

# ВІСНИК



ОДЕСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ

17

Міністерство освіти і науки України



# ***ВІСНИК***

**ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО  
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Збірник наукових праць*

***ВИПУСК 17***

*Заснований у 1998 році*

**Одеса – 2005**

УДК 629.12.002(082)

ББК 39.42-011я43

В635

Вісник Одеського національного морського університету: Збірник наукових праць. – Випуск 17. – Одеса: ОНМУ, 2005. – 304 с. Українською, російською та англійською мовами.

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

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

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

Редакційна колегія:

д-р техн. наук, проф. *Ю.Л. Воробйов* – відп. редактор,  
д-р техн. наук, проф. *Шумлянський І.Ф.* – заст.відп. редактора,  
д-р техн. наук, проф. *Аксютін Л.Р.*, д-р техн.наук, проф. *Ананьїна В.З.*,  
д-р техн. наук, проф. *Вассерман О.А.*, д-р техн. наук, проф. *Гришин В.О.*,  
д-р техн. наук, проф. *Дубровський М.П.*, д-р техн. наук, проф. *Евдокімов В.Д.*,  
д-р техн. наук, проф. *Жуков Ю.Д.*, д-р техн. наук, проф. *Івановський В.Г.*,  
д-р техн. наук, проф. *Каганов Я.І.*, д-р техн. наук, проф. *Клованич С.Ф.*,  
д-р техн. наук, проф. *Козляков В.В.*, д-р техн. наук, проф. *Козирев В.К.*,  
д-р екон. наук, проф. *Лапкіна І.О.*, д-р техн. наук, проф. *Макаренко Д.В.*,  
д-р екон. наук, проф. *Махуренко Г.С.*, д-р екон. наук, проф. *Морозова І. В.*,  
д-р техн. наук, проф. *Олійник М.В.*, д-р техн. наук, проф. *Панарін П.Я.*,  
д-р техн. наук, проф. *Пойзнер М.Б.*, д-р екон. наук, проф. *Постан М.Я.*,  
д-р техн. наук, проф. *Радімов С.М.*, д-р техн. наук, проф. *Сизов В.Г.*,  
д-р екон. наук, проф. *Чекаловець В.І.*, д-р техн. наук, проф. *Яковлев П.І.*,  
д-р екон. наук, проф. *Якушенко В.Г.*, *Силакова Г.І.* – відп. секретар.

Друкується за ухвалою Вченої ради  
Одеського національного морського університету  
від 01.09.2005 р. (протокол № 1)

© Одеський національний  
морський університет, 2005

# Vivat, «Водный»!



«Одесский институт инженеров водного транспорта», «Одесский институт инженеров морского флота», «Одесский государственный морской университет», «Одесский национальный морской университет» – эти названия носил в разные годы своей семидесятипятилетней деятельности широко известный в стране и далеко за ее пределами морской вуз, который в Одессе, да и не только в ней, всегда называли и называют ласково «Водный».

История не обошла «Водный» ни славой, ни испытаниями. «Водный» родился просто и в полном соответствии с модой того времени:

из Одесского политехнического выделили специальности, соответствующие морскому профилю и образовали первые три факультета нового водного института. Ребенок рос стремительно под неусыпным патронатом Черноморских и в особенности Одесских предприятий морской отрасли: заводов, портов и судоходных компаний. В массовом порядке создавались лаборатории и учебные кабинеты, росло число студентов, был создан великолепный творческий коллектив преподавателей института, открылись новые факультеты. К концу предвоенного периода институт занял ведущее место в отрасли и среди вузов города.

В тяжелые годы Великой Отечественной сотни студентов «Водного» стали в ряды защитников Родины. Мы храним в своих сердцах светлую память о тех водниках, как студентах так и преподавателях, которые отдали свою жизнь во время обороны Одессы и Севастополя, сражались и погибли на фронтах Великой Отечественной войны. Как символ светлой памяти о них в центре нашего великолепного парка возвышается строгий обелиск «Никто не забыт, ничто не забыто...».

В апреле 1944 года с освобождением Одессы от немецко-фашистских захватчиков начинается новый этап истории «Водного». Возродившись, словно чудесная птица Феникс из пепла войны, институт в начале пятидесятых годов прошлого столетия превратился в признанный центр науки и культуры города-героя. Именно здесь зарождались научные школы по математике, гидромеханике, термодинамике, судовым энергетическим установкам, гидротехническому строительству и

другим важнейшим для теории и практики научным направлениям. Многие из этих научных школ, развивались, осваивали новые горизонты, обеспечивали рост научного потенциала других вузов и научных учреждений Одессы, Харькова, Киева, Николаева и других городов Украины.

А разве можно забыть знаменитые фестивали и торжественные вечера «Водного» тех лет! На них блистала прекрасная россыпь талантов, многие из которых заслужили высокое признание как в профессиональных артистических кругах, так и многочисленных зрителей.

Именно в это время особенно укрепилась зародившаяся еще в предвоенные годы традиция дружбы и товарищества выпускников всех лет и специальностей, основанная на глубоком чувстве их признательности родному «Водному», любви к красавице Одессе и искреннем уважении к высокому профессионализму большей части его выпускников. Недаром в студенческом гимне тех лет институту было дано такое определение:

«... восьмое чудо света,  
Учрежденье это – Одесский водный институт».

Сложное время после 1991 года Одесский институт инженеров морского флота (такое название он получил после окончания Великой Отечественной) пережил, полностью сохранив организационную структуру и свое главное достояние – научно-педагогические кадры. Нас, к счастью, почти не затронули эпопея выездов специалистов на работу за границу, либо массовый переход в коммерческие структуры. Именно на этой основе оказался возможным в независимой Украине процесс нового перевоплощения вуза, связанный с переходом от института с весьма конкретной, а поэтому достаточно узкой специализацией, к высшему учебному заведению университетского типа с достаточно широким профилем подготовки специалистов. Именно тогда родилась и была затем в течение ряда лет реализована новая концепция подготовки специалистов для всех направлений деятельности предприятий морехозяйственного комплекса. В развитие этой концепции были организованы новые специальности и специализации, и если к началу 1994 года, когда ОИИМФ был преобразован в ОГМУ, существовали шесть специальностей подготовки, то сегодня университет готовит специалистов по четырнадцати специальностям и специализациям.

Сегодня мы уверенно смотрим в будущее, ведь независимой Украине необходим мощный и современный морехозяйственный комплекс, развитие и эффективное функционирование которого предстоит осуществлять морским специалистам, подготовленным в нашем университете. От качества их подготовки во многом зависит сохранение статуса Украины как «великой транзитной державы» и ее переход к статусу «великой морской державы».

В связи со славным юбилеем я имею честь поздравить моих коллег – преподавателей и сотрудников университета и пожелать всем крепкого здоровья, творческого долголетия, исполнения заветных желаний, счастья и радости в семейном кругу и дружеском общении. Я поздравляю студентов и аспирантов университета и желаю им здоровья, больших успехов в сложном, но важном деле обучения и научного творчества, удачи в любых ситуациях, которые встречаются на жизненном пути.

Дорогие выпускники «Водного» всех лет и специальностей! Поздравляя Вас с юбилеем, я безгранично признательна Вам за то высокое чувство товарищества, которое Вы поддерживаете и развиваете, несмотря на расстояния, государственные границы и другие препятствия, которые нас разделяют.

Недавно, проходя по Торговой, я услышала, как один почтенный пожилой человек, обращаясь к другому и указывая на высотное здание морского университета, сказал:

«... знаешь, Черное море и его берега – это вечные категории. Поэтому вечными будут порты и заводы Большой Одессы, а, значит, будет жить вечно наш с тобой «Водный»».

Ректор,  
докт. эконом. наук, профессор,  
выпускница 1976 г.



Морозова И.В.

## ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ СУДОВ РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА УКРАИНЫ

*Рассмотрены возможные пути совершенствования правил классификации и постройки судов Регистра судоходства Украины. Включая предложения по универсальной классификации морских и речных судов на базе теории риска, расчеты по методу предельных нагрузок.*

*Ключевые слова: классификация, прочность, риск, морские суда, суда внутреннего плавания, суда смешанного река-море плавания, предельная нагрузка, правила.*

Одним из главных условий признания мировым сообществом классификационного общества (КО) является наличие собственных правил классификации и постройки судов (правил) этого КО.

Существующие требования правил Регистра Судоходства Украины (РУ) базируются на действующих правилах Российских Морского Регистра, Судоходства (РС) и Речного Регистра (РРР), что является совершенно логичным на этапе становления РУ как классификационного общества, т.к. подавляющее большинство судов, находящихся под надзором РУ, строились под надзором и по требованиям правил РС и РРР, в создании которых до 1991 года принимали активное участие ведущие специалисты из Одессы, Николаева, Севастополя [1-3, 16-22].

