов при паспортных характеристиках грунтов показывают, что общая устойчивость причалов №№ 7, 8 по ломаным поверхностям скольжения при нагрузках, не превышающих проектные, обеспечена (40, 120, 200 кН/м² по зонам). При этом рекомендуется постоянный контроль за деформативным состоянием причалов, включающий инструментальные наблюдения.

Таким образом, при контроле эксплуатационных параметров портовых гидротехнических сооружений постоянные циклические наблюдения за их деформативным состоянием – практически единственный способ получения достоверных данных, позволяющий исключить нежелательные ситуации и принять своевременные решения по обеспечению бесперебойной эксплуатации причального фронта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Інструкція з інженерних обстежень і паспортизації портових гідротехнічних споруд (НД 31.3.002-2003). – Одеса, 2003. – 229 с.
2. Правила технической эксплуатации портовых гидротехнических сооружений (НД 31.3.003-2005). – Одесса, 2005. – 91 с.
3. РД 31.31.27–81. Руководство по проектированию морских причальных сооружений. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1984. – 400 с.
4. ДБН В.1.1-3-97. Защита от опасных геологических процессов. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от оползней и обвалов. Основные положения. – К.: Госстрой Украины, 1998. – 46 с.
5. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 48 с.
6. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба ними). – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.

Надійшла 03.03.10

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

Предложена методика анализа влияния параметров пропульсивных комплексов на показатели качества маневрирования при проектировании электроходов. Дана количественная оценка влияния параметров и эффектов их взаимодействий. Результаты предназначены для организации проектирования электроэнергетических установок судов с электродвижением на ранних стадиях.

Запропоновано методику аналізу впливу параметрів пропульсивних комплексів на показники якості маневрування при проектуванні електроходів. Дана кількісна оцінка впливу параметрів та ефектів їх взаємодій. Результати призначені щодо організації проектування електроенергетичних установок суден з електрорухом на ранніх стадіях.

The methods of the analysis of propulsive complexes parameters' influence on manoeuvre quality indices in electric ships' design were suggested. Quantitative evaluation of parameters' influence and effects of their correlation were given. The results are meant for organization of electric ships' power plants' design at early stages.

Ключевые слова: проекты электроходов, сравнительная оценка, многофакторный анализ, количественная оценка степени влияния параметров.

В процессе проектирования энергетических установок судов с электродвижением приходится оценивать качество работы самой энергетической установки (СЭУ), каждого ее составного элемента и качество работы всего пропульсивного комплекса в целом. Применительно к электроходам – это прежде всего маневренные качества. СЭУ должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечить наилучшие маневренные свойства судна, для обеспечения работы которого она предназначена. При оценке маневренных качеств электроходов прежде всего оцениваются их инерционно-тормозные показатели и управляемость. Характерными маневрами, по показателям качества выполнения которых можно судить о маневренных свойствах судна, являются разгон, торможение, реверс, выход на циркуляцию.

Детальный анализ режимов работы всех составных элементов пропульсивных комплексов электроходов на маневрах можно осуществлять с помощью математических моделей переходных режимов их работы, в частности, с использованием математического аппарата, приведенного в работе [4]. Разработанный на его основе метод расчета текущих значений основных режимных показателей позволяет оценить основные

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

показатели качества выполнения указанных выше маневров. На рис. 1 и 2 приведены, в качестве примера, текущие (в безразмерном времени T) зависимости основных режимных показателей пропульсивного комплекса по ходу выполнения электроходом маневров: “разгон – торможение – реверс” (рис.1) и “разгон судна – выход на циркуляцию” (рис 2).

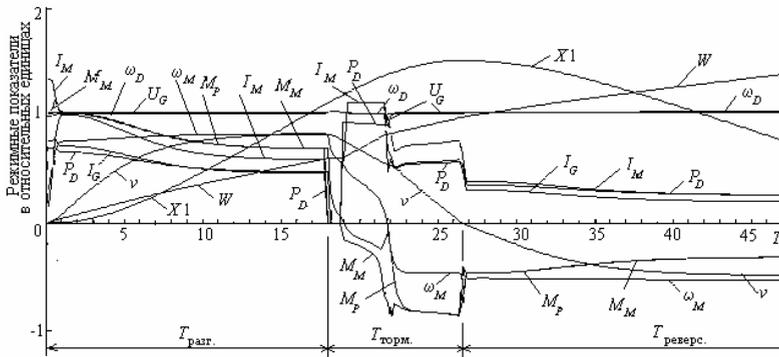


Рис. 1. Законы изменения режимных показателей на прямом курсе

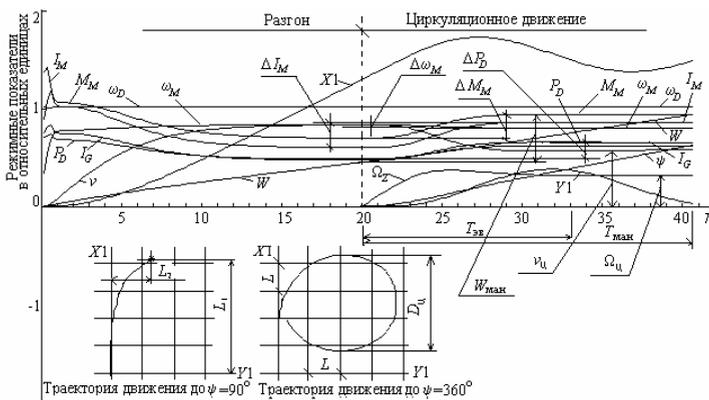


Рис. 2. Законы изменения режимных показателей при выходе на циркуляцию

Здесь ω_D , M_D и P_D – угловая скорость вращения, вращающий момент и мощность первичных двигателей;

W – относительные затраты топлива на выполнение маневра;

U_G и I_G – напряжение и ток генераторов;

U_M и I_M – напряжение и ток гребных электродвигателей (асинхронных ГЭД);

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

M_M и ω_M – вращающий момент и угловая скорость вращения ГЭД;
 M_P и P_P – момент сопротивления и упор гребных винтов;
 v и Ω_X – скорость движения судна и угловая скорость его вращения вокруг вертикальной оси Z ;

X_1 и Y_1 – пройденные пути в несвязанной с судном системе координат; ψ – угол курса;

L_1 и L_2 – выдвиг и прямое смещение судна.

Возможность рассчитать текущие значения режимных показателей и проанализировать маневренные свойства электроходов безусловно представляет большую ценность. Однако для решения задач проектирования конкретных электроходов с наперед заданными маневренными свойствами, куда большую ценность представляют сведения об отдельных, наиболее важных показателях качества выполнения маневров. Эта информация особенно нужна на самых ранних стадиях проектирования, на так называемых этапах “эскизной” проработки вариантов будущего проекта, при сравнении различных вариантов конструкторских решений. Но на этих этапах проектирования объем технической информации по СЭУ весьма ограничен, и воспользоваться предлагаемым в работе [4] методом не представляется возможным. Огромное число параметров пропульсивного комплекса (большая часть которых на начальной стадии проектирования неизвестны) и внешней среды, отсутствие информации о степени их влияния (и степени влияния эффектов их взаимодействий) ставят проектировщиков в затруднительное положение. Это и определило цель настоящей работы – при ограниченном объеме информации (на ранних стадиях проектирования), выявить наиболее значимые параметры системы “пропульсивный комплекс электрохода – внешняя среда”, оценить степень их влияния на показатели качества маневрирования и показать проектировщикам возможные пути улучшения этих показателей при проектировании СЭУ судов с электродвижением.

Анализ результатов многочисленных расчетов и существующая практика проектирования и эксплуатации судов с электродвижением [1, 4] дают основания предложить для оценки их маневренных свойств следующие показатели:

При маневрировании на прямолинейной траектории относительные:

J_1 – время выполнения маневра T ;

J_2 – затраты топлива на выполнение маневра W ;

J_3 – неравномерность (отклонение) угловой скорости вращения первичных двигателей

$$\Delta\omega_D = \frac{\omega_{Dmax} - \omega_{Dmin}}{\omega_{D усн}} ;$$

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

J_4 – максимальная мощность первичных двигателей

$$P_{Dm} = P_{D \max} / P_{D \text{уст.}}$$

J_5, J_6 – всплески (броски) тока генераторов при разгоне $(I_G)_{Pm}$ и при реверсе $(I_G)_{Tm}$

$$(I_G)_{Pm} = (I_G)_{P \max} / (I_G)_{P \text{уст.}}, \quad (I_G)_{Tm} = (I_G)_{T \max} / (I_G)_{T \text{уст.}};$$

J_7, J_8 – установившиеся значения тока генераторов при разгоне $(I_G)_{P \text{уст.}}$ и реверсе $(I_G)_{T \text{уст.}}$;

J_9 – перепад напряжения на выходе генераторов ΔU_G

$$\Delta U_G = \frac{U_{G \max} - U_{G \min}}{U_{G \text{уст.}}};$$

J_{10}, J_{11} – продолжительности разгона $T_{ГЭД \text{ разг}}$ и реверса $T_{ГЭД \text{ рев}}$ ГЭД и гребных винтов;

J_{12}, J_{13} – всплески (броски) тока ГЭД при разгоне $(I_M)_{Pm}$ и при реверсе $(I_M)_{Tm}$

$$(I_M)_{Pm} = (I_M)_{P \max} / (I_M)_{P \text{уст.}}, \quad (I_M)_{Tm} = (I_M)_{T \max} / (I_M)_{T \text{уст.}};$$

J_{14}, J_{15} – всплески (броски) вращающего момента ГЭД при разгоне $(M_M)_{Pm}$ и при реверсе $(M_M)_{Tm}$

$$(M_M)_{Pm} = (M_M)_{P \max} / (M_M)_{P \text{уст.}}, \quad (M_M)_{Tm} = (M_M)_{T \max} / (M_M)_{T \text{уст.}};$$

J_{16}, J_{17} – установившиеся значения вращающего момента ГЭД при разгоне $(M_M)_{P \text{уст.}}$ и при реверсе $(M_M)_{T \text{уст.}}$;

J_{18}, J_{19} – установившиеся значения угловой скорости вращения ГЭД и гребных винтов при разгоне $(\omega_M)_{P \text{уст.}}$ и при реверсе $(\omega_M)_{T \text{уст.}}$;

J_{20}, J_{21} – продолжительности протекания переходных процессов в энергетической установке при разгоне $(T_{CЭУ})_{\text{разг.}}$ и при реверсе $(T_{CЭУ})_{\text{рев.}}$;

J_{22} – максимальная скорость судна к концу разгона v_{\max} ;

J_{23} – продолжительность разгона пропульсивного комплекса до заданного значения скорости $(T)_{V=V \text{ зад.}}$;

J_{24} – пройденный судном путь по окончанию маневра $(X1)_{\text{разг}}$ или $(X1)_{\text{тор.}}$

При циркуляционном движении относительные:

J_{25}, J_{26} – изменения мощности первичных двигателей внешнего (левого) $(\Delta P_D)_1$ и внутреннего (правого) $(\Delta P_D)_2$ по отношению к центру циркуляции энергетических контуров, при выходе электрохода на установившуюся циркуляцию

$$(\Delta P_D)_1 = P_{D \text{лев.}} / P_{D \text{нач.}}, \quad (\Delta P_D)_2 = P_{D \text{прав.}} / P_{D \text{нач.}};$$

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

J_{27}, J_{28} – изменения тока статора ГЭД внешнего $(\Delta I_M)_1$ и внутреннего $(\Delta I_M)_2$ энергетических контуров

$$(\Delta I_M)_1 = I_{M\text{лев.}} / I_{M\text{нач.}}, \quad (\Delta I_M)_2 = I_{M\text{прав.}} / I_{M\text{нач.}};$$

J_{29}, J_{30} – изменения вращающего момента ГЭД внешнего $(\Delta M_M)_1$ и внутреннего $(\Delta M_M)_2$ энергетических контуров

$$(\Delta M_M)_1 = M_{M\text{лев.}} / M_{M\text{нач.}}, \quad (\Delta M_M)_2 = M_{M\text{прав.}} / M_{M\text{нач.}};$$

J_{31}, J_{32} – изменения угловой скорости вращения ГЭД и гребных винтов внешнего $(\Delta \omega_M)_1$ и внутреннего $(\Delta \omega_M)_2$ энергетических контуров

$$(\Delta \omega_M)_1 = \Delta \omega_{M\text{лев.}} / \Delta \omega_{M\text{нач.}}; \quad (\Delta \omega_M)_2 = \Delta \omega_{M\text{прав.}} / \Delta \omega_{M\text{нач.}};$$

J_{33} – снижение скорости движения судна с выходом его на установившуюся циркуляцию $(\Delta v)_Ц = v_Ц / v_{\text{нач.}}$;

J_{34} – угловая скорость вращения судна Ω_Z на установившейся циркуляции $\Omega_Ц$;

J_{35} – диаметр циркуляции $D_Ц$;

J_{36} – тактический диаметр циркуляции D_T ;

J_{37} – выдвиг судна L_1 ;

J_{38} – прямое смещение судна L_2 ;

J_{39} – угол курса судна по истечению заданного промежутка времени Ψ_C ;

J_{40} – продолжительность выполнения полного оборота $T_Ц$;

J_{41} – продолжительность эволюционного периода маневра $T_{ЭВ}$;

J_{42} – затраты топлива на выполнение судном полного оборота при циркуляции $W_Ц$.