Однако логика дальнейшего развития правил национального КО в целом и их корпусной части в частности, необходим учет особенностей морского и речного транспорта Украины, в том числе:

- наличия значительного числа судов внутреннего и река-море плавания на Днестре и Дунае, промыслового и технического флота;
- объективной необходимости развития отечественного нефте-наливного флота, газозовов, железнодорожных паромов, сухогрузных многоцелевых судов прибрежного и ограниченного районов плавания (СОРП);

– обеспечения решения проблемы продления срока службы существующих судов.

Помимо этого, происходит объективный процесс развития научных основ правил, методов проектирования, методов и критериев проверочных расчетов прочности, остойчивости и непотопляемости судов с анализом риска и ущерба окружающей среде и человеку, использованием современных вычислительных методов и применением системного подхода [4-15, 22, 25, 26]. Кроме того, необходимо учесть особенности требований Морской Администрации Украины [24].

Базовой проблемой правил была, есть и будет проблема классификации судов. Существующая в правилах РУ классификация по районам плавания заимствована из правил классификационных обществ-доноров и, по сути, объединила три системы – морскую РС, внутреннего и смешанного река-море плавания PPP и внутреннего плавания для Дунайского бассейна РС.

Наличие параллельных классов судов в РС и PPP, таких как ШСП и М-СП, а также дунайских В2 и В3 с «Р» и «Л» связано с историческим разделением в условиях СССР двух классификационных обществ (морского и речного), которые к тому же находились в ведении различных ведомств, а также возникновением определенной конкуренции между ними в последние десять лет.

Существует практическая необходимость иметь согласованную гармонизированную классификацию морских и речных судов в рамках одного КО с использованием современных подходов к нормированию, таких, как формализованная оценка безопасности. Такая классификация призвана существенно облегчить и придать более объективный характер работе страховщиков, грузовладельцев, фрахтователей, администраций флага, администраций портов.

В рамках ИМО и МАКО постоянно проводится работа по созданию и унификации правил и их отдельных положений по проектированию, постройке и эксплуатации судов. Примером является серия стандартов МАКО и созданная на их базе Глава XII МК СОЛАС-74, регламентирующая прочность корпусов навалочных судов при проектировании и эксплуатации. Другим примером являются единые требования МАКО к общей продольной прочности корпусов судов – унифицированное требование МАКО С11. Сейчас делаются попытки такой унификации (гармонизации) в части местной прочности, ледовой прочности и др. Однако, все указанные требования имеют непосредственное отношение к судам с неограниченным районом плавания.

При этом в отношении СОРП действуют различные подходы, сильно отличающиеся друг от друга и зависящие от опыта классификации, накопленного тем или иным КО. Ограничения назначаются по райо-



нам, маршрутам и сезонам эксплуатации, по удалению от мест убежищ и берега, по допускаемой высоте волны и силе ветра.

Теоретической основой назначения районов плавания является моделирование возможных маршрутов, анализ мест убежищ, и, главное, изучение ветро-волновой обстановки на этих маршрутах с учетом достоверности имеющихся данных.

Практика реального применения отечественных СОРП сильно отличается от тех предпосылок, которые закладывались в определение классов при разработке правил. Идентификация подобных опасностей требует обработки труднодоступной информации об эксплуатации, происшествиях и катастрофах на базе теории риска. На основе полученной информации автором были сформулированы соответствующие предложения по нормированию прочности корпусов СОРП с учетом принципа эквивалентного риска [6, 11, 12].

Распределение классов на основе принципа эквивалентного риска  $R$  подразумевает назначение приемлемого для настоящего момента развития общества нормативного уровня риска и его удержание для всех классов путем введения дополнительных ограничений.

Следует иметь в виду, что риск определяется не только вероятностью возникновения опасных ситуаций, но и возможными их последствиями. В рамках классификации по районам плавания рассматриваются лишь те составляющие риска, которые напрямую зависят от ограничений – т.е. опасности, связанные с нарушением общей прочности корпуса и недостаточными мореходными качествами.

Риск в стоимостном выражении может быть представлен в виде

$$R = P \cdot C = \sum P_i \left( \sum \alpha_{ik} C_k \right). \quad (1)$$

В (1) применены следующие обозначения:

- $i$  – индекс категории воздействующей опасности (взрывы и пожары, столкновения, посадки на мель, ошибки во время грузовых операций и т.п.),
- $k$  – индекс последствия (затраты на восстановление поврежденного корпуса; компенсация ущерба здоровью членам экипажа и работниками порта, а также ущерб обществу от потери трудоспособного члена общества в случае фатального исхода; компенсация последствий загрязнения окружающей среды; потеря и подмочка перевозимого груза; потери эксплуатационного времени; ущерб от потери деловой репутации, страховые выплаты и т.п.);
- $P_i$  – вероятность возникновения аварийной ситуации при воздействии  $i$ -й опасности;

$\alpha_{ik}$  – весовой коэффициент  $k$ -го последствия при воздействии  $i$ -й опасности, измеряется в пределах от 0 до 1,0;

$C_k$  – стоимость  $k$ -го последствия.

Стандарт общей продольной прочности корпусов судов при воздействии волнения можно определить в форме критерия предельной пластической прочности (КППП) как

$$n_{\text{пр}} M_{\text{пр}}^0 \geq n_{\text{тв}} M_{\text{тв}}^0 + a_M^0 n_{\text{в}}^{k_M} \sqrt{\ln \frac{N}{Q_{\text{пр}}^H} + \ln \mu_1} . \quad (2)$$

В формуле (2) применены следующие обозначения:

$M_{\text{пр}}^0$  – предельный изгибающий момент корпуса;

$M_{\text{тв}}^0$  – расчетный изгибающий момент корпуса на тихой воде;

$n_{\text{тв}} \geq 1,0$  – парциальный коэффициент запаса, зависящий от опасности перегруза судна, смены балласта в море и т.п.;

$n_{\text{пр}} \leq 1,0$  – парциальный коэффициент запаса, зависящий от износа, степени устойчивости и несущей способности сжатых продольных связей, отрицательного влияния одно временного действия нескольких волновых нагрузок, наличия трещин различной природы и т.п.;

$n_{\text{в}} \geq 1,0$  – парциальный коэффициент запаса, зависящий от ошибок прогноза, нарушения районов и сезонов плавания, потери хода и пр.;

$a_M^0 = \frac{M_{\text{в}}^0}{k_M \sqrt{18,42}}$  и  $k_M \approx 1$  – параметры закона Вейбулла;

$N = \frac{T}{T_0}$  – число циклов за срок службы;

$M_{\text{в}}^0(h^*)$  – расчетный волновой изгибающий момент корпуса;

$T$  – срок службы судна;

$T_0$  – средний период долговременного спектра;

$\mu_1$  – коэффициент увеличения вероятности перелома из-за старения конструкции;

$\tilde{Q}_{\text{пр}}^H$  – нормативная величина вероятности нарушения общей прочности за время  $T$ ;

$h^*$  – величина высоты волны 3% обеспеченности для режима 5% обеспеченности в данной акватории.

В первом приближении можно принять

$$\tilde{Q}_{\text{пр}}^{\text{H}} \approx \frac{0,65}{\bar{R} \cdot \bar{M}_{\text{ТВ}}^{\text{кМ}} \cdot k_{\text{М}}} \quad (3)$$

В формуле (3)  $\bar{R} = R / C_{\text{б0}}$  – относительный риск, логарифм которого в строительстве называется относительной экономической ответственностью или степенью капиталности сооружения и который изменяется для СОРП в пределах  $\lg \bar{R} = 1 \dots 7$ ;  $C_{\text{б}}$  – строительная стоимость судна при коэффициенте запаса прочности  $K_3 = 1,0$ ;

$$\bar{M}_{\text{ТВ}} = \frac{M_{\text{ТВ}}^0 \cdot n_{\text{ТВ}}}{a_{\text{М}}^0 \cdot n_{\text{в}}}$$

Наиболее объективным способом обоснования оптимальной величины  $\tilde{Q}_{\text{пр}}^{\text{H}}$  является технико-экономический метод линеаризации стоимости жизненного цикла исследуемого объекта с учетом риска  $R$  и дисконтирования

$$\min LCC = C_{\text{б}} + C_{\text{м}} + \sum P_i (\sum \alpha_{ik} \cdot C_k) \quad (4)$$

В табл. 1 приведены результаты сравнительного анализа существующих требований к стандарту общей прочности, содержащихся в Правилах отечественных КО, и прямые оценки критерия предельной пластической прочности (КПП) и критерия усталостной прочности (КУП), которые позволили назначить соответствующие требования Правил РУ.

При этом были определены величины редуционных коэффициентов  $\varphi_{\text{св}}$  для волнового изгибающего момента по МАКО (с обеспеченностью  $\theta = 10^{-8}$  согласно п. 1.4.4 Части II «Корпус» Правил РУ, 2002 г.) и  $\varphi_{\text{г}}$  для  $W_{\text{мин}}$  в зависимости от района плавания.