Обозначение “нач” в индексах показателей, описывающих циркуляционное движение, означает начальное (на момент выхода на циркуляцию) значение соответствующего показателя.

Большинство предложенных показателей качества определяются (рис.1 и рис.2) непосредственно из получаемых в ходе расчетов текущих зависимостей режимных показателей или из траекторий движения судна. Некоторые же находятся с помощью дополнительных расчетов. В частности, относительные затраты топлива W на выполнение маневра определяются аналогично тому, как это было сделано в работе [3]

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

$$W = \int_0^T g_e^0 M_D^0 \omega_D^0 dT,$$

где $g_e^0 = \frac{g_e}{g_{e0}}$ – относительный текущий удельный расход топлива.

Совокупность перечисленных показателей (а их предложено свыше 40), можно полагать, в достаточной степени охватывает каждый элемент энергетической установки электрохода в отдельности и весь электроход в целом, и обладает необходимой достаточностью для того, чтобы оценить маневренные качества пульсивных комплексов.

Далее по всей работе (кроме тех мест, где это специально оговорено) относительные значения режимных показателей будут обозначаться (для облегчения восприятия) без символа “0” в показателе степени.

Решение задач подобного типа осложняется тем, что на показатели качества выполнения маневров влияет большое число различных факторов. Следует также не забывать, что помимо самих параметров, на показатели качества выполнения маневров влияют также эффекты от взаимодействий параметров. В этом случае количество возмущающих факторов исчисляется десятками тысяч. Проектировщик сталкивается с известной проблемой “проклятия размерности”. Кроме того, на ранних стадиях проектирования объем информации, как отмечалось выше, весьма ограничен, что зачастую ставит задачи в ранг невыполнимых. Все это усложняет процесс анализа маневренных режимов работы и приводит к потере наглядности получаемых результатов.

Выходом из подобной ситуации является выявление на первых этапах проектирования факторов (параметров и эффектов их взаимодействий), наиболее значимо влияющих на показатели качества. Иными словами, необходимо выделить из множества факторов q_i , $i = 1, \dots, n$ подмножество факторов q_j , $j = 1, \dots, p$ ($p < n$), отклонение которых от расчетных значений Δq_j определяет основную часть приращения показателя $J(\Delta q_j) \approx J(\Delta q_i)$. Разброс остальных $s = n - p$ факторов не оказывает существенного влияния на исследуемые показатели и изменения их значений можно не учитывать.

Решение подобных задач целесообразно осуществлять методами отсеивающих экспериментов, базирующихся на предположении, что только малое число факторов существенно сказывается на величине показателя качества. Причем эффекты этих факторов, расположенные в порядке убывания, представляют собой зависимость экспоненциального типа. Это позволяет большинство факторов отнести к шумовому полю, на фоне которого выделяется сравнительно небольшое число существенных факторов [2].

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

Следует учитывать, что не все параметры комплекса “работают” на том или ином маневре. Кроме того, ряд параметров можно априорно, либо руководствуясь здравым смыслом, исключить из числа исследуемых, полагая их значения неварьируемыми. В результате этого число исследуемых параметров несколько сокращается. Все исследуемые факторы с соответствующими им порядковыми номерами приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Соответствие параметров комплексов факторам q_i
отсеивающего эксперимента*

Фактор	Параметр	Фактор	Параметр	Фактор	Параметр	Фактор	Параметр
q_1	ω_{DR}^0	q_{13}	C_{M21}	q_{25}	χ_{II}	q_{37}	C_{65}
q_2	β_D	q_{14}	C_{M22}	q_{26}	C_{RY}	q_{38}	$C_{\lambda 2}$
q_3	c_{DR}	q_{15}	C_{M23}	q_{27}	C_{I2}	q_{39}	$C_{\lambda 21}$
q_4	N_D	q_{16}	C_{M35}	q_{28}	C_{I3}	q_{40}	N_X
q_5	N_{GV}	q_{17}	C_{M36}	q_{29}	K_{UG} U_1	q_{41}	N_{Ω}
q_6	N_M	q_{18}	C_{M37}	q_{30}	C_{21}	q_{42}	a_M
q_7	C_{G5}	q_{19}	C_{M38}	q_{31}	C_{22}	q_{43}	a_P
q_8	C_{G8}	q_{20}	k_1	q_{32}	C_{23}	q_{44}	a_{γ}
q_9	C_{G11}	q_{21}	k_2	q_{33}	C_{61}	q_{45}	K_{UGII}
q_{10}	C_{M17}	q_{22}	k_3	q_{34}	C_{62}	q_{46}	N_{RD}
q_{11}	C_{M18}	q_{23}	KR	q_{35}	C_{63}	-	
q_{12}	C_{M20}	q_{24}	C_{M16}	q_{36}	C_{64}	-	

Приведенные в табл. 1 параметры (в дальнейшем – факторы) это безразмерные параметры – критерии динамического подобия – пропульсивного комплекса электрохода, рассчитываемые по соотношениям, приведенным в работе [2]. Оптимизация именно этих параметров позволит спроектировать пропульсивный комплекс электрохода, эффективно работающий на маневрах.

При числе факторов, исчисляемом несколькими десятками (что соответствует исследуемой системе), для выявления значимых параметров удобно пользоваться методом случайного баланса. В основе его лежит матрица случайного баланса (матрица планирования экспериментов – расчетов), составляемая на основе матрицы полного факторного эксперимента (ПФЭ). Для ее получения факторы q_i разделены на группы, содер-

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

жащие не более четырех факторов. Факторы могут находиться на двух уровнях: единице с плюсом соответствует верхний уровень (максимальное значение), единице с минусом – нижний уровень (минимальное значение). Матрица планирования состоит из подматриц, составленных на основе ПФЭ типа 2^4 .

Подматрицы ПФЭ для различных групп факторов состоят из тех же строк, что и базовая матрица, однако порядок чередования строк в каждой подматрице различен и определяется с помощью матрицы случайных чисел. Подматрицы планирования, объединенные построчно в одну матрицу, образуют матрицу случайного баланса, являющуюся исходной для проведения экспериментов (расчетов), т.е. представляющую собой план проведения экспериментов. В результате расчетов исследуемых маневров в точках, задаваемых матрицей случайного баланса, получается вектор-столбец показателя качества J (ниже, в качестве примера, будут приведены результаты расчетов для одного из показателей качества выполнения маневров – продолжительности его выполнения – J_1).

Анализ влияния параметров пропульсивных комплексов (факторов q_i) на каждый показатель качества J_k , с целью выявления значимых (для каждого показателя), проводится по приведенной ниже методике.

На первом этапе анализа строится диаграмма рассеяния. Ее построение сводится к снесению значений J_r , где r – порядковый номер строки расчета в матрице, в одну из двух колонок в зависимости от того, на каком уровне находится фактор. Вклад E фактора определяется величиной центров смещения переменных по каждому столбцу. Для количественной оценки существенных факторов выбирается m столбцов существенных факторов, выделенных по диаграмме рассеяния, строится матрица ПФЭ типа 2^l и вспомогательная матрица J^{VS} с результатами расчетов матрицы ПФЭ. На основе вспомогательной матрицы строится аналитическая модель показателя качества J вида

$$J = \sum_{i=0}^k b_i q_i. \quad (1)$$

В формуле (1) значениям b_i , $i = 0, 1, \dots, l$ соответствует линейная модель показателя качества. При $i = \overline{l+1, k}$ коэффициенты b_i отражают эффекты взаимодействия факторов. Коэффициенты b_i определяются как

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^m q_{ij} \overline{J_j}, \quad (2)$$

где $m = 2^l$;

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

$$\overline{J}_j = \frac{1}{\eta_j} \sum_{r=1}^{\eta_j} J_{jr}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где η_j – число параллельных расчетов.

На втором этапе анализа исключаются эффекты от найденных на первом этапе значимых факторов. Для этого из каждого значения J_r вычитаются величины

$$J_{br} = \sum_{i=1}^{l1} b_i (q_{ri} + 1), \quad (4)$$

где $l1$ – число выделенных существенных факторов ($l1 \leq l$) на первом этапе;

q_{ri} – значение фактора в i -ом столбце и r -ой строке матрицы случайного баланса.

Повторение описанных выше действий позволяет проранжировать всю группу существенных факторов.

Для выделения эффектов взаимодействий, в связи с огромным числом их сочетаний, используется метод выделения взаимодействий из диаграмм рассеяния линейных эффектов. В основе его лежит предположение о том, что при большом вкладе взаимодействия выделяющиеся точки будут на обоих уровнях. Под выделяющимися точками i -го фактора на верхнем (нижнем) уровне понимаются точки, для которых значения показателя J больше, чем самое большое значение J на нижнем (верхнем) уровне этого фактора. Существенные взаимодействия это те, у которых в верхней (нижней) части диаграммы рассеяния выделяющиеся точки повторяют друг друга, а в нижней (верхней) образуют зеркальное отражение.

Количественная оценка существенных взаимодействий производится аналогично оценке существенных факторов построением вспомогательной матрицы J^{VS} , в которой роль факторов выполняют эффекты их взаимодействий.

Статистический анализ получаемых на каждом этапе результатов проводится в такой последовательности:

– определяются выборочные дисперсии по строкам матрицы J^{VS}

$$s_j^2 = \frac{1}{\eta_j - 1} \sum_{r=1}^{\eta_j} (J_{jr} - \overline{J}_j)^2, \quad j = \overline{1, m}; \quad (5)$$

– находятся дисперсии воспроизводимости единичного значения

$$s^2\{J\} = \frac{\sum_{j=1}^m s_j^2 (\eta_j - 1)}{\sum_{j=1}^m (\eta_j - 1)}, \quad (6)$$

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

дисперсия воспроизводимости среднего значения

$$s^2\{\bar{J}\} = \frac{s^2\{J\}}{m} \sum_{j=1}^m \frac{1}{\eta_j}, \quad (7)$$

и дисперсия коэффициентов регрессии

$$s^2\{b_i\} = \frac{s^2\{\bar{J}\}}{m}, \quad i = \overline{1, l}; \quad (8)$$

– проводится проверка значимости коэффициентов по критерию Стьюдента при числе свободы

$$f = \sum_{j=1}^m \eta_j - m, \quad (9)$$

и уровне значимости α ;

– определяется условие значимости

$$|b_i| > t_{\alpha} \{b_i\}, \quad i = \overline{1, l}. \quad (10)$$

Ниже приведен анализ (в сокращенном варианте) влияния параметров пропульсивных комплексов (критериев динамического подобия) на один из показателей качества выполнения маневров – его продолжительность J_1 , выполненный по приведенной выше методике. Для этого достаточно рассмотреть следующие два характерных маневра:

– разгон пропульсивного комплекса до установившегося значения скорости движения судна ($v=v_{уст.}$) – реверс энергетической установки до выхода судна на установившийся режим работы на “заднем” ходу;

– разгон пропульсивного комплекса – выход судна на циркуляцию.

В качестве примера, рассмотрим влияние параметров (критериев динамического подобия) на такой важнейший показатель, как продолжительность выполнения первого (из предложенных к рассмотрению) маневра.

Результаты расчетов (с помощью математического аппарата, приведенного в работе [4]) продолжительности выполнения маневра T (показатель качества J_1) выполненных по планам, представленным в матрице случайного баланса приведены в матрице наблюдений – табл. 2.

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

Таблица 2

Матрица результатов расчетов по показателю J_1

Строка матрицы	J_1	J_1^{17}	J_1^{40}	J_1^6	J_1^{15}	J_1^{26}	J_1^{27}
1	16,9	19,354	25,54	25,54	23,9	23,9	23,9
2	17,6	17,6	23,786	25,992	24,35	22,63	21,47
3	22,6	22,6	22,6	24,8	24,8	23,17	23,17
4	19,4	21,854	28,04	28,04	26,4	26,4	26,4
5	29,0	29,0	29,0	29,0	27,36	27,36	26,2
6	19,8	22,254	28,44	30,646	29,0	27,37	26,2
7	23,6	23,6	23,6	25,806	25,806	25,81	25,81
8	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	25,97	24,81
9	16,8	19,254	25,44	27,646	27,646	26,02	24,86
10	19,6	22,054	28,24	28,24	26,6	24,97	24,97
11	32,9	32,9	32,9	32,9	31,25	29,63	28,47
12	19,0	19,0	25,186	27,392	25,75	25,75	24,59
13	21,4	21,4	27,586	29,792	29,729	28,16	27,0
14	21,9	24,354	24,354	24,354	24,354	24,354	23,20
15	22,8	25,254	25,254	27,460	27,460	25,83	25,83
16	24,7	27,154	27,154	27,5	27,5	25,87	24,7
s_j^2	20,55	16,960	6,672	4,877	4,198	3,263	2,843
$(s^2 - s_j^2)/s^2$	-	0,175	0,675	0,763	0,796	0,841	
Относит. вклад	-	17,5 %	50,0 %	8,8 %	3,3 %	7,2 %	2 %
Коэффициент b_i	-	-1,227	-3,093	-1,103	0,821	0,815	0,582

На первом этапе анализа, из диаграммы рассеяния (здесь не приведена) находятся вклады каждого фактора E_{1i} , определяемые величинами центров смещения переменных. (Следует иметь в виду, что часть параметров комплексов, характеризующих криволинейное движение судна, на рассматриваемом маневре “не работает”). Эти вклады приведены в табл. 3. На основании результатов анализа столбца E_1 , выделены параметры q_{17} и q_{40} , имеющие наибольшие вклады.

Для количественной оценки выделенных существенных факторов строится матрица полного факторного эксперимента на два входа – табл. 4.

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

Таблица 3

Вклады факторов в показатель качества J_1

Фактор	E_1	E_2	E_3	R_V	R_N
q_2	-2,32	-2,30	-1,707	-2,26	0,45
q_3	-4,0	-0,319	0,827	-1,47	0,45
q_4	-0,37	0,313	0,354	-1,47	-0,45
q_5	5,07	0,780	1,148	2,26	0,45
q_6	-3,57	-2,617	-0,046	-1,47	0,45
q_7	0,27	-1,910	-1,047	-1,47	0,45
q_8	0,85	0,162	-0,205	-2,26	0,45
q_9	1,47	-0,710	-0,256	-1,47	-0,45
q_{10}	-4,45	-0,768	-0,671	-2,26	-0,45
q_{11}	0,62	0,036	0,629	2,26	0,45
q_{12}	-1,85	-0,278	-0,319	2,26	-0,90
q_{13}	-2,0	-0,478	0,031	-1,47	0,45
q_{14}	0,55	0,575	1,168	3,61	0,45
q_{15}	-0,87	2,193	-0,043	1,47	-0,45
q_{16}	-1,02	-0,386	-0,430	-2,26	-0,45
q_{17}	-4,0	0,026	-0,482	-2,26	-0,45
q_{18}	-3,75	-0,632	-0,533	-1,47	-0,45
q_{19}	-1,8	-1,775	-1,267	-2,26	0,45
q_{20}	-1,35	0,172	-0,281	-2,26	0,90
q_{21}	3,12	0,990	1,442	2,26	-0,45
q_{24}	3,02	2,386	-0,370	2,26	-0,45
q_{38}	-0,75	-1,288	-0,138	2,26	-0,45
q_{40}	-6,8	-0,025	-0,338	-1,47	-0,45
q_{45}	-4,22	-2,703	-2,108	-3,61	-0,45

Статистическая обработка результатов расчетов дает следующие результаты:

- построчные дисперсии s_j^2 – см. в табл. 4;
- дисперсия воспроизводимости единичного решения

$$s^2\{J_j\} = 7,554;$$

- дисперсия воспроизводимости среднего значения

$$s^2\{J_{cp}\} = 2,014;$$

- дисперсия воспроизводимости коэффициентов регрессии

$$s^2\{b_i\} = 0,504.$$

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

Таблица 4

Матрица полного факторного эксперимента на два входа

q_{17}	q_{40}	Сочетания номеров	J_j	J_j ср	s_j^2
-1	-1	3, 5, 7, 8, 11	22,6; 29,0; 23,6; 27,6; 32,9	27,180	17,552
+1	-1	14, 15, 16	21,9; 22,8; 24,7	23,133	2,043
-1	+1	2, 12, 13	17,6; 19,0; 21,4	19,400	3,360
+1	+1	1, 4, 6, 9, 10	16,9; 19,4; 19,8; 16,8; 19,6	18,540	2,408

Коэффициенты регрессии b_{17} и b_{40} существенных факторов q_{17} и q_{40} , рассчитываемые по формуле (2), равны

$$b_{17} = -1,227; \quad b_{40} = -3,093.$$

При проверке значимости коэффициентов регрессии была принята величина доверительной вероятности, равная 0,9. Число степеней свободы $f = 16 - 4 = 12$. Величина t из таблицы распределения Стьюдента $t = 1,356$. Произведение $ts\{b_i\} = 0,962$. Поскольку $|b_{17}| > ts\{b_i\}$ и $|b_{40}| > ts\{b_i\}$, то оба коэффициента – значимы.

На втором этапе из столбца J_1 исключаются, в соответствии с соотношением (4), эффекты от значимых факторов (в данном случае, значимы оба фактора – q_{17} и q_{40}). Получаются столбцы J_1^{17} и J_1^{40} (см. табл. 2). Вклады каждого фактора, после исключения эффектов от q_{17} и q_{40} , на втором этапе – E_{2i} – приведены в табл. 3.

Выделенными факторами на данном этапе являются q_6 и q_{15} . Коэффициенты регрессии по этим факторам определяются аналогично тому, как это было сделано на первом этапе: $b_6 = -1,103$; $b_{15} = 0,821$. Проверка уровня значимости ($ts\{b_i\} = 0,787$) дает основания отнести и эти коэффициенты к значимым коэффициентам.

На третьем этапе были выделены факторы q_2 и q_{45} . Однако, после проверки уровня значимости ($b_2 = -0,354$; $b_{45} = -0,621$; $ts\{b_i\} = 0,796$), эти факторы отошли к шумовому полю, т.к. условие (10) не выполнялось.

Для выявления эффектов взаимодействий строится диаграмма взаимодействий либо ее “табличный” вариант для каждого фактора, по которой:

- определяются максимальные (J_{Vmax}) и минимальные (J_{Vmin}) значения факторов на верхнем уровне и максимальные (J_{Nmax}) и минимальные (J_{Nmin}) значения факторов на нижнем уровне;
- рассчитываются разности

$$R_V = J_{Vmax} - J_{Nmax}; \quad R_N = J_{Vmin} - J_{Nmin}.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

Анализ результатов расчетов показывает, что большие вклады могут дать сочетания:

$$\begin{aligned} Z_1 &= q_5 q_{38}; & Z_2 &= q_{19} q_{21}; & Z_3 &= q_3 q_5; & Z_4 &= q_5 q_{19}; \\ Z_5 &= q_{15} q_{40}; & Z_6 &= q_{13} q_{40}; & Z_7 &= q_6 q_{40}; & Z_8 &= q_7 q_{40}; \\ Z_9 &= q_9 q_{40}; & Z_{10} &= q_2 q_{10}; & Z_{11} &= q_2 q_{16}; & Z_{12} &= q_2 q_{17}. \end{aligned}$$

Диаграмма рассеяния для существенных взаимодействий строится по данным табл. 5. За положительные принимаются значения Z_i в тех строках, где взаимодействия факторов имеют одинаковые знаки, а за отрицательные – где знаки разные.

Вклады эффектов взаимодействий E_Z приведены также в табл. 5. Анализ приведенных здесь данных позволяет выделить два существенных взаимодействия – Z_6 и Z_7 . Расчеты (по приведенной выше методике) и статистический анализ дают следующие результаты:

$$b_{Z_6} = 0,815; \quad b_{Z_7} = 0,582; \quad t \cdot s\{b_i\} = 0,563,$$

т.е. оба коэффициента a , следовательно, и оба эффекта взаимодействий – значимы.

Таблица 5

Матрица эффектов взаимодействий

Эффекты, эксперименты	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	Z_{11}	Z_{12}
1	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+
2	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+
3	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+
4	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+
5	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-
6	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+
7	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+
8	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+
9	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
10	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
11	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
12	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-
13	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
14	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+
15	-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+
16	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Вклады, E_Z	0,62	-1,90	-0,80	-1,24	-2,89	2,42	2,05	1,47	-0,46	1,43	1,76	-0,29

Эффекты взаимодействий, выделенные на очередном этапе, оказались (как показал статистический анализ) незначимыми, что дало основа-

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

ния отнести их к шумовому полю и на этом закончить процедуру выявления значимых факторов и значимых взаимодействий по критерию J_1 .

Вклады существенных факторов и существенных эффектов взаимодействий в показатель J_1 определяются следующим образом:

– выборочная дисперсия J показателя качества матрицы случайного баланса (столбца J_1 табл. 3.1) рассчитывается по формуле

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{r=1}^N (J_r - \bar{J})^2, \quad (11)$$

где \bar{J} – среднее значение показателя;

– дисперсия показателя по мере исключения значимых факторов

$$s_i^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{r=1}^N (J_r^i - \bar{J}^i)^2; \quad (12)$$

– относительный вклад каждого фактора и эффекта взаимодействий находится, исходя из соотношения

$$\frac{s^2 - s_i^2}{s^2} \cdot 100\% \quad (13)$$

Результаты расчетов по формулам (11)-(13) – относительные вклады значимых факторов и эффектов взаимодействий, а также коэффициенты b_i моделей вида (1) – приведены в табл. 2.

Вклады значимых факторов и эффектов взаимодействий в продолжительность разгона T (показатель качества J_1) могут быть наглядно представлены в виде аналитической зависимости вида (1)

$$T = 22,2 - 3,093 N_X - 1,227 C_{M16} - 1,103 N_M + \\ + 0,815 N_X C_{M21} + 0,821 C_{M23} + 0,582 N_M N_X.$$

Эти же результаты могут быть представлены в виде гистограммы на рис. 3. По оси абсцисс здесь проставлены значимые факторы (параметра и эффекты их взаимодействия), а по оси ординат – вклады этих факторов в показатель T (в процентах). Факторы на рис. 3 соответствуют

$$1 - N_X; 2 - C_{M36}; 3 - N_M; 4 - C_{M23} N_X; 5 - C_{M23}; 6 - N_M N_X.$$

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

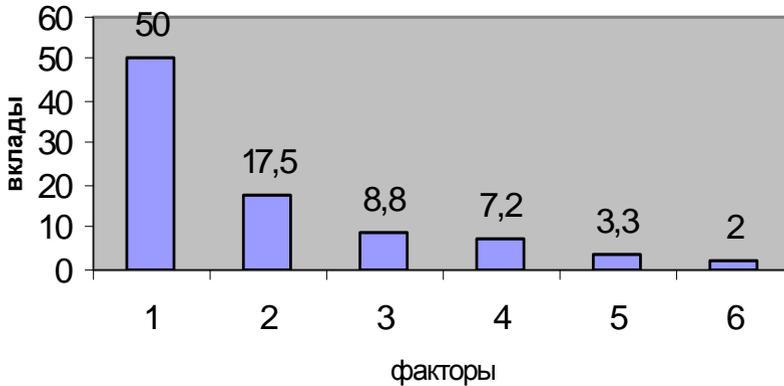


Рис. 3. Вклады параметров и эффектов взаимодействий в показатель T

Окончательные результаты расчетов по оценке степени влияния параметров и эффектов их взаимодействий на основные показатели качества выполнения маневров на прямолинейной траектории в качестве примера приведены в табл. 6.

Если проектировщика интересует, например, продолжительность выполнения маневра, то, зная вклады значимых параметров и значимых эффектов взаимодействий параметров (см. табл.6), он сможет проанализировать влияние каждого из них и попытаться найти пути улучшения этого показателя.

Таким образом, проведенные отсеивающие эксперименты позволили выявить существенные параметры и существенные эффекты взаимодействий параметров, проранжировав их по вкладу в основные показатели качества выполнения маневров. Остальные параметры и эффекты отнесены (вполне обоснованно) к шумовому полю. Выделение значимых параметров и значимых эффектов взаимодействий и количественная оценка степени их влияния на показатели качества позволяет в сотни раз сократить в процессе дальнейших исследований количество численных экспериментов. Сокращается продолжительность процесса проектирования, поскольку оказывается возможным оперировать теперь уже ограниченным числом параметров. Повышается наглядность получаемых результатов, облегчается восприятие физического смысла исследуемых процессов.