Величины  $\varphi_{\text{св}}$  для КПП – это отношения

$$\frac{M_{\text{в}}^{\text{max}}(h_{3\%})}{M_{\text{в}}^{\text{max}}(h_{3\%} = 11 \text{ м})} \approx \frac{4,5\sigma_{\text{М}}^{\text{max}}(h_{3\%})}{4,5\sigma_{\text{М}}^{\text{max}}(h_{3\%} = 11 \text{ м})},$$

которые соответствуют концепции наиболее тяжелого режима плавания.

Таблица 1

Сравнение редуционных коэффициентов по району плавания для СОРП

Символ класса по району плавания	РС, 1995 г., РСУ, 2000 г.		РС, 1999 г.		РС, 2003 г.		Концепция наиболее тяжелого режима плавания		
	$\varphi_{св}$	$\varphi_r$	$\varphi_{св}$	$\varphi_r$	$\varphi_{св}$	$\varphi_r$	КППП при $\sigma_r^* = 235/\eta$	КУП при $\sigma_r^* = \sigma_0^0$	КУП при $\sigma_r^* = \sigma_0^0 \eta^{-0,4}$
(Неогр.)	1	1	1	1	1	1	$\varphi_{св}$	$\varphi_r$	$\varphi_r$
I	0,83	0,89	0,87	0,88	0,84	0,84	0,74	1+1,47	1+1,26
II	0,75	0,84	0,75	0,83	0,72	0,72	0,64	0,84+1,23	0,84+1,05
III	0,69	0,80	0,68	0,79	0,64	0,64	0,55	0,72+1,04	0,72+0,89
IIIС	0,38	0,68	0,49	0,67	0,46	0,46	0,32	0,64+0,94	0,64+0,80
III	0,33	0,66	0,40	0,65	0,37	0,37	0,28	0,46+0,67	0,46+0,57
III								0,37+0,54	0,37+0,46

Примечание:

(Неогр.) – суда без ограничений по району плавания.

Специальный символ отсутствует.

Величины  $M_b^{\max}(h_{3\%})$  и  $\sigma_m^{\max}(h_{3\%})$  – наибольший волновой изгибающий момент и его стандарт соответственно;  $h_{3\%}$  – высота волны 3% обеспеченности.

Величины  $\varphi_r$  для КУП – из условий обеспечения усталостной прочности для эталона с усталостным ресурсом  $T_y = 25$  лет судна длиной  $L = 115$  м с моментом сопротивления корпуса  $W_y = W_{\min}$  из обычной малоуглеродистой стали  $\sigma_t = 235$  МПа и пределом усталости типового узла пересечения продольного ребра с поперечными связями  $\sigma_a^0 = 39,8$  МПа.

Полученные автором величины  $\varphi_r$  для классов I, II, ПСП, а также ПСП в целом хорошо согласуются с критерием усталостной прочности, хотя и несколько превышают (для малых классов) требования правил РС, 2003 г., что объясняется необходимостью учета отрицательного влияния высокочастотных напряжений для судов классов ПСП и III, а также относительно большего влияния на эти классы «человеческого» фактора.

На основе предлагаемого подхода можно подготовить различные варианты классификации морских и речных судов, имеющие принципиальный интерес для вновь разрабатываемых правил РУ, имеющего под своим надзором все типы судов.

В табл. 2 дан пример гармонизированного решения, где дополнительно введен особый класс судов, предназначенных для эксплуатации в наиболее тяжелых условиях волнения (высокие широты Мирового океана).

Предлагается также класс СОРП с допускаемой высотой  $h_{3\%}$  около 4,5 м, который позволит эксплуатировать суда в наиболее важных для отечественных судовладельцев морях без жесткой регламентации условий плавания и соответствующих простоев в ожидании погоды, характерных для судов класса ПСП.

Полученный на основе предложенной классификации и принципа эквивалентного риска коэффициент  $\varphi_r$  указан в табл. 3. Для СОРП волновой коэффициент  $c_w$ , должен быть умножен на  $\varphi_r$ .

Этот же коэффициент применен в [23] для определения моментов сопротивления корпуса  $W_{\min}$  и волновых нагрузок.

При формировании требований к местной прочности конструкций корпусов можно использовать три различных по критериям нормирования представления расчетных формул толщин пластин и моментов сопротивления поперечного сечения балок набора корпуса (см. табл. 4 и табл. 5):

Таблица 2

*Предложения по классификации для РУ*

Описание	Пример символа	Описание	Пример символа
Неограниченный Высокие широты с $h_{3\%} \geq 15,0$ м	130	ШСП с $h_{3\%} = 3,5$ м	030
Неограниченный с $h_{3\%} = 15,0$ м	100	Ш с $h_{3\%} = 2,5$ м Прибрежное, рейдовое и портовое плавание	025
I с $h_{3\%} = 8,5$ м Без ограничений В закрытых морях	075	1 зона, В1 с $h_{3\%} = 2,0$ м	020
II с $h_{3\%} = 7,0$ м	060	2 зона, В2 с $h_{3\%} = 1,2$ м	010
ШСП с $h_{3\%} = 6,0$ м	050	3 зона, В3 с $h_{3\%} = 0,6$ м	005
ШСП с $h_{3\%} = 4-4,5$ м	040		

Таблица 3

*Редукционные коэффициенты по району плавания*

Район плавания		
	Для судов, построенных до 01.01.2002	Для судов, построенных после 01.01.2002
I	$1,1 - 0,23L \cdot 10^{-2} \leq 1$	0,88
II	$1,0 - 0,25L \cdot 10^{-2}$	0,80
ШСП	$0,94 - 0,26L \cdot 10^{-2}$	0,75
ШСП	$0,71 - 0,22L \cdot 10^{-2}$	0,65
III	$0,60 - 0,20L \cdot 10^{-2}$	0,60

– по критерию допускаемых напряжений (форма, принятая в действующих правилах РС, РУ, РРР);

– по критерию предельной нагрузки;

– по критерию остаточного прогиба.

В табл. 4 приняты следующие обозначения:

$P_1, P_2$  – расчетные эксплуатационные нагрузки с обеспеченностью порядка  $10^{-3}$  и экстремальные нагрузки с обеспеченностью  $10^{-8}$ ;

$\sigma_n = \frac{235}{\eta}$ ;  $\eta \leq 1$  – коэффициент использования механических

свойств стали;

$\ell$  – расстояние между опорными сечениями балки;

$m$  – коэффициент изгибающего момента, для жестко заделанных балок  $m = 12$ ;

$W, W_0$  – расчетные момент сопротивления и пластический момент сопротивления балки;

$\Delta s, \omega_k$  – поправки на износ к толщине пластины и к моменту сопротивления балки;

$a_0$  – расчетная шпация для расчетной длины судна;

$k_{B(D)} = W_{\text{факт}} / W_{\text{мин}}$ ,  $W_{\text{факт}}$  – фактический момент сопротивления поперечного сечения корпуса по палубе (днищу).

Представляется, что нормирование с использованием метода предельных нагрузок имеет ряд преимуществ по сравнению с принятым подходом:

– не изменяется внешняя (привычная) форма расчетных формул;

– возрастает роль переменных составляющих нагрузки;

– возрастает роль величины отношения сторон пластины  $a/b$ ,

где  $a$  и  $b$  – соответственно размеры короткой и длинной сторон;

– упрощается учет суммирования усилий от поперечного и продольного нагружения;

– исключается учет податливости опор;

– исключается учет локальной концентрации напряжений.

При этом в качестве расчетного состояния можно рекомендовать применение состояния с износом к концу срока службы с обоснованным заданием минимальных толщин и моментов сопротивления балок, что позволяет явным образом управлять расчетным сроком службы и обеспечить с достаточной гарантией к концу срока службы приемлемое состояние конструкции.

Таблица 4

Возможные формы представления расчетных формул Правил

Критерий нормирования	Пластинны	Балки	Примечания
По допускаемым напряжениям	$S = 15,8a \sqrt{\frac{P_1}{k_p \sigma_n} + \Delta s}$	$W = \frac{P_1 a l^2}{mk_p \sigma_n} \cdot \omega_k \cdot 10^3$	
По предельной нагрузке	$S = 15,8a \sqrt{\frac{P_2}{k_p \sigma_n} + \Delta s}$	$W = \frac{P_2 a l^2}{m_n m_0 k_p \sigma_n} \cdot \omega_k \cdot 10^3 \approx \frac{P_2 a l^2}{1,7 m k_p \sigma_n} \cdot \omega_k \cdot 10^3$	$m_n = \frac{W_0}{W}; m_0 = \frac{P_0 a l^2}{W_0 \sigma_n}, m_n m_0 \approx 1,7m; k_p = \frac{P_2}{P_0}$ $P_0$ – предельная нагрузка
По остаточному прогибу	$S = 11,2a \sqrt{\frac{P_2}{k_f \sigma_n} + \Delta s}$		$k_f = \frac{f}{s}; f$ – стрелка остаточного прогиба в центре пластины; $2k_f \approx k_p$
«Минимальные» величины	$S_{\min} = (A + BL) \frac{a}{a_0} \sqrt{\pi + \Delta s}$	$P_{\min}$	

Таблица 5

Возможные варианты коэффициентов запаса прочности  $k_\sigma, k_p, k_f$  для обшивки днища и настила палубы в средней части (система набора поперечная / продольная)

Учет срока службы	Критерий нормирования	
	По допускаемым напряжениям, $k_\sigma$	По остаточному прогибу, $k_f$
На начало срока службы	$\frac{0,3k_{н(0)} \leq 0,5}{0,5}$	$\frac{0,6k_{в(0)} \leq 1,1}{1,1}$
На конец срока службы	$\frac{0,4k_{к(0)} \leq 0,9}{0,2k_{н(0)} \leq 0,45}$	$\frac{0,3k_{в(0)} \leq 0,5}{0,5}$ $\frac{0,45k_{в(0)} \leq 1,0}{1,0}$



Потенциал и наработки украинских специалистов позволят в реально короткий срок разработать оригинальные и практически полезные объединенные правила постройки и классификации морских, смешанного плавания и внутреннего плавания судов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аврахов Г.В., Воробьев Ю.Л., Кунгурцева Е.Н. Расчет оптимальной загрузки сухогрузного судна на ЭЦВМ // Судостроение и судоремонт: Науч.-техн. сб. – Одесса, 1968. – Вып. 2. – С. 69-78. (ОИИМФ).
2. Воробьев Ю.Л., Коханов Э.В. Об оперативной оценке степени непотопляемости сухогрузного судна // Судостроение и морские сооружения: Республиканский межведомственный науч. – техн. сб. – 1972. Вып. 19. – С. 95-103.
3. Гулиев Ю.М., Давыдов И.Ф., Казакова Н.Н., Нечаенко И.С. Об учете мореходности при проектировании судов // Актуальные проблемы судостроения и судоремонта. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1987. – С. 3-5. (ОИИМФ).
4. Давыдов И.Ф., Ворона О.А. Заливаемость судов смешанного плавания на волнении // Труды междунар. НТК «Проблемы прочности и эксплуатационной надежности судов» ПЭНС 99. – Владивосток: ДВГТУ, 1999. – С. 228-233.
5. Егоров Г.В. Учет требований эксплуатационной прочности при назначении толщин корпусов судов внутреннего плавания системы Дунай – Майн – Рейн // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2000. – № 3(369). – С. 32-43.
6. Егоров Г.В. Единая классификация морских и речных судов с позиций теории риска // Proc. Intern. Conf. Shipbuilding and Ocean Engineering. Problems and Perspectives (SOPP'01). – Vladivostok: FESTU, 2001. – P. 269-276.
7. Егоров Г.В. Минимизация влияния судоходства на окружающую среду с использованием метода формальной оценки безопасности // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – № 5(377). – С. 8-18.
8. Егоров Г.В. Возможные пути совершенствования требований к корпусным конструкциям Правил Регистра Судоходства Украины // Матеріали міжнар. конф. «Кораблебудування: освіта, наука, виробництво». – Миколаїв: УДМУ, 2002. – Том I. – С. 188-189.

9. Егоров Г.В. Исследование возможности нормирования прочности корпусных конструкций на воздействия, не учитываемые в Правилах // Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта. – Владивосток: ДВГТУ, 2002. – Вып. 43. – С. 57-67.
10. Егоров Г.В. Нормативные требования к конструкции корпусов судов, предназначенных для перевозки опасных грузов по европейским внутренним водным путям // Судовождение: Сб. научн. трудов ОГМА. – Одесса: Латстар, 2002. – Вып. 5. – С. 34-44.
11. Егоров Г.В. Определение проектных воздействий и состояний для корпусов судов в зависимости от района плавания // Труды НТК по СМК памяти проф. П.Ф. Папковича. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2002. – С. 19-20.
12. Егоров Г.В. О возможности нормирования общей прочности корпусов судов с учетом влияния человеческого фактора // Вісник ОНМУ. – Одеса: ОНМУ, 2003. – Вып. 11. – С. 3-15.
13. Егоров Г.В. Использование теории риска при проектировании современных судов // Проблеми техніки. – 2003. – № 2. – С. 40-57.
14. Егоров Г.В. Определение нормативных скоростей износа для расчетов прочности судов смешанного плавания // Проблеми техніки. – 2004. – № 1. – С. 3-19.
15. Егоров Г.В., Козляков В.В., Сивобородченко Н.Н. Анализ критерия усталостной прочности судовых конструкций // Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. сборник. – Одесса: ОГМА, 2003. – Вып. 8. – С.2-39.
16. Жибиров В.А. Оценка несущей способности деформированных продольных ребер подпалубных цистерн навалочных судов // Судостроение и судоремонт: Сб. ОИИМФ. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1989. – С. 66-69.
17. Козляков В.В. Вопросы технико-экономического обоснования конструкций транспортных судов // Судостроение. – 1979. – № 7. – С. 13-15.
18. Козляков В.В., Егоров Г.В. Об учете требований к общей прочности морских судов при обеспечении их живучести // Судостроение. – 1991. – № 6. – С. 7-10.

19. Козляков В.В., Крайний Ю.А., Олейников В.В. Об оценке и обеспечении предельной пластической прочности судовых стареющих конструкций // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 1999. – № 4(364). – С. 21-32.
20. Козляков В.В., Кузнецов О.В., Пеклун С.Т. Вопросы обоснования надежности устройств крепления тяжеловесных палубных грузов // Совершенствование судовых устройств и гибких конструкций. – Николаев, 1983. – С. 59-68.
21. Козляков В.В., Лукаш Э.П., Олейников В.В., Суварно В., Шишенин Е.А. Комплекс ФОРТРАН-программ универсального алгоритма МКЭ для решения практических задач строительной механики корабля // Сб. научн. трудов ОИИМФ. - М.: ЦРИА "Морфлот", 1977. – Вып. IX. – С.30-39.
22. Некрасов В.А. Безопасность и надежность судов // Зб. наук. праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2001. – № 5(377). – С.3-8.
23. Правила класифікації та побудови морських суден РУ / Севрюков В.В., Квасницький В.Ф., Козляков В.В., Єгоров Г.В. та інші. – Т. 1. – Київ: РУ, 2002. - 362 с.
24. Правила будівництва та облаштування суден. НД 31.0.020-2004 / Севрюков В.В., Білокурець А.О., Єгоров Г.В., та інші / Під ред. В.В. Севрюкова. – Міністерство Транспорту України. – Київ, 2004. – 121 с.
25. Проблемы повышения уровня безопасности судов и плавучих сооружений / Е.М. Анполонов, Г.В. Бойцов, А.А. Захаров, О.Е. Литонов, А.Б. Нестеров // Науч.-техн. сб. РС. – Вып. 24. – СПб.:РС, 2001. – С. 30-47.
26. Egorov G.V., Kozlyakov V.V., Stankov B.N. An analysis of practical use experience of ultimate hull girder strength criterion and some features of hulls ductile collapses // Proc. of 21th International Conference on offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAЕ'02). – Report OMAЕ02-28224. - Oslo (Norway). - 2002. – 7 p.

Надійшла 15. 06. 05

**МОРЕХОДНОСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАРОМОВ ОГРАНИЧЕННОГО  
РАЙОНА ПЛАВАНИЯ.  
ЧАСТЬ 3. ВОЛНОВЫЕ НАГРУЗКИ В ПОЛНОМ ГРУЗУ**

*Приведены результаты теоретических исследований волновых нагрузок, действующих на корпус перспективного железнодорожного парома ограниченного района плавания.*

*Ключевые слова: волнение, качка, гидродинамические давления, перерезывающие силы, изгибающие и крутящие моменты.*

В наших работах [1], [2], посвященных оценке мореходных качеств железнодорожных паромов, спроектированных с использованием фрагментов корпусов существующих судов типа «Волго-Дон», были приведены результаты численных оценок ходкости и мореходности. Настоящая статья, по существу, является их продолжением и содержит результаты следующего этапа исследований – волновых нагрузок, действующих на корпус судна в условиях реального морского волнения интенсивностью до 6 баллов включительно по шкале ГУГМС. Оценка нагрузок, также как ходкости и мореходности, произведена для двух вариантов загрузки судна – в полном грузу и в балласте при движении со скоростью 5 узл., принятой в качестве расчетной согласно данным предыдущих этапов исследований [1], [2]. В процессе оценок для указанных вариантов загрузки произведены расчеты амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик гидродинамических давлений, горизонтальных и вертикальных перерезывающих сил, горизонтальных и вертикальных изгибающих моментов, а также крутящих моментов, действующих в различных по длине сечениях корпуса судна при движении на регулярном волнении с различными курсовыми углами по отношению к набегающему волнению. Определены статистические характеристики всех видов волновых нагрузок в условиях нерегулярного трехмерного волнения. Гидродинамические давления и поперечные составляющие волновых нагрузок (горизонтальные перерезывающие силы и изгибающие моменты, крутящие моменты) определены с учетом нелинейного вязкостного демпфирования. В связи с большим объемом полученных данных в настоящей статье приведены основные результаты для судна в полном грузу.

Особенностью настоящих исследований волновых нагрузок являются детальные оценки гидродинамических давлений, действующих в различных по длине сечениях корпуса при качке судна с шестью степенями свободы. Заметим, что в современной научной и технической литературе объем подобной информации весьма и весьма ограничен.

Характеристики объекта исследований были приведены в нашей работе [1]. Все расчеты выполнены с помощью системы программ [3], включающей комплекс программ «КАЧКА», имеющий допуск Регистра, и дополненной новым программным обеспечением, реализующим современные решения ряда актуальных задач гидродинамической теории качки [4], [5].

### 1. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ КАЧКЕ СУДНА НА РЕГУЛЯРНОМ ВОЛНЕНИИ

#### 1.1. Амплитудно-частотные характеристики

Зависимости безразмерных амплитуд гидродинамических давлений от частотного параметра в сечении, расположенном на расстоянии  $L/4$  в нос от миделя, для различных курсовых углов при скорости 5 узлов, представлены на рис. 1.1 – рис. 1.9.

Сплошные линии на этих рисунках соответствуют точкам на днище судна, отстоящим от ДП на расстоянии  $B/4$ , а пунктирные – точкам на ватерлинии. При этом жирные линии соответствуют правому борту, а тонкие – левому. Для представления о влиянии курса на максимум амплитуд, диапазон их изменений принят для всех курсовых углов одинаковым.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что максимальные значения относительных амплитуд гидродинамических давлений наблюдаются в диапазоне относительно коротких волн. Наибольшие давления действуют в районе ватерлинии. Поперечные виды качки оказывают значительное влияние на амплитуды гидродинамических давлений. Для частотной зависимости амплитуд давлений характерны вторичные максимумы. Наиболее сильно этот эффект проявляется при движении на косом попутном волнении для давлений на днище и в, меньшей степени, – для давлений на борт, как это видно из рис. 1.3.

#### 1.2. Распределение по контуру поперечных сечений

На рис. 1.10 представлено распределение амплитуд гидродинамических давлений по контуру сечения, расположенного на расстоянии  $L/4$  в нос от миделя, для различных относительных длин волн и курсовых углов при скорости 5 узлов.

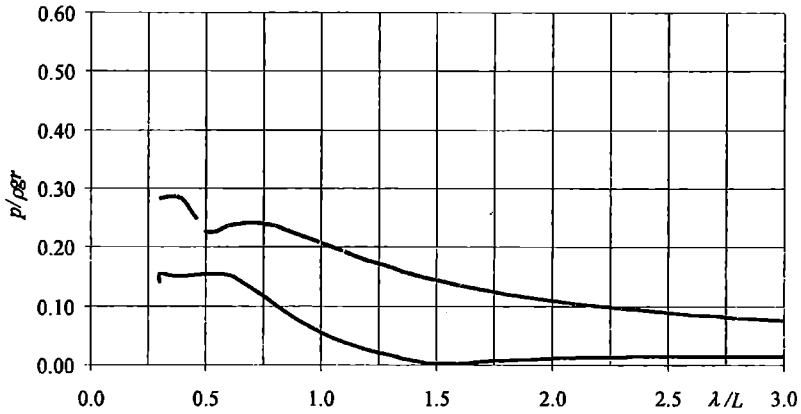


Рис. 1.1. Попутное волнение ( $\mu = 0^\circ$ )

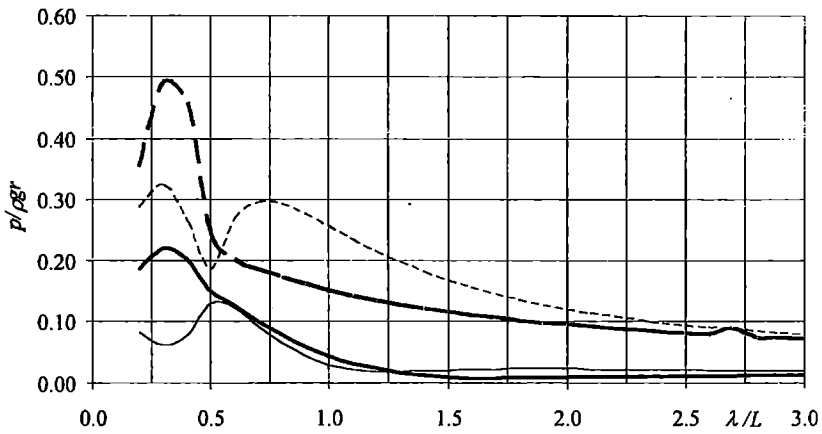


Рис. 1.2. Косое попутное волнение ( $\mu = 30^\circ$ )

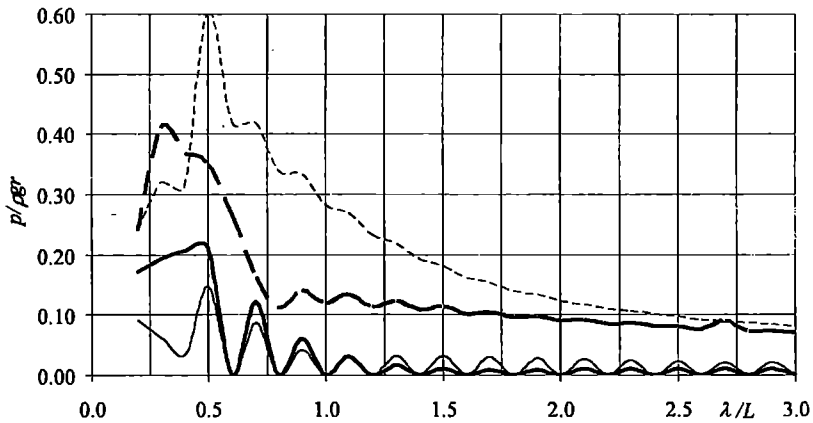


Рис. 1.3. Косое попутное волнение ( $\mu = 45^\circ$ )

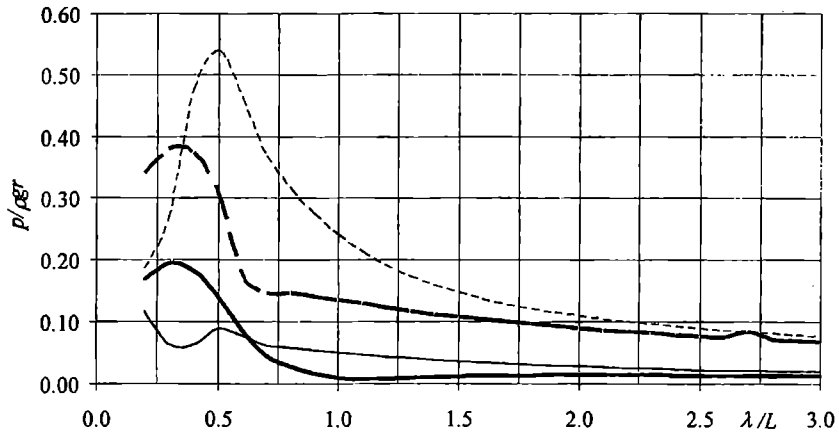


Рис. 1.4. Косое попутное волнение ( $\mu = 60^\circ$ )

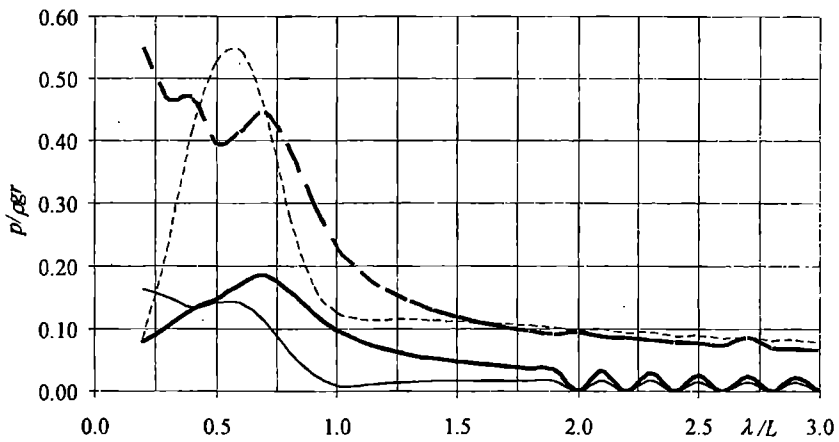


Рис. 1.5. Волнение лагом ( $\mu = 90^\circ$ )

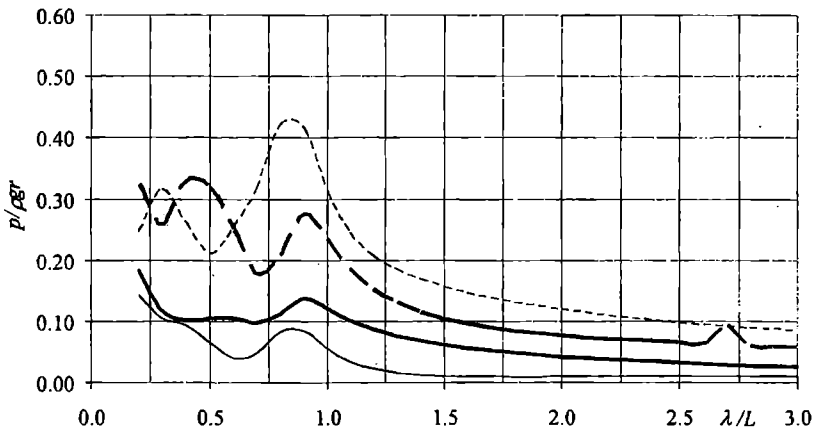


Рис. 1.6. Косое встречное волнение ( $\mu = 120^\circ$ )

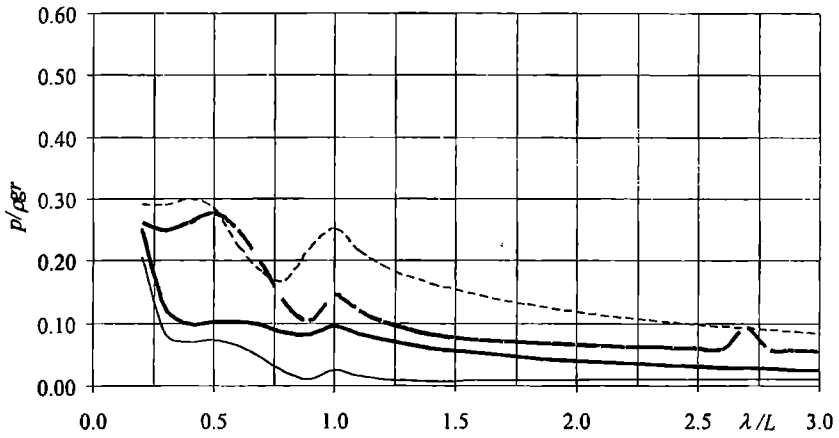


Рис. 1.7. Косое встречное волнение ( $\mu = 135^\circ$ )

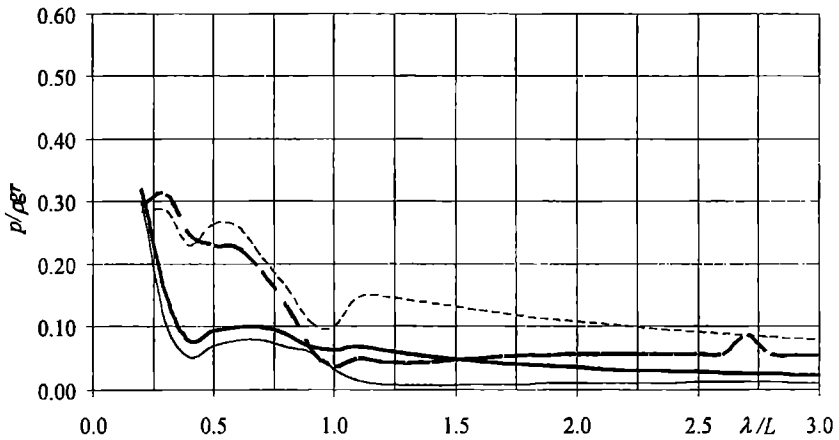


Рис. 1.8. Косое встречное волнение ( $\mu = 150^\circ$ )

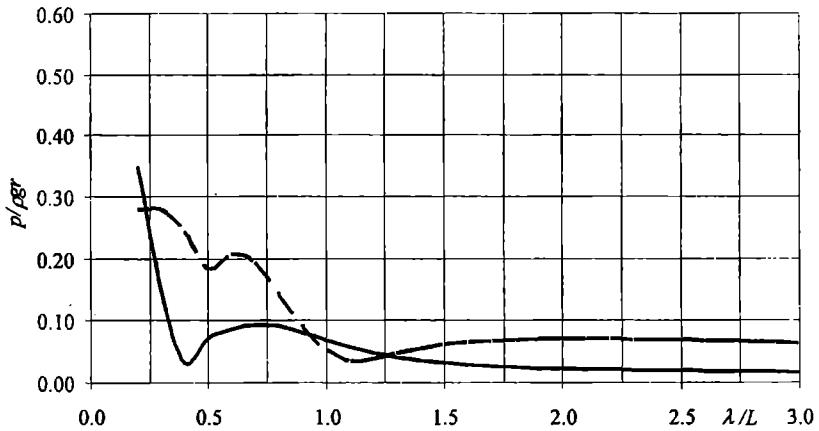
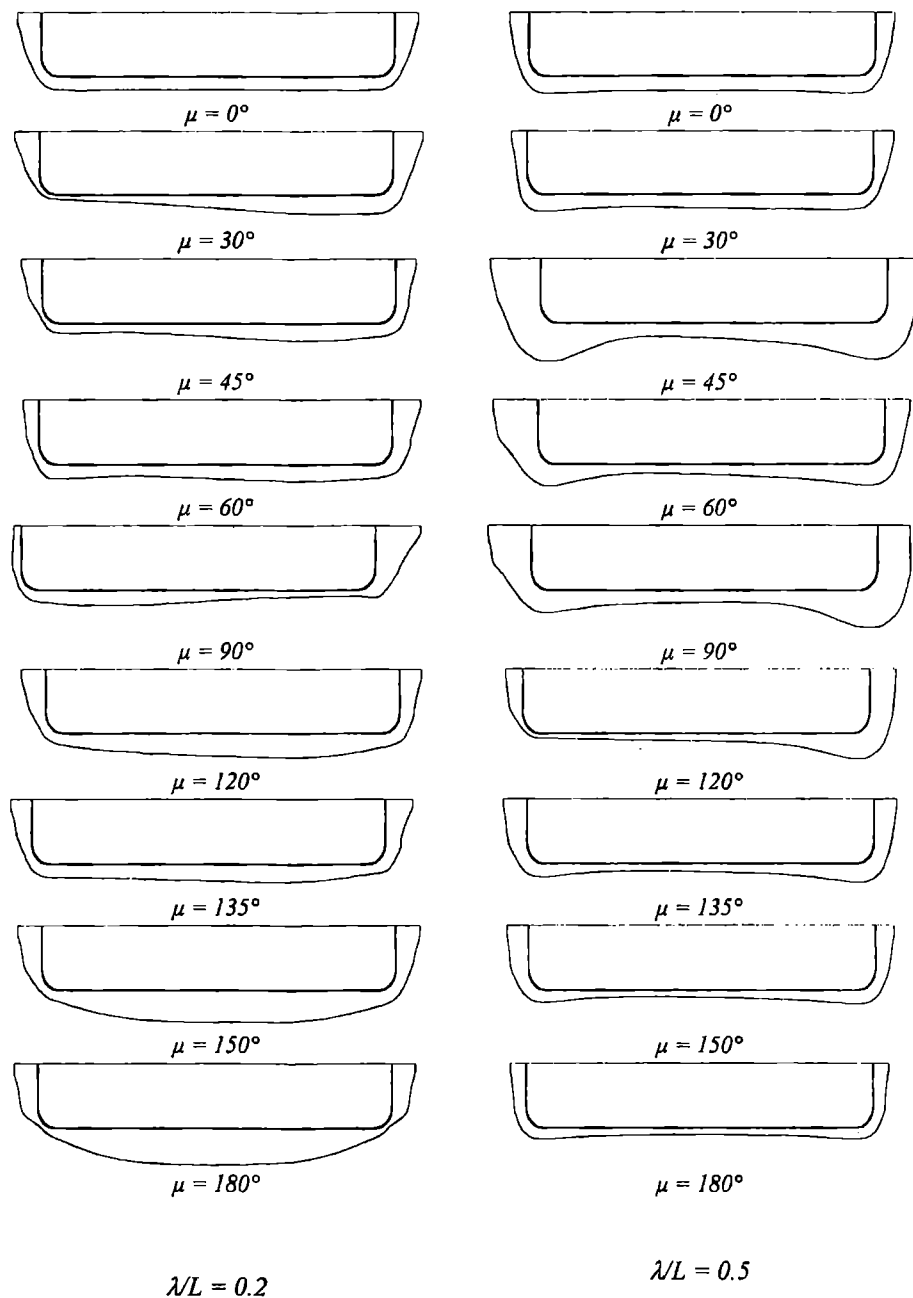


Рис. 1.9. Встречное волнение ( $\mu = 180^\circ$ )





*Рис. 1.10. Распределение амплитуд гидродинамических давлений по контуру сечения на регулярном волнении при различных курсовых углах*

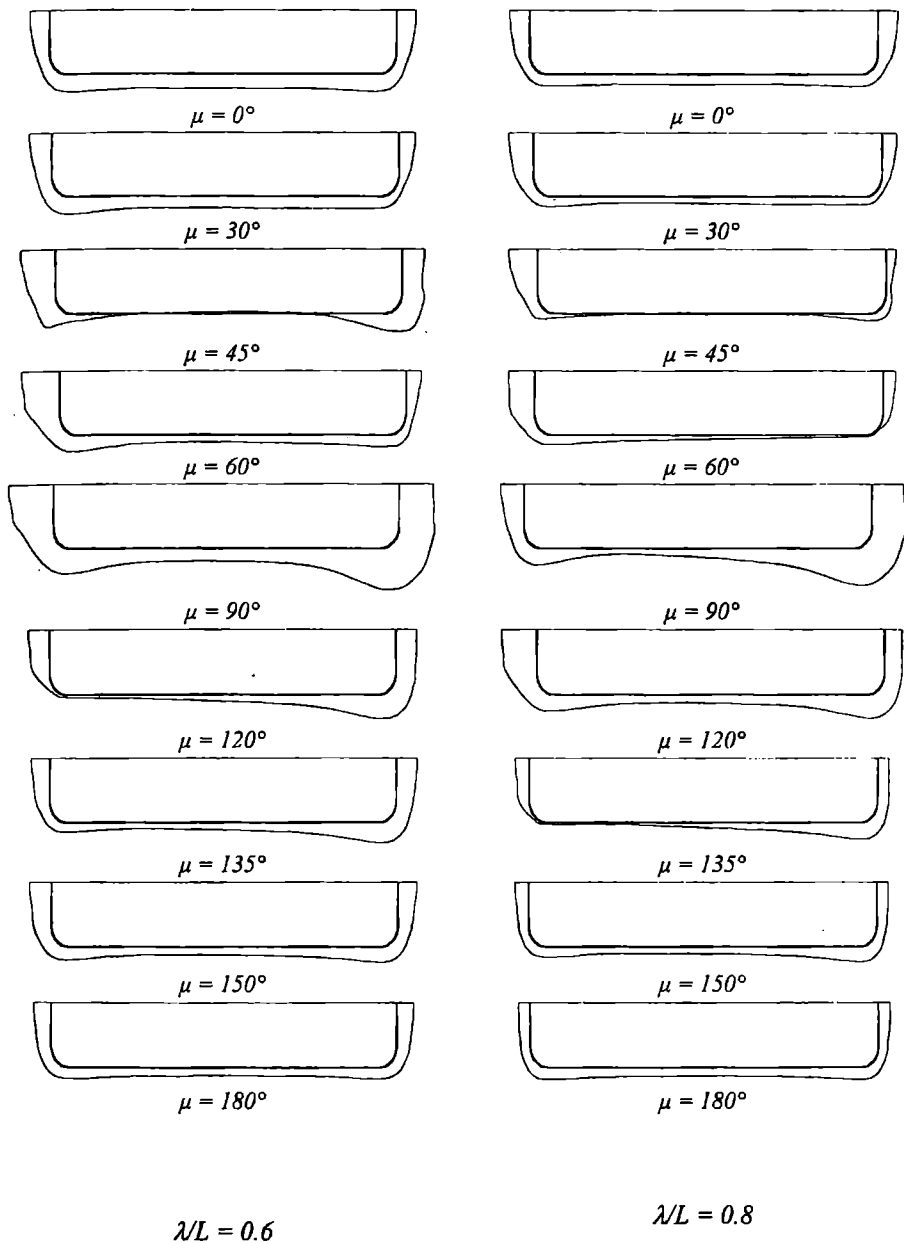


Рис. 1.10 (продолжение). Распределение амплитуд гидродинамических давлений по контуру сечения на регулярном волнении при различных курсовых углах

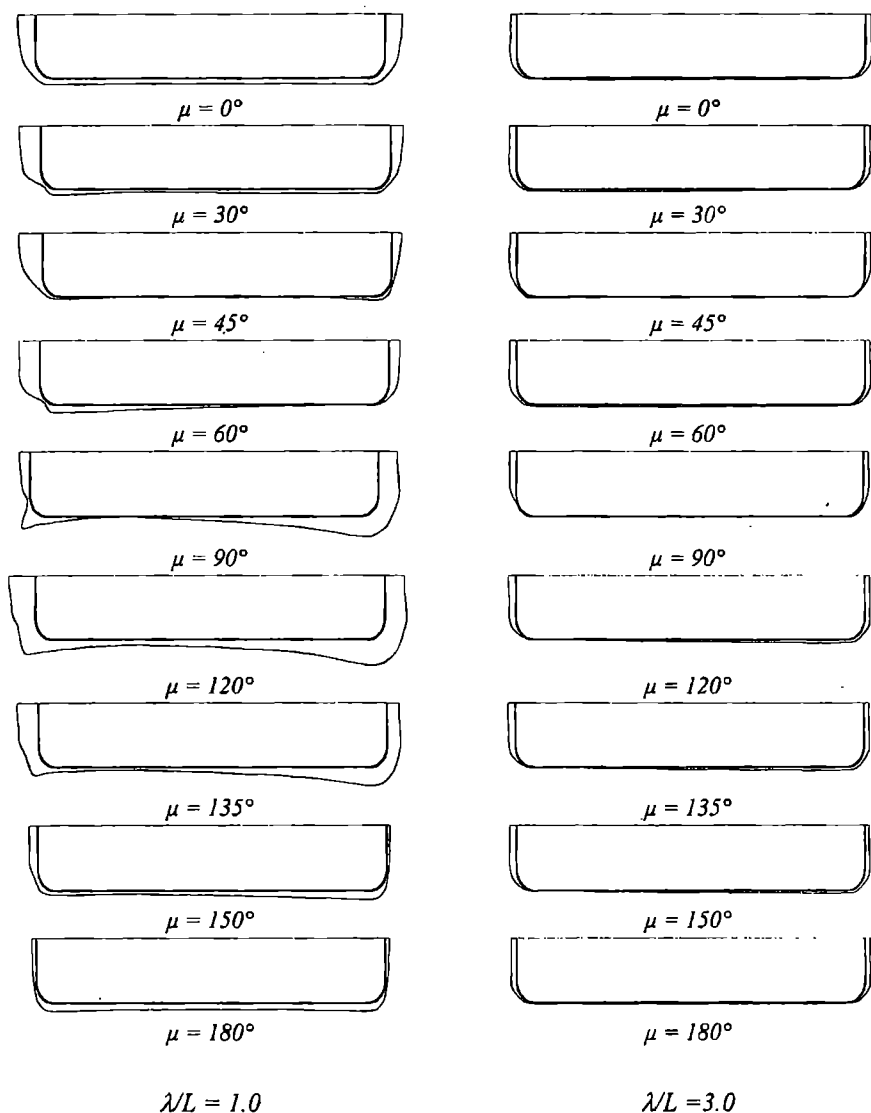


Рис. 1.10 (продолжение). Распределение амплитуд гидродинамических давлений по контуру сечения на регулярном волнении при различных курсовых углах

Эпюры распределения давлений строились по четырнадцати точкам, половина из которых располагались на левом борту, остальные — на правом.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что распределение гидродинамических давлений по контуру сечения имеет достаточно сложный характер, существенное влияние на который оказы-

вают курс судна и отношение  $\lambda/L$ . Этот характер может существенно отличаться от нормативных значений, регламентируемых Правилами различных классификационных обществ, например [6]. Распределения амплитуд давлений еще более усложнятся, если учесть влияние фазового сдвига между давлениями в различных точках контура сечения.

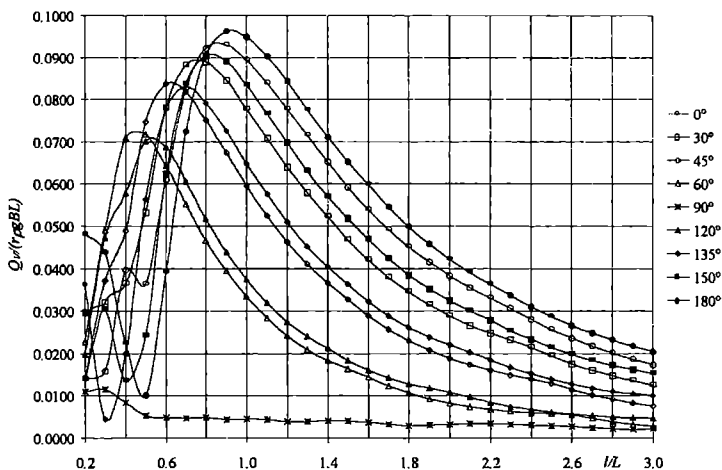
## **2. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ КАЧКЕ СУДНА НА МОРСКОМ ВОЛНЕНИИ**

### **2.1. Передаточные функции волновых нагрузок**

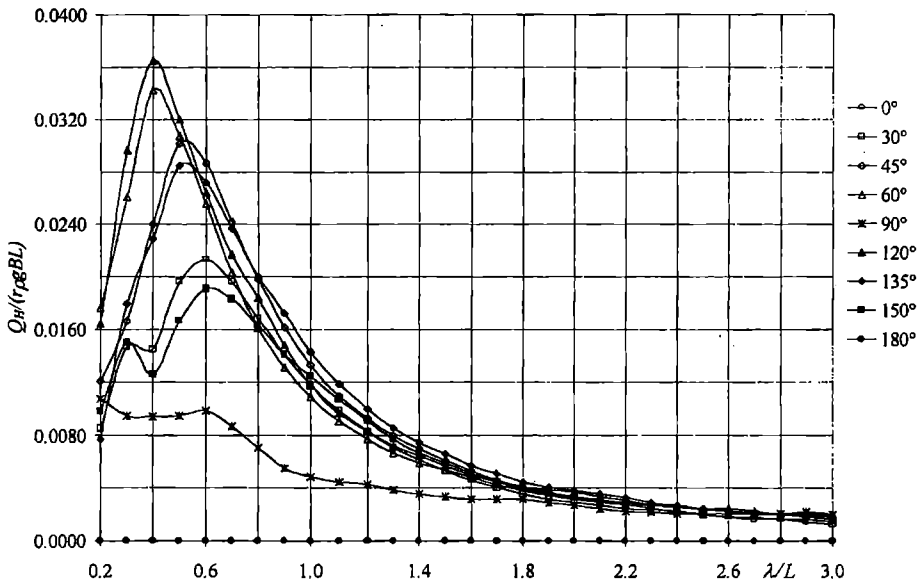
Оценка передаточных функций волновых нагрузок, также как и параметров качки, производилась с учетом нелинейности бортовой качки по демпфированию и взаимосвязи между поперечными видами качки, что существенно приближает результаты расчетов к фактическим данным [7]. В процессе расчетов учтено также влияние скуловых килей.

Аналогично расчетам качки и гидродинамических давлений, расчеты передаточных функций волновых нагрузок выполнялась в два этапа. На первом этапе методом статистической линеаризации определялась расчетная крутизна регулярного волнения. На втором этапе выполнялись расчеты передаточных функций волновых нагрузок – вертикальных и горизонтальных перерезывающих сил, крутящих моментов, вертикальных и горизонтальных изгибающих моментов на волнении расчетной крутизны при движении с различными курсовыми углами.

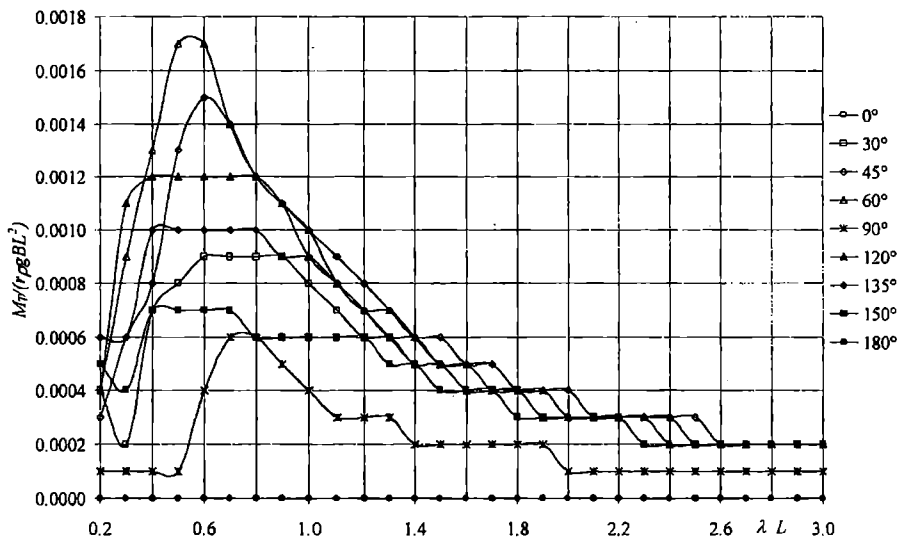
Результаты расчетов представлены на рис. 2.1 ... рис. 2.10.



*Рис. 2.1. Передаточные функции вертикальных волновых перерезывающих сил в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах*



*Рис. 2.2. Передаточные функции горизонтальных волновых перерезывающих сил в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах*



*Рис. 2.3. Передаточные функции волновых крутящих моментов в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах*

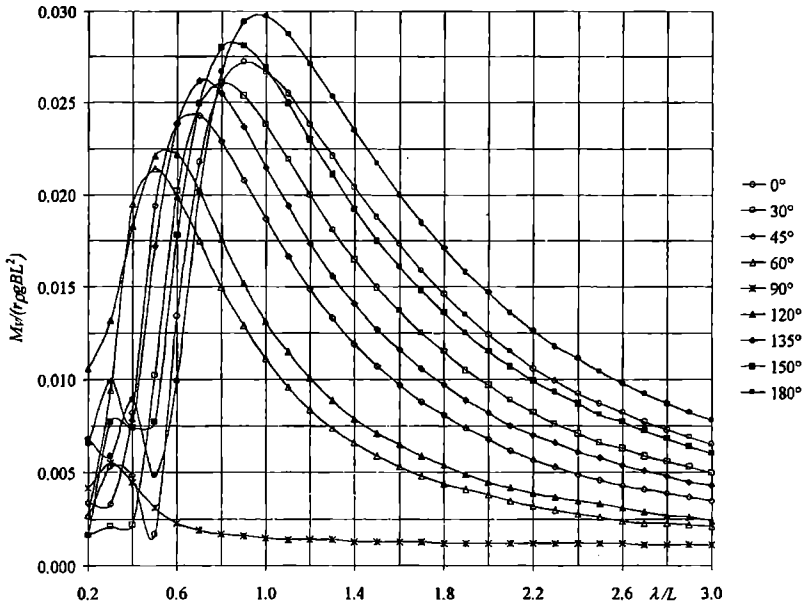


Рис. 2.4. Передаточные функции вертикальных волновых изгибающих моментов на миделе при различных курсовых углах

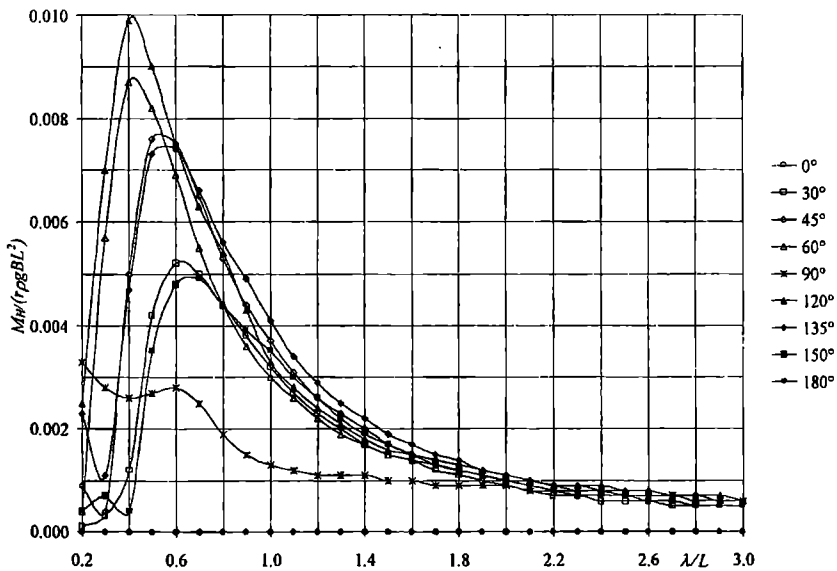


Рис. 2.5. Передаточные функции горизонтальных волновых изгибающих моментов на миделе при различных курсовых углах

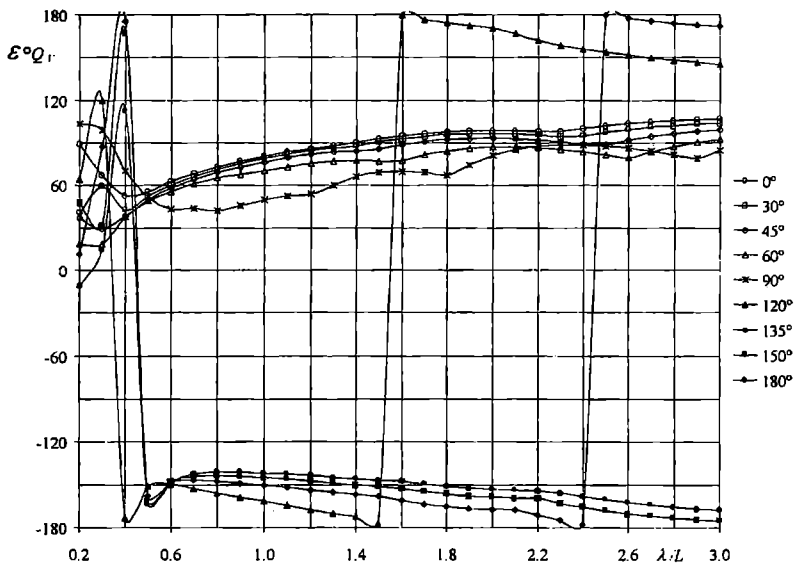


Рис. 2.6. Фазочастотные характеристики вертикальных волновых перерезывающих сил в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах