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

Таблица 6

Степени влияния факторов на основные показатели качества

Показатель качества	Вклады факторов и эффектов взаимодействий факторов, %						
	N_X	C_{M36}	N_M	$C_{M23} N_X$	C_{M23}	$N_M N_X$	
T	50	17,5	8,8	7,2	3,3	2	
W	N_X	C_{M23}	C_{M17}	C_{M20}	C_{M16}	C_{M18}	$N_X C_{M16}$
	23,9	20,8	15,6	11,3	8,9	6,3	3,6
$\Delta \omega_D$	N_D	C_{DR}	C_{G7}	C_{G8}	C_{M16}	$N_D C_{DR}$	$C_{DR} C_{M16}$
	21,6	17,4	14	11,3	10,3	8,8	6,9
P_{Dm}	C_{M16}	C_{G7}	C_{M23}	C_{M17}	C_{M20}	$C_{M16} C_{G7}$	$C_{M17} C_{M23}$
	23,9	15,6	14,8	13,6	13,6	6,5	3,3
$(I_G)_{Pm}$	N_M	N_X	C_{M16}	C_{G7}	$N_M C_{G7}$	$N_M C_{M16}$	C_{M17}
	31,6	23,6	18	5,7	7,9	5	2,9
$(I_G)_{Tm}$	N_M	$k2$	C_{M16}	C_{G7}	$N_M k2$	$C_{M16} k2$	N_X
	30,4	24,4	16,4	6	5,5	2	9,1
$(I_G)_{Pуст}$	C_{M16}	N_X	N_D	C_{M18}	$N_D C_{G7}$	C_{M23}	$N_D N_X$
	34,8	13,5	12,2	11,9	7,5	7,2	6,8
$(I_G)_{Tуст}$	C_{M16}	N_X	N_D	C_{M18}	$N_X C_{M16}$	$N_D N_X$	C_{G7}
	41,4	21,4	13	11,5	6	3,1	2
ΔU_G	$C_{M43} C_{M44}$	$N_M C_{M42}$	C_{M20}	C_{G7}	$C_{M43} C_{M42}$	C_{M21}	
	24,2	24,1	20,7	13,8	6,9	3,4	
$T_{ГЭД разг.}$	$k1$	N_M	N_X	$C_{G8} N_X$	C_{M16}	C_{G7}	C_{M20}
	40,5	20	11,6	7,3	6,4	5	4,5
$T_{ГЭД рев.}$	C_{M16}	C_{G7}	C_{M20}	N_X	C_{G8}	C_{M38}	$C_{M16} C_{G7}$
	20,4	18,8	15,6	14,7	10,6	9,8	4,2
$(I_M)_{Pm}$	$k1$	N_X	C_{G8}	N_M	C_{M16}	$k1 N_X$	$k1 N_M$
	20	19,2	12	9,8	9,1	8,9	1,1
$(I_M)_{Tm}$	$k2$	N_M	C_{G8}	C_{M42}	$N_M C_{G8}$	C_{M16}	C_{M41}
	30,3	18	15,9	6,6	5,1	4,7	4
$(M_M)_{Pm}$	N_X	$k1$	N_M	C_{M22}	$N_M C_{M17}$	C_{M16}	C_{G8}
	31,7	12,5	12,4	9,3	6,8	6	4,3
$(M_M)_{Tm}$	C_{M23}	N_X	N_M	C_{M16}	C_{M17}	$N_M C_{M23}$	C_{M41}
	34,6	18,6	13,1	12,4	11	5,2	2
$(M_M)_{Pуст}$	N_X	C_{M16}	N_M	C_{M20}	C_{G7}	$N_M C_{M23}$	N_X
	31,1	19,4	15	10	9,3	6	3,5
$(M_M)_{Tуст}$	N_X	N_M	C_{M23}	C_{G7}	C_{G8}	$N_X N_M$	$N_M C_{M23}$
	28,9	23,7	18,5	16	8,3	2,2	2
$(\omega_M)_{Pуст.}$	N_M	C_{M20}	C_{M16}	C_{M18}	$N_M C_{M16}$	N_X	C_{G7}
	32,2	17,5	9,5	7,9	6,3	4,8	4,3
$(\omega_M)_{Tуст.}$	N_M	C_{M20}	C_{M18}	$N_M C_{M20}$	N_X	C_{M16}	$N_X C_{M16}$
	37,7	14,7	12,7	11,5	9,4	8	3,3
$(T_{CЭУ})_{разг.}$	N_X	N_D	$k1$	C_{M16}	C_{M20}	$N_D N_X$	C_{M23}
	33,6	23,5	16	14,5	6	4	2,3
$(T_{CЭУ})_{рев.}$	$k2$	C_{M16}	N_X	N_D	C_{G7}	C_{M17}	C_{M20}
	29	21,3	19,5	13,3	8	4	3,5
v_{max}	C_{M16}	C_{M20}	C_{M23}	N_X	C_{M17}	$C_{M16} N_X$	
	28,2	17,9	16,3	13,3	12,6	6,6	
$(X1)_{разг.}$	N_X	C_{M16}	C_{M20}	C_{M23}	$C_{M16} C_{M23}$	$C_{M20} C_{M23}$	N_M
	29	21,3	19,5	13,3	8	4	3,5
$(X1)_{рев.}$	N_X	C_{M16}	C_{M20}	C_{M23}	$C_{M16} C_{M23}$	$C_{M20} C_{M23}$	N_M
	29	17,9	19,5	13,3	8	4	3,5

**МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ
ПРИ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОЦЕНКАХ ПРОЕКТОВ
ГРЕБНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХОДОВ**

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гребные электрические установки: Справочник / Е.Б. Айзенштадт, Ю.М. Гилерович, Б.А. Горбунов, Сержантов В.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1985. – 304 с.*
2. *Зубарев Ю.А., Собашиников А.Д., Юхнович В.А. Расчет судовых автоматизированных систем методом активного планирования эксперимента. – Л.: Судостроение, 1976. – 96 с.*
3. *Небеснов В.И. Оптимальные режимы работы судовых комплексов. – М.: Транспорт, 1974. – 199 с.*
4. *Яровенко В.А. Расчет и оптимизация переходных режимов пропульсивных комплексов электроходов. – Одесса: Маяк, 1999. – 188 с.*

Надійшла 15.12.09

ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

Сделан вывод о причине ошибок при выполнении прогноза контейнеропотока интермодального оператора. Предложена последовательность действий для качественной оценки риска внешнего экономического окружения проекта пополнения парка подвижного состава интермодального оператора новой единицей.

Зроблено висновок про причину похибок при виконанні прогнозу контейнеропотоку інтермодального оператора. Запропонована послідовність дій для якісної оцінки ризику зовнішнього економічного оточення проекту поповнення парку рухомого складу інтермодального оператора новою одиницею.

It is drawn a conclusion about the reason for the error in the intermodal transport operator's container flow forecasting. The definite sequence of actions is proposed for the qualitative assessment of external economic environment risk in the project of intermodal transport operator's rolling-stock renewal.

Ключевые слова: *оценка рисков, интермодальный оператор, подвижной состав, теория общего равновесия, теория длинных волн Кондратьева, инновации.*

Под проектом пополнения парка (ППП) подвижного состава (ПС) интермодального оператора (ИО) новой единицей понимается предприятие, включающее приобретение, эксплуатацию и ликвидацию новой единицы ПС. Эффективность такого проекта непосредственно зависит от изменения динамики контейнеропотока ИО, тарифных ставок на перевозку по всем направлениям, цен на горюче-смазочные материалы и прочих расходов. Вышеперечисленные показатели отражают воздействие внешнего окружения проекта на него и формируют его денежные потоки. Таким образом, успешная реализация ППП ПС ИО сопряжена с высокой степенью неопределенности состояния внешнего окружения проекта на протяжении фазы эксплуатации его жизненного цикла. В этой связи очень важным является выполнение точных прогнозов значений вышеупомянутых показателей. Такое прогнозирование выполняется на прединвестиционной фазе проекта при подготовке его технико-экономического обоснования (ТЭО). В частности, в «Руководстве по подготовке промышленных технико-экономических исследований», разработанном ЮНИДО с целью стандартизации планирования проектов в развивающихся странах, говорится, что в кратком изложении ТЭО должны быть сконцентрированы и раскрыты все важнейшие аспекты исследования, такие как: степень достоверности информации о деловой среде, вложения и отдача проекта;

ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

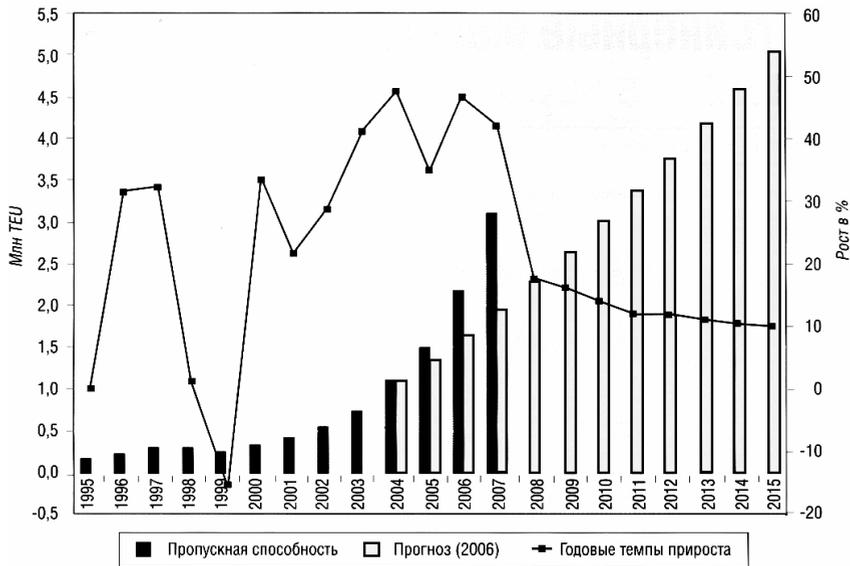
пределы погрешности (неопределенность, риск) в прогнозах рынка, снабжения и технологических тенденций; схема проекта [2. С.59].

Вопросам прогнозирования уделено много внимания в научной литературе. Соответствующий обзор был сделан в статье [1]. В диссертации [3] рассмотрены вопросы прогнозирования основных показателей энергосберегающих проектов. Однако прогнозное обеспечение проектов, внешнее окружение которых динамично меняется, например, в нынешних кризисных условиях, требует отдельного подхода. Практика показывает, что существующие методы прогнозирования не могут гарантировать необходимую точность, особенно при наступлении кризисных явлений. Так, например, в статье [1] на микроэкономическом уровне (исходя из ретроспективных данных по перевозкам ИО) был сделан прогноз о росте контейнеропотока ИО (рис. 1), который не сбывлся. На II международном «Черноморском контейнерном саммите – 2008» (9-10 октября 2008 года) [4, с. 18] были представлены результаты прогнозирования пропускной способности контейнерных терминалов портов Черноморского бассейна (рис. 2), который также оказался ошибочным. В связи с тем, что многие прогнозы в последнее время не сбываются, появилась потребность в механизме, позволяющем своевременно подкорректировать выполненный прогноз или, по крайней мере, сделать вывод о том, что прогноз является ошибочным. Таким образом, данная статья имеет целью выработать механизм, который позволяет на прединвестиционной фазе ППП ПС ИО оценить степень негативного влияния окружения на проект, которое не учтено в прогнозе, а также сделать вывод о целесообразности дальнейших исследований для оценки экономической эффективности проекта.



Рис. 1. Прогноз контейнеропотока ИО

ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

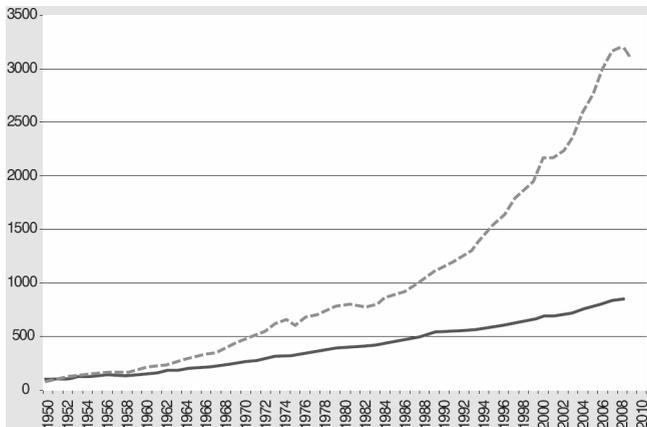


*Рис. 2. Прогноз пропускной способности
контейнерных терминалов портов Черноморского бассейна*

Как видно из представленных выше диаграмм, неудачные прогнозы связаны с тем, что при прогнозировании не было учтено влияние кризисных явлений, имевших место. Для количественной оценки влияния таких явлений предлагается рассмотреть изменение темпов роста и прироста экспорта товаров и услуг в течение первых двух лет нынешнего кризиса и предыдущего сопоставимого кризиса (так называемый «нефтяной» кризис 1973-1982 гг.). Для этого предлагается рассмотреть график на рис. 3, представляющий собой динамику изменения мирового экспорта (обозначена пунктирной линией) и ВВП (обозначена сплошной линией) в процентном выражении относительно значений этих показателей в 1950 году (принятых за 100 %) [5. С.7; 6]. Как видно на графике, в течение первых двух лет «нефтяного» кризиса рост экспорта товаров и услуг продолжался без значительных ослаблений темпа прироста. Что касается динамики изменения экспорта в течение первых двух лет нынешнего кризиса, то в 2008 г. темп прироста существенно упал, а в 2009 г. наблюдался спад экспорта по сравнению с 2008 годом. Тем не менее, в 1975 г. (третий год «нефтяного» кризиса) наблюдался такой же резкий спад экспорта, как и в 2009 г. (второй год нынешнего кризиса). Этот факт может свидетельствовать в пользу возможности количественной оценки воздействия кризисных явлений на контейнеропоток ИО путем переноса темпов роста экспорта товаров на темп роста контейнеропотока ИО. Однако такой подход является довольно грубым и экономически необоснованным ввиду отсутствия исследования экономической природы кризисных явлений и недос-

ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

таточной базы для сравнения (данные только по одному предшествующему сопоставимому кризису не могут быть достаточной основой для выводов относительно протекания текущего кризиса). Таким образом, возникает потребность в изучении экономической природы кризисов для более обоснованной оценки их воздействия как на контейнеропоток ИО, так и на другие показатели, формирующие денежные потоки ППП ПС ИО.



*Рис. 3. Динамика изменения мирового экспорта и ВВП
в процентном выражении*

В работе [7] вводится понятие рисков экономического окружения проекта. Это риски, действие которых невозможно устранить на практике и которые отражаются на всех инвестиционных проектах. Такими рисками являются финансовые, политические, законодательные. Влияние именно этих рисков не было учтено в статье [1] и приведенном выше прогнозе контейнерооборота портов Черноморского бассейна, что привело к значительным расхождениям между прогнозными и фактическими данными вследствие игнорирования кризисных явлений в экономике в совершенном прогнозе. Для учета влияния таких рисков на проект предлагается использовать методологию макроэкономического прогнозирования на базе существующих теорий экономического развития.

На текущем этапе развития экономической мысли можно выделить две основные конкурирующие теории: теория общего равновесия и теория длинных волн Кондратьева и инноваций (будем называть последнюю в дальнейшем инновационной теорией). Определяющим критерием для использования той или иной теории является способность предсказывать наступление кризисных явлений в экономике. Чем раньше и точнее это позволяют сделать исследования, базирующиеся на определенной теории, тем приемлемее становится использование такой теории для оценки рисков внешнего экономического окружения проекта. Остановим-

ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

ся на двух выделенных выше теориях экономического развития детальнее в рамках выбранного критерия (способности прогнозировать кризисы).

Теория общего равновесия занимает господствующее положение по отношению к инновационной теории. Так, например, в источнике [8] говорится, что «исходным моментом национального счетоводства является теория равновесия» [8. С. 11]. После рассмотрения положений данной теории напрашивается вывод о том, что эта теория применима лишь в идеальной экономической системе. Однако практика показывает, что таких систем нет. Можно говорить о максимально приближенных к идеалу системах, но и такие системы значительно отклоняются от идеала при наступлении кризисных явлений в них. Таким образом, теория общего равновесия не рассматривает кризисы как отдельные экономические явления, требующие особого внимания. В рамках этой теории кризисы представляют собой просто отклонения от состояния равновесия. Тем не менее, в рамках этой теории экономический анализ может с определенной степенью достоверности предсказывать надвигающиеся кризисы в результате увеличения разбалансировки в определенных сферах деятельности. Резюмируя, можно сказать, что основная идея данной теории созвучна с выражением Альфреда Маршалла о том, что «природа не делает скачков», а если и делает, то такие случаи могут без риска «условно игнорироваться как неестественные» [9. С. 18].

В инновационной теории ключевым понятием является экономический (деловой) цикл. В соответствии с этой теорией циклы являются всеобщей формой движения любых систем в природе и обществе [9. С. 48]. Обычно принято выделять 4 фазы цикла: оживление (восстановление), подъем (процветание), спад (рецессия) и депрессия. Сами инновации также развиваются циклично. В источнике [10] авторы выделили 5 фаз инновационного цикла: зарождение в недрах предыдущего цикла; инновационные становления; распространение (диффузия); стабильное развитие (зрелость); вытеснение новой, более прогрессивной системой (кризисная фаза). После этого возможен либо переход системы в новое качественное состояние (очередной цикл в ее динамике), либо распад с сохранением на какое-то время реликтом ушедшей в прошлое системы [9. С. 48-49]. Выделяют несколько экономических циклов: цикл Дж. Китчина (краткосрочный, продолжительностью от 2 до 4 лет), цикл К. Жугляра (среднесрочный, продолжительностью 8-12 лет), цикл С. Кузнеця (среднесрочный, продолжительностью 18-30 лет), цикл Н. Кондратьева (долгосрочный, продолжительностью 40-60 лет). Последний рассматривается как основной в инновационной теории. Подъем первого большого цикла Н. Д. Кондратьев связывал с промышленной революцией в Англии, второго – с развитием железнодорожного транспорта, третьего – с внедрением электроэнергии, телефона и радио, четвертого – с автомобилестроением. Пятый цикл современные ученые связывают с развитием электроники, генной инженерии, микропроцессорами. Шестой цикл обычно связывают

ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

с инновациями в био- и нанотехнологиях. Ю. В. Яковец в своей монографии [11] важное место уделяет развитию водородной энергетики и экологически чистых технологий. Несмотря на то, что, по мнению приверженцев инновационной теории, ее положения достаточно убедительно объясняют сущность всех кризисных явлений, а также позволяют их прогнозировать раньше, чем с использованием теории общего равновесия, все же и в ней присутствуют некоторые проблемы, которые свидетельствуют о ее незрелости. Например, у ученых есть множество разногласий в вопросе о том, когда закончилась четвертая длинная волна. Так, в качестве даты перехода от IV длинной волны к V разными исследователями называются разные годы: 1970 [12. С. 536], 1983 [13], 1989 [14], 1992 [15. С. 46]. С. Ю. Глазьев считает, что этот перелом произошел в конце 80-начале 90-х годов [16. С. 40-44]. В числе дискуссионных также продолжают оставаться и проблемы, связанные с объяснением механизма, порождающего длинные волны.

После рассмотрения двух экономических теорий перейдем к вопросу об их использовании для качественной оценки уровня риска внешнего экономического окружения рассматриваемого проекта. Деятельность интермодальных операторов в значительной степени зависит от состояния мирового рынка. В то же время подавляющее большинство ИО в Украине представляют собой небольшие предприятия, которые, как правило, не имеют достаточного опыта и профессионализма для прогнозирования мирового рынка и внешнеэкономической деятельности. Они не располагают достаточными средствами для проведения глубоких исследований мирового рынка ввиду необходимости привлечения дорогостоящих высококвалифицированных специалистов. Все же макроэкономическая обстановка является предметом пристального внимания со стороны широких кругов экономистов, а также различных органов государственной власти. Поэтому при проведении ее фундаментального анализа имеется возможность использования наработок и выводов, сделанных ведущими отечественными и зарубежными экспертами в данной области.

Для применения результатов макроэкономических прогнозов с целью качественной оценки рисков внешнего экономического окружения проекта предлагается последовательность действий, предусматривающая использование результатов исследований в недрах обеих вышеизложенных теорий экономического развития. Эта последовательность показана в виде блок-схемы на рис. 4. Обязательным условием является постоянное отслеживание новых результатов исследований текущего и прогнозного экономического состояния на макроэкономическом уровне, а также, по возможности, на уровне сферы рынка транспортно-экспедиторских услуг и смежных услуг и товаров как в мире, так и в Украине. При этом уровень риска считается «низким», если все прогнозы, выполненные в рамках обеих рассмотренных теорий, будут благоприятными, т.е. не ведущими к спаду деловой активности на протяжении эксплуатационной фазы ППП

ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

ПС ИО. В этом случае предлагается проводить дальнейшие исследования для оценки экономической эффективности проекта. В противном случае уровень риска считается «высоким» и проект считается экономически неэффективным (без проведения дальнейших исследований, которые считаются нецелесообразными). Длительность эксплуатационной фазы ППП ПС ИО задается в зависимости от стратегии заказчика проекта (ИО) и в рамках данной статьи принята равной 2 годам. В общем случае длительность этого периода времени может составлять от 1 месяца до среднего срока службы (эксплуатации) приобретаемой единицы ПС.

Еще раз хочется отметить, что на данный момент ни одна из рассмотренных теорий не обеспечивает точной количественной оценки рисков экономического окружения проекта. Поэтому принята такая жесткая предварительная оценка эффективности проектов.

Приведем пример, опираясь на прогноз, приведенный в статье А. А. Акаева [17]. В соответствии с этим прогнозом, фаза депрессии V волны Кондратьева будет соответствовать 2010-2018 годам, фаза оживления VI волны – 2018-2028 годам, фаза подъема – 2028-2050 годам, а фаза спада VI волны – 2050-2060 годам. Следовательно, в настоящее время инвестиционные проекты по приобретению новой единицы ПС для ИО нецелесообразны. Нет надобности в поиске других прогнозов, поскольку, как минимум, один неблагоприятный прогноз является достаточным условием для определения уровня риска как «высокий».

Напрашивается вывод о полярности взглядов двух рассмотренных экономических теорий. Думается, что на базе этих противоборствующих теорий должна быть построена одна, новая, способная более полно описывать протекающие в мире экономические процессы, а следовательно позволять выполнять более точные прогнозы. Известна попытка создания такой теории Герхардом Меншем в 1970-е гг. в его монографии [18] – модель метаморфозы. Комментируя свою модель в статье [9] Г. Менш писал: «Градуалисты недоумевали: как система может одновременно базироваться на «принципе непрерывности» (Маршалл) и «принципе прерывистости» (Шумпетер)».

В качестве дальнейшего исследования должен быть рассмотрен вопрос количественной оценки рисков внешнего экономического окружения проекта на базе доступных макроэкономических прогнозов. Однако текущий уровень развития экономических теорий, по нашему мнению, не позволяет произвести количественную оценку риска, так как для этого необходима количественная оценка воздействия кризисных явлений на различные секторы (отрасли) экономики. Углубленный экономический анализ возможно и смог бы дать количественную оценку для конкретного ИО, но стоимость такого анализа, скорее всего, не будет оправдана в данном случае (не окупится по результатам реализации проекта приобретения новой единицы ПС ИО).

**ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА**

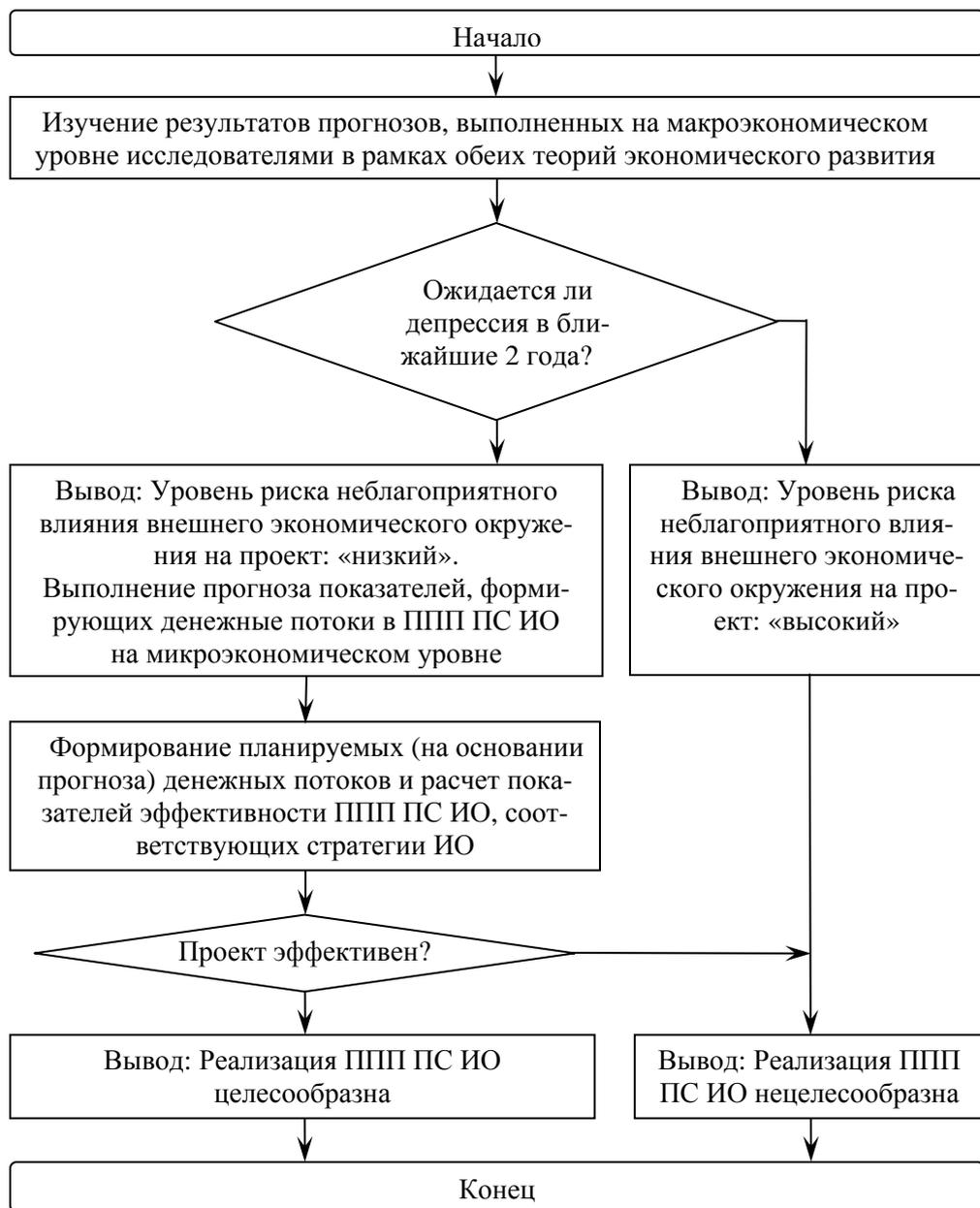


Рис. 4. Последовательность действий для качественной оценки рисков внешнего экономического окружения ППП ПС ИО

ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

В последнее время мировая экономика ощущает усиливающееся воздействие со стороны транснациональных корпораций, а также картелей, которые целенаправленно сдерживают естественное течение инноваций и способствуют увеличению псевдоинноваций. Это, в свою очередь, затрудняет определение текущей фазы цикла Кондратьева и макроэкономическое прогнозирование. В таком случае не исключены турбулентные явления в экономике, создаваемые, по сути, искусственными преградами для инновационного развития.

Для ученых-экономистов, по нашему мнению, обширным полем для исследований может быть изучение явления наложения экономических циклов различной продолжительности один на другой. Это явление может быть сравнено с явлением интерференции в физике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швец А.В. Прогнозирование контейнеропотока интермодального оператора с использованием теории нечетких множеств / А.В. Швец // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад.В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2009. – Вип. 28. – С. 175-185.
2. Беренс В. Руководство по подготовке промышленных технико-экономических исследований / Вернер Беренс, Питер М. Хавранек: Пер. с англ., перераб. и дополн. изд. – М.: АОЗТ «Интерэксперт», 1995. – 343 с.
3. Ибраева Р. М. Оценка эффективности и прогнозирование показателей энергосберегающих проектов: Дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Рушана Маратовна Ибраева. – Уфа, 2002. – 161 с.
4. Шмекер К. Контейнерные мощности и инвестиции в развитие черноморских портов / К. Шмекер // Порты Украины. – Одесса: Изд-во. «Порты Украины». – № 8 (80). – 2008. – С. 17-22.
5. Review of Maritime Transport 2009 / Report by the UNCTAD secretariat. – New York and Geneva: UNITED NATIONS PUBLICATION, 2009. – 201 p.
6. Short-term merchandise trade statistics (Quarterly world merchandise export developments, 2005-09) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wto.org/english/res_e/statis_e/quarterly_world_exp_e.htm
7. Николаев Ю.В. Разработка модели управления рисками инвестиционных проектов на транспортно-экспедиторском предприятии: Дисс. ... канд. экон. наук: 08.00.13 / Ю. В. Ни-

**ОЦЕНКА РИСКОВ В ПРОЕКТЕ ПОПОЛНЕНИЯ ПАРКА
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ИНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА**

- колаев. – М., РГБ, 2007. – 253 с.
8. Тюрина А.Д. *Макроэкономика: Конспект лекций / А.Д. Тюрина, С.А. Шилина.* – М.: Эксмо, 2008. – 160 с.
 9. Мени Г. *Цунами на рынках капитала / Г. Мени // Экономические стратегии.* – М.: Изд-во «Некоммерческое партнерство «Институт экономических стратегий», 2006. – № 2. – С. 18-23.
 10. Кузык Б.Н. *Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование: Учебник / Б.Н. Кузык, В.И. Кушлин, Ю.В. Яковец.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2008. – 575 с.
 11. Яковец Ю.В. *Эпохальные инновации XXI века / Ю.В. Яковец; Междунар. ин-т П. Сорокина-Н. Кондратьева.* – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2004. – 444 с.
 12. Kogane Y. *Long Waves of Economic Growth. Past and Future / Kogane Y. // Futures, 1988. – Vol 20. № 5. – P. 532-548.*
 13. Duijn J.J Van. *The Long Wave in Economic Life / Duijn J.J Van. – London: George Allen and Unwin, 1983. – 239 p.*
 14. Andrew Tylecote. *Generational factors in an evolutionary theory of the long wave / Andrew Tylecote // Life Cycles and Long Waves / Ed. by Vasko T., Ayres R., Fontvielle L. – Berlin etc.: Springer Verlag for International Institute for Systems Analysis, 1990. – ch.15. – P. 261–274.*
 15. Румянцева С.Ю. *Динамика инноваций и фаза длинной волны / С.Ю. Румянцева // Вестн. СПб. ун-та. Сер. 5. Экономика. – СПб.: С-Петербург. ун-т. – Вып.1. № 5. – 2001. – С. 33-48.*
 16. Львов Д.С. *Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования / Д.С.Львов, С.Ю. Глазьев, Г.Г. Фетисов.* – М.: Наука, 1992. – 207 с.
 17. Акаев А. А. *Современный финансово-экономический кризис в свете теории инновационно-технологического развития экономики и управления инновационным процессом / А. А. Акаев // Системный мониторинг: Глобальное и региональное развитие / Под ред. Д. А. Халтурина, А. В. Коротаева.* – М.: УРСС, 2009. – С. 141-162.
 18. Mensch Gerchard. *Stalemate in Technology: Innovations Overcome the Depression / Mensch Gerchard.* – Massachusetts: Cambridge, 1979.

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТНОГО ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ ЕКІПАЖІВ МОРСЬКИХ СУДЕН

Предложен концептуальный подход к формированию экипажей морских судов круизными компаниями. Представлены модели и методы анализа результатов тестирования экипажей судов.

Запропоновано концептуальні підходи до формування екіпажів морських суден круїзними компаніями. Наведено моделі та методи аналізу тестування екіпажів суден. Описано основні напрями тестів на компетентність та психологічну сумісність екіпажу морського судна.

General description of forming of crews of marine ships is given by crewing companies is given. The models of testing of crews of ships are resulted. The basic directions of tests on a competence and psychological scenarios ship crew are given.

Ключевые слова: команда проекту, круїз, інтровертність, екстравертність, нейротизм

Розвиток торговельного мореплавства в останні роки характеризується зменшенням чисельності екіпажів при одночасному збільшенні обсягів та напруженості роботи за рахунок ускладнення технічних систем, обладнання та устаткування суден. В результаті має місце збільшення кількості аварійних ситуацій та фінансових втрат, які зазнають всі зацікавлені учасники проекту.

Аналіз підстав виникнення аварійних ситуацій засвідчив, що головною причиною стану, який склався в судноплаванні став людський фактор. При цьому Міжнародна морська організація з кожним роком приділяє все більше уваги вимогам до рівня компетентності моряків, стану їх здоров'я, умов праці і життя на судні. Прийняття Міжнародною організацією праці Конвенції CONMARCON 2006 [1] та очікуємі у цьому році зміни та доповнення до Конвенції ПДНВ 78/95 також мають на увазі підвищення рівня безпеки на морському транспорті.

Важливим чинником є психологічний клімат в екіпажі. Питанню формування оптимальних команд проектів, у тому числі і за критерієм психологічної сумісності в команді, зараз приділяється значна увага серед фахівців проектного менеджменту [2, 3]. Однак, круїзні компанії, головною задачею яких є формування екіпажів суден, приділяють увагу лише формальній перевірці наявності необхідних сертифікатів і підтверджень компетентності. Екіпаж розглядається ними як сума компетенцій, а не як єдина команда. Проблема психології майже не розглядається, хоча з урахуванням особливих

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТНОГО ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ ЕКІПАЖІВ МОРСЬКИХ СУДЕН

умов праці моряків(тривалі рейси, відсутність зовнішнього спілкування, мовний бар'єр в інтернаціональних екіпажах тощо) вона стає найбільш вагомую.

Метою даної статті є розробка концептуальних рекомендацій кріюінговим компаніям щодо оптимального формування складу екіпажів морських суден на підставі методології управління командами проектів та аналізу результатів психологічних особливостей кожного з моряків.

В Україні мінімальний склад екіпажу в залежності від типу та дедвейту судна регламентується Міністерством транспорту та зв'язку. Так, для балкера дедвейтом 3 тис. тон мінімальний склад екіпажу становить 18 чоловік (див. рис. 1).

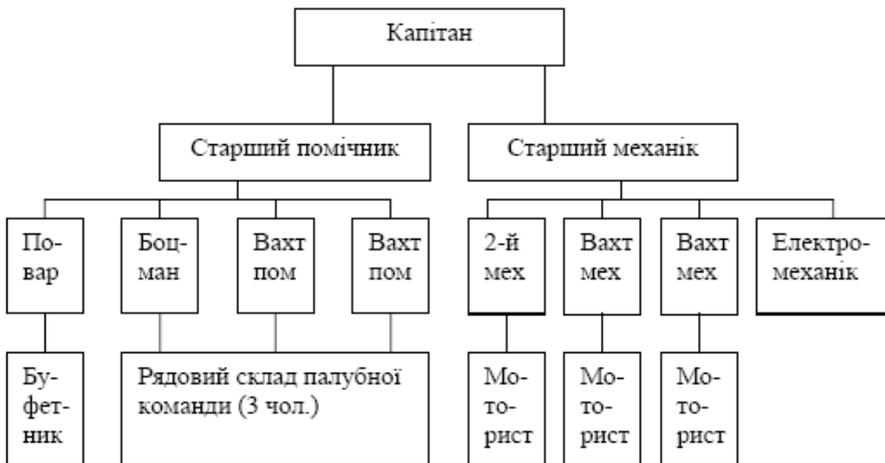


Рис. 1. Стандартний екіпаж балкера дедвейтом 3 тис.т

Виходячи з виконуємих функцій, екіпаж судна можна розділити на декілька проектних команд:

- загальне управління судном (капітан, старший помічник, старший механік);
- забезпечення навігаційної безпеки (капітан, старший помічник, вахтові помічники);
- забезпечення безпечного функціонування судових машин і механізмів (капітан, старший механік, другий механік, вахтові механіки, електромеханік);
- підтримка стану корпусних конструкцій і палубних механізмів (старший помічник, боцман, рядовий склад палубної команди);
- управління вантажними роботами (старший помічник, вантажний помічник, рядовий склад палубної команди);

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТНОГО ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ ЕКІПАЖІВ МОРСЬКИХ СУДЕН

- організації харчування та досуг екіпажу (старший помічник, повар, буфетник);
- технічного обслуговування головного енергетичного устаткування (старший механік, другий механік, моторист);
- забезпечення паливно-мастильними матеріалами (старший механік, вахтовий механік, моторист);
- технічного обслуговування суднових систем (старший механік, вахтовий механік, моторист).

Таким чином, екіпаж можна уявити як 9 проектних команд, кожна з яких виконує свій, окремо визначений обсяг роботи. Чисельність кожної команди складає від 2 до 6 осіб. Саме така кількість вважається оптимальною, виходячи з оцінки фахівців-психологів [4].

Для моделювання якісного складу команди нами обрана модель, яка має найпростішу логіку побудови й гарне тестове забезпечення для надійного визначення темпераменту. Такою є модель Г.Ю. Айзенка, у якій визначені усього два параметри: інтро- екстраверсія (їх обидві ми скорочено назвемо "вертністю", оскільки і інтро- і екстраверсія – це лише два напрямки на одній шкалі), та нейротизм. За першим із цих параметрів розрізняються екстравертивні («обернені назовні») та інтровертивні («обернені всередину себе») особи. За другим – нейростабільні (для зміни реакції яких потрібні порівняно сильні дії і які швидко «оговтуються» після припинення дії подразника) та нейрорабільні (які є чутливі до будь-яких зовнішніх дій).

Г.Ю. Айзенк запропонував тест ЕРІ для оцінки темпераменту. Він містить по 24 питання, відповіді на які дозволяють вимірювати рівень екстра- інтроверсії та нейротизму. «Абсолютно нормальна людина» відповідає точці 12/12 (тобто, вона повинна дати 12 відповідей, що співпадають з «ключами» тесту, на питання, пов'язані з рівнем екстра-інтроверсії і 12 відповідей, що співпадають з «ключами», на питання, пов'язані з рівнем нейротизму). Отримані результати утворюють точку у просторі тестування (див. рис. 2).

Цікаві дані можна отримати проектуванням одержаного вектору темпераменту на діагоналі простору тестування. Проекція на висхідну діагональ показує відносну швидкість діяльності (Ш). У напрямі справа-знизу ліворуч-догори швидкість зростає, проте пропорційно зменшується безпомилковість виконання операцій (Т). А у напрямі справа-згори ліворуч-донизу, навпаки, безпомилковість зростає за рахунок зменшення швидкості.

Проекція вектору темпераменту на низхідну діагональ також має свій сенс. У напрямі праворуч-донизу зростає стійкість до перешкод (Ш), але зменшується чутливість до керівних дій (К).

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТНОГО ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ ЕКІПАЖІВ МОРСЬКИХ СУДЕН

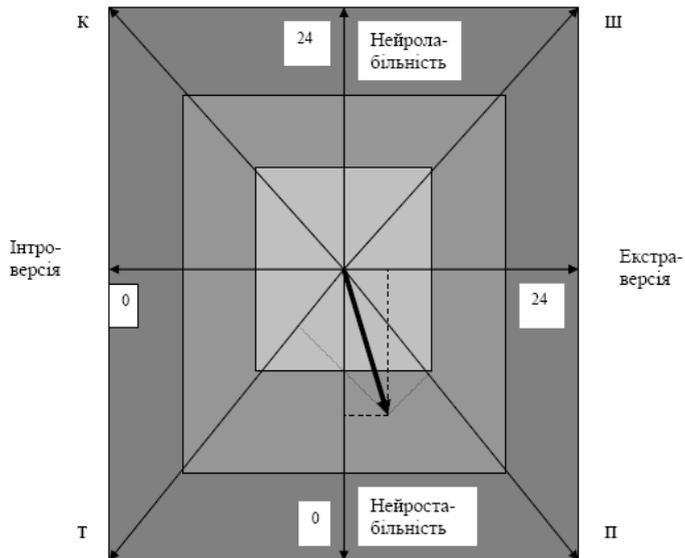


Рис.2. Приклад опису результатів тестування темпераменту

Конструюючи тест, Г.Ю. Айзенк передбачив три рівні виявлення якостей, що вимірюються: «не виражено» (відхилення від 0 до 4 за 12-бальною шкалою), «виражено» (4-8 балів) та «яскраво виражено» (більше 8 балів).

Тестування, за пропонованою нами методикою, проходить кожен член команди окремо. Потім результати розміщуються у єдиному полі інтерпретації тесту для кожної з дев'яти команд (рис. 3), завдяки чому визначається ступінь напруженості відносин між будь-якими членами команди, виявляються можливості та обмеження кожного з членів команди, а також виявляються коаліції членів команди з однаковими формами реагування.

Як видно з рис. 3, напруженість відносин визначається за кожною шкалою окремо. Вона дорівнює різниці тестових значень по відповідних осях.

На наступному етапі проаналізуємо «психологію» кожної з команд. Для цього нам потрібно буде звернути увагу на внутрішньоконандні комунікації. Саме їм відповідатиме та частина тестового поля, яка під час тестування однієї особи відповідає за екстраверсію.

Для того, щоб відобразити контакти команди із зовнішнім оточенням, доведеться розширити шкалу "вертності" ще на 12 позицій (строго кажучи, міра "розтягування" залежить від кількості осіб у команді, але для команди з розглянутими обмеженнями кількісного складу доцільно прийняти саме такий спрощений вигляд тестового поля, рис. 4).

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТНОГО ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ ЕКІПАЖІВ МОРСЬКИХ СУДЕН

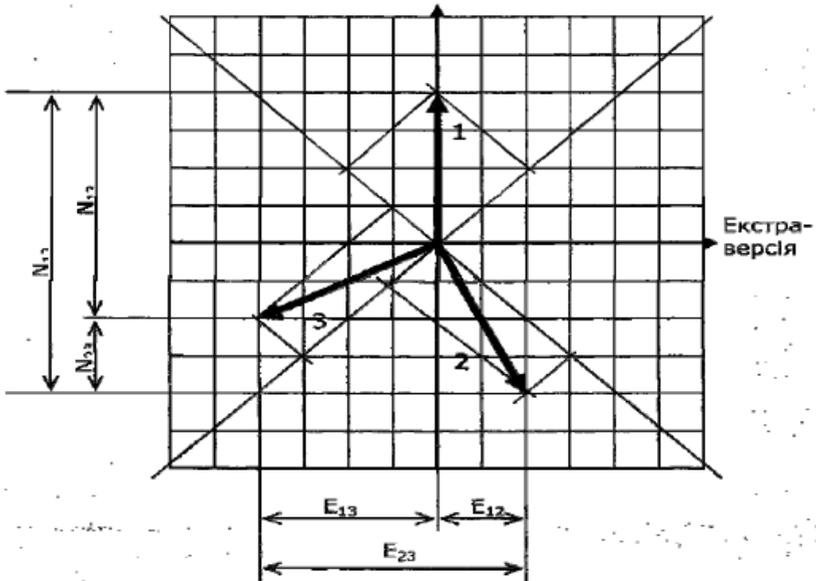


Рис. 3. Напруженість відносин у команді з трьох чоловік (позначені номерами)

Нейротизм

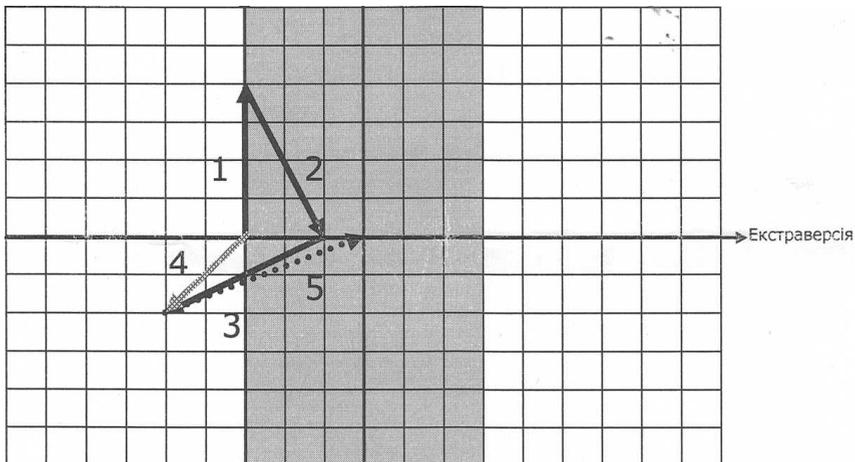


Рис. 4. Шкали для командної інтерпретації тесту Г.Ю. Айзенка та приклад командної інтерпретації. Особи 1, 2, 3 – ті, що й на попередньому рис. 1, 4 – груповий вектор осіб 1-3, 5 – вектор доданої особи

КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТНОГО ПІДХОДУ ДО ФОРМУВАННЯ ЕКІПАЖІВ МОРСЬКИХ СУДЕН

Стосовно ж шкали нейротизму приймемо, що поведінка "у межах норми" є однаковою як для особи, так і для команди. Оптимальною за складом вважатимемо таку команду, сумарний вектор "вертності" якої лежатиме посередині нової шкали "вертності", тобто, у зоні, позначеній на рис. 4 сірим кольором. Звернімо при цьому увагу на таке: оскільки кожен член команди вважає саме себе "абсолютно нормальною людиною" (а іншої точки відліку "норми" він просто не має), сумарний вектор команди має сенс. Це просто точка "групової норми" для команди певного складу. Як бачимо (рис. 4), розглянута вище команда у нових координатах не є оптимальною: її сумарний вектор лежить далеко від точки "вертності", притаманній оптимальній команді.

Зазначимо також, що команди, нейротизм яких буде нижче за 0, будуть майже некерованими й виконуватимуть переважно ті роботи, які самі вважатимуть за доцільне. А команди з нейротизмом понад 24 виглядатимуть як дуже нервові й неврівноважені.

Щоб оптимізувати склад команди, можна додати до неї ще одну особу, результати тестування якої відповідатимуть вектору 5. Але такий підхід недоцільно використовувати на морському транспорті, оскільки це збільшить витрати судновласника на заробітну плату екіпажу. Більш привабливо виглядає варіант заміни однієї чи декількох осіб команди на фахівців

На основі аналізу функцій, виконання яких покладається на ту чи іншу команду в складі екіпажу, можна визначити оптимальні координати сумарного вектора психологічних характеристик даної команди і в залежності від результатів тестування керівника команди сформуванню складу команди таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність кожної з команд.

ЛІТЕРАТУРА

1. Branch A.E. *Elements of Shipping. (CONMARCON-2006)*. – London, New York: Chapman and Hall, 2006. – 484 p.
2. Бушуєв С.Д., Морозов В.В. *Динамічне лідерство в управлінні проектами: Монографія / Українська асоціація управління проектами*. – 2-е вид. – К.: УАУП, 2000. – 312 с.
3. Авдеев В.В. *Управление персоналом: технология формирования команды: Учебн. пособие*. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 544 с.
4. Русалов В.М. *Модифицированный личностный опросник Г.Ю.Айзенка*. – М.: Смысл, 1992.
5. Антоненко С.В., Малий В.В., Мазуркевич О.І. *Психологія особистості в управлінні проектами (Властивості людського ресурсу): Навч.-метод. посібник*. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 139 с.

Надійшла 05.04.10

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ

Предложена методика формирования оптимального портфеля природоохранных проектов в территориальной эколого-экономической системе на основе зависимости между нормой доходности и уровнем инфляции.

Запропоновано методику формування оптимального портфелю природоохоронних проектів у територіальній еколого-економічній системі на основі залежності між нормою доходності та рівнем інфляції.

It is proposed the method for forming the optimal portfolio of environmental projects in the territorial eco-economic system on the basis of dependence between the rate of return and inflation rate.

Ключевые слова: природоохранный проект, экономический эффект, уровень эффективности инвестиций, коэффициент внутренней нормы общей доходности, алгоритм.

Наряду с основной проблемой, состоящей в обеспечении условий безопасности, в природоохранных проектах, как правило, решаются задачи экономического содержания. Это объясняется тем, что природоохранные проекты повышают уровень качества жизни и деятельности населения. Кроме этого изменяется структура затрат производителя, что является также важным стимулом для участия в проекте промышленных предприятий.

В общем случае экономическая выгода от реализации природоохранного проекта связана с различными видами эффектов, возникающих в производственной и непроизводственной (социальной) сферах. Схематично составляющие экономической выгоды от реализации природоохранного проекта представлены на рис. 1.

Экономический эффект в производственной сфере состоит из суммы эффектов, связанных с:

- 1) предотвращением (сокращением) потерь сырья, топлива, основных и вспомогательных материалов;
- 2) повышением производительности труда;
- 3) рациональным использованием основного производственного оборудования;
- 4) сокращением затрат на дополнительную очистку окружающей среды от различных факторов антропогенного влияния.

Экономический эффект в условиях улучшенного состояния окружающей среды, связанный с предотвращением (сокращением) потерь сырья, топлива, основных и вспомогательных материалов рассчитывается как произведение сэкономленного годового объема сырья, топлива, основных и вспомогательных материалов на их оптовую цену.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ



Рис. 1. Составляющие экономической выгоды от реализации природоохранного проекта

Экономический эффект при улучшенном состоянии окружающей среды, связанный с повышением производительности труда, оценивается по годовому приросту объема продукции либо по годовой прибыли.

Экономический эффект, связанный с более рациональным использованием основного производственного оборудования в условиях улучшенного состояния окружающей среды, оценивается по годовому приросту объема продукции в связи с сокращением простоев оборудования из-за его ремонта, уменьшением затрат на все виды ремонтов и обслуживания, повышением надежности и ремонтпригодности, срока службы оборудования.

Экономический эффект, связанный с сокращением затрат на дополнительную очистку загрязненных природных ресурсов от различных факторов антропогенного влияния, можно определить по следующей формуле:

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ**

$$B_0 = (C_1 - C_2)V, \quad (1)$$

где C_1, C_2 – себестоимость очистки в расчете на единицу ресурсов до и после реализации экологического проекта;

V – объем дополнительно очищаемого ресурса.

В социальной (непроизводственной) сфере экономический эффект от реализации природоохранного проекта образуется вследствие сокращения заболеваемости населения территориальной экосистемы и состоит из суммы предотвращенных затрат, связанных с:

1) потерей объема продукции недополученной из-за болезни части населения, занятой в сфере материального производства – $B_{чн}$;

2) выплатой компенсации из фонда социального страхования – B_c ;

3) расходами в сфере здравоохранения на лечение больных – $B_{зд}$.

Предотвращенные потери объема продукции из-за болезни работающих в сфере материального производства могут быть определены по формуле

$$B_{чн} = V_n * B * (p_2 - p_1),$$

где V_n – средний объем продукции, приходящейся на один отработанный человеко-день;

B – количество работающих человек, перенесших заболевание, вызванное загрязнением окружающей среды в течение года;

p_1, p_2 – среднегодовое количество человеко-дней работы одного человека до и после реализации экологического проекта.

Предотвращенные затраты, связанные с выплатой компенсации из фонда социального страхования за период временной и постоянной нетрудоспособности рабочим и служащим, заболевшим вследствие загрязнения окружающей среды, определим по следующей формуле:

$$B_c = C_n * B_n * (p_2 - p_1), \quad (2)$$

где C_n – средний размер пособия по временной нетрудоспособности, приходящегося на один день болезни;

B_n – количество человек, получающих пособие вследствие заболеваний с временной утратой трудоспособности из-за ухудшения состояния окружающей среды в течение года.

Предотвращенная сумма расходов в сфере здравоохранения на лечение всех жителей территориальной экосистемы от болезней, связанных с загрязнением окружающей среды, составляет

$$B_{зд} = Z * B_{зд} * D,$$

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ

где Z – средние затраты на один день лечения в сфере здравоохранения ;
 $B_{зд}$ – количество больных, лечившихся в медицинских учреждениях от заболеваний, связанных с загрязнением окружающей среды;

D – среднее количество дней болезни одного больного.

В качестве обобщенных показателей экономических результатов природоохранного проекта, характеризующих обе составляющие экономического эффекта (в производственной и социальной сферах), введем следующие показатели:

- а) интегральный дисконтированный эффект (IDE);
- б) уровень эффективности инвестиций в проект (LEI);
- в) коэффициент внутренней нормы общей доходности ($TIRR$).

Показатель дисконтированного эффекта – это непосредственное воплощение концепции дисконтированной стоимости. Данная величина характеризует общий абсолютный результат проекта, его конечный эффект.

Этот показатель предлагается рассчитывать как разность общего экономического эффекта (в производственной и непроизводственной сферах) и суммы вложенных в проект инвестиций

$$IDE = \sum_{t=1}^n \frac{B_{npt}}{(1+k_d)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{B_{cct}}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k_d)^t} - I_0, \quad (3)$$

где B_{npt} – экономический эффект от реализации проекта в производственной сфере в году t ;

B_{cct} – экономический эффект от реализации проекта в непроизводственной (социальной) сфере в году t ;

I_0 – сумма единовременных инвестиций в проект;

C_t – эксплуатационные расходы на обслуживание и содержание основных фондов, обеспечивающих эффект в производственной сфере;

k_d – дисконтная ставка, принимается на уровне доходной ставки по краткосрочным обязательствам;

i – годовой уровень инфляции;

n – длительность жизненного цикла проекта.

Проект считаем успешным, если $IDE > 0$. Однако это не означает, что каждое слагаемое в формуле (3) также должно быть положительным. В большинстве природоохранных проектов экономический эффект в социальной сфере гораздо важнее эффекта в производственной сфере.

Уровень эффективности инвестиций проекта LEI определим как отношение интегрального эффекта от реализации природоохранного проекта к сумме единовременных инвестиций, вложенных в него

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ**

$$LEI = \frac{1}{I_0} \left(\sum_{t=1}^n \frac{B_{npt}}{(1+k_d)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{B_{cct}}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+k_d)^t} \right). \quad (4)$$

Уровень эффективности инвестиций (*LEI*) можно использовать не только для сравнительной оценки, но и в качестве критерия принятия проектов к реализации. Если значение *LEI* меньше или равно единице, то проект отвергается.

Для комплексной оценки экономической эффективности природоохранных проектов предлагается использовать коэффициент внутренней нормы общей доходности (*TIRR*). Этот коэффициент будет определяться сводной ставкой доходности, при которой приведенная к настоящему периоду стоимость будущих выгод в производственной и непроизводственной сферах равна сумме инвестиций в проект

$$TIRR = \{k_d; i\} \text{ при } IDE = 0.$$

Для нахождения показателя *TIRR* можно применить алгоритм, основанный на известном алгоритме поиска значения показателя внутренней нормы доходности (*IRR*) [1. С. 161], с применением метода анализа чувствительности эффективности инвестиционных проектов [1. С. 255-266]. В качестве целевого критерия результативности используем показатель *IDE* (3).

Проанализируем последствия изменений параметров k_d и i на уровень отклонения значения *IDE*. Анализ следует проводить путем одновременного изменения указанных параметров как в большую, так и в меньшую сторону от первоначально заданных. Комбинации критических значений (т.е. значений, при которых $IDE = 0$) образуют критическую кривую.

Для условия $IDE=0$, зависимость при одновременном анализе изменений дисконтной ставки и годового уровня инфляции имеет вид

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_{npt} - C_t}{(1+k_d)^t} + \sum_{t=1}^n \frac{B_{cct}}{(1+i)^t} = I_0. \quad (5)$$

Для случая аннуитетных денежных потоков получим

$$(B_{np} - C) * PVIFA(k_d, t) + B_{cc} * PVIFA(i, t) = I_0, \quad (6)$$

где *PVIFA* – процентный множитель текущей стоимости для аннуитетов (от англ. «Present Value Interest Factor for Annuities») [2. С. 152].

Как видно, поиск критических значений k_d и i упрощается и сводится к варьированию величинами

$$PVIFA(k_d, t) = \frac{1 - (1+k_d)^{-t}}{k_d} \quad \text{и} \quad PVIFA(i, t) = \frac{1 - (1+i)^{-t}}{i},$$

которые являются табличными.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ

Критическая кривая является линией пересечения поверхности, соответствующей левой части равенства (5), с плоскостью, соответствующей правой части этого равенства. Для ее построения необходимо определить множество пар значений i и k_d , при которых выполняется равенство (5). Их можно определить, решив множество нелинейных уравнений, в которых один из параметров i (k_d) будет задан явно. Соответствующий алгоритм представлен на рис. 2.

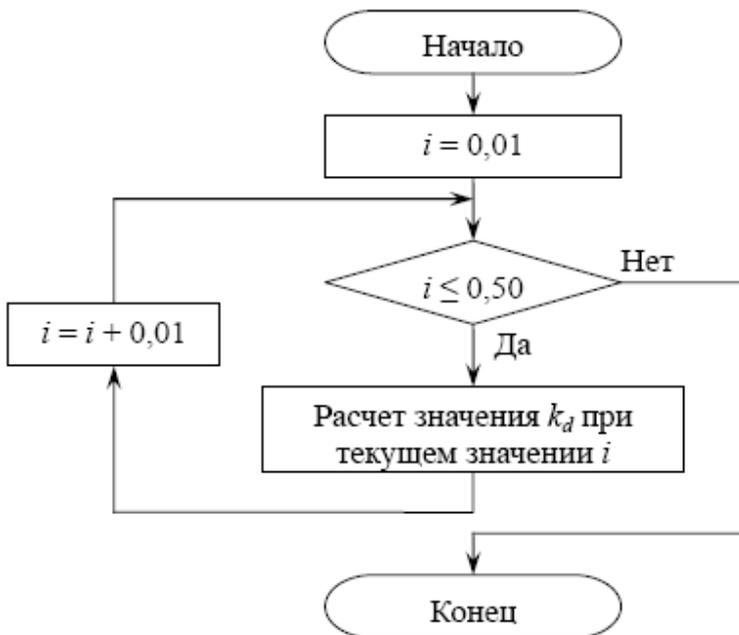


Рис. 2. Алгоритм вычисления значений k_d

Для построения поверхности, соответствующей левой части равенства (5), необходимо определение множества точек, принадлежащих ей, путем циклического вычисления значений левой части этого равенства при попеременном изменении параметров i и k_d с шагом 0,01. Соответствующий алгоритм представлен на рис. 3.

Построим критическую кривую на примере природоохранного проекта. Ниже представлены исходные данные, характеризующие проект.

$$\begin{aligned}
 n &= 10 \text{ лет.} \\
 I_0 &= 11\,108\,000 \text{ грн.} \\
 B_{пр} &= 9\,360\,000 \text{ грн.} \\
 B_{сст} &= 936\,000 \text{ грн.} \\
 C_t &= 5\,216\,695,70 \text{ грн.}
 \end{aligned}$$

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ**

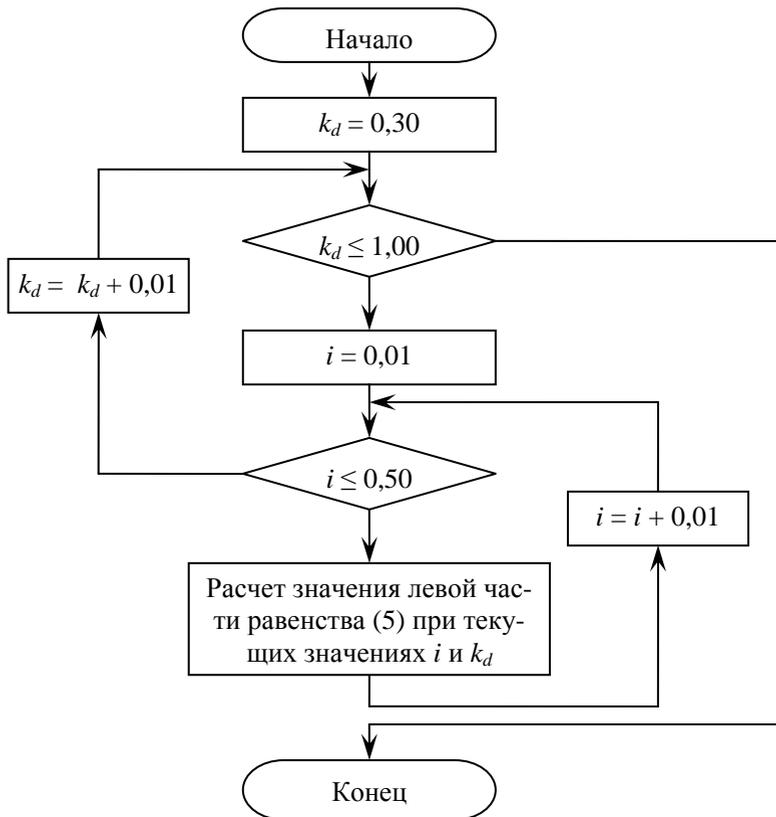


Рис. 3. Алгоритм вычисления значений левой части равенства (5)

Результаты расчета пар значений i и k_d , формирующих критическую кривую, сведены в табл. 1 (в таблице приведены данные, при которых значение k_d не превышает 1,00). График пересечения поверхности, графически отображающей левую часть равенства (5), с горизонтальной плоскостью, отложенной по оси аппликат на сумму единовременных инвестиций в проект (I_0), представлен на рис. 4. По оси абсцисс отложены в долях годовые величины инфляции (i), а по оси ординат – значения дисконтной ставки (k_d). По оси аппликат – значения левой части равенства (5) в гривнах. Все расчеты и построение графиков произведены в кроссплатформенной математической системе Scilab путем реализации описанных выше алгоритмов (см. рис. 2, 3) на языке программирования высокого уровня, используемом этой системой.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ**

Таблица 1

Пары значений i и k_d , при которых выполняется равенство (5)

i	k_d	i	k_d	i	k_d
0,06	0,981013	0,21	0,559896	0,36	0,470019
0,07	0,912448	0,22	0,550253	0,37	0,466601
0,08	0,856531	0,23	0,541398	0,38	0,463367
0,09	0,810091	0,24	0,533244	0,39	0,460303
0,10	0,770934	0,25	0,525712	0,40	0,457397
0,11	0,737494	0,26	0,518738	0,41	0,454638
0,12	0,708625	0,27	0,512264	0,42	0,452014
0,13	0,683466	0,28	0,506241	0,43	0,449517
0,14	0,66136	0,29	0,500625	0,44	0,447139
0,15	0,641796	0,30	0,495379	0,45	0,444871
0,16	0,624369	0,31	0,490469	0,46	0,442706
0,17	0,608758	0,32	0,485864	0,47	0,440638
0,18	0,594701	0,33	0,481539	0,48	0,438661
0,19	0,581985	0,34	0,47747	0,49	0,436768
0,20	0,570432	0,35	0,473637	0,50	0,434956

При формировании оптимального портфеля природоохранных проектов в территориальной эколого-экономической системе должны отбираться проекты с максимальным значением нормы доходности.

Таким образом, предлагаемые показатели экономической эффективности природоохранных проектов учитывают затраты и результаты, связанные с их реализацией, как коммерческого характера, так и те, которые выходят за рамки только финансовых интересов участников создания и реализации проектов в виде денежной оценки эффектов в социальной сфере. Разработанные показатели эффективности природоохранных проектов отображают эффективность проекта с точки зрения интересов экономики отдельных организаций и предприятий, входящих в состав территориальной экосистемы, а также интересов жителей региона в целом.

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИРОДООХРАННЫХ ПРОЕКТОВ**

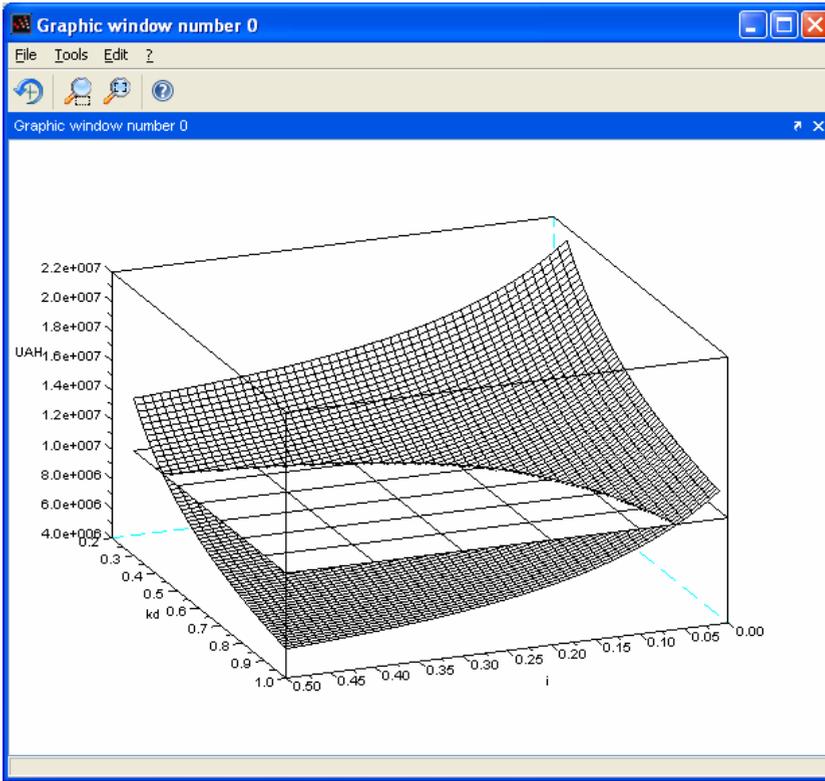


Рис. 4. Пересечение критической поверхности с плоскостью значений I_0

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапкина И.А. Проектный анализ. Теоретические основы оценки проектов на морском транспорте: Уч. пособие / Под общ. ред. И.А. Лапкиной [Лапкина И.А., Павловская Л.А., Болдырева Т.В., Шутенко Т.М.]. – Одесса: ОНМУ, 2008 – 315 с.
2. Росс С. Основы корпоративных финансов / Пер. с англ. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. – 720 с.

Надійшла 03.03.10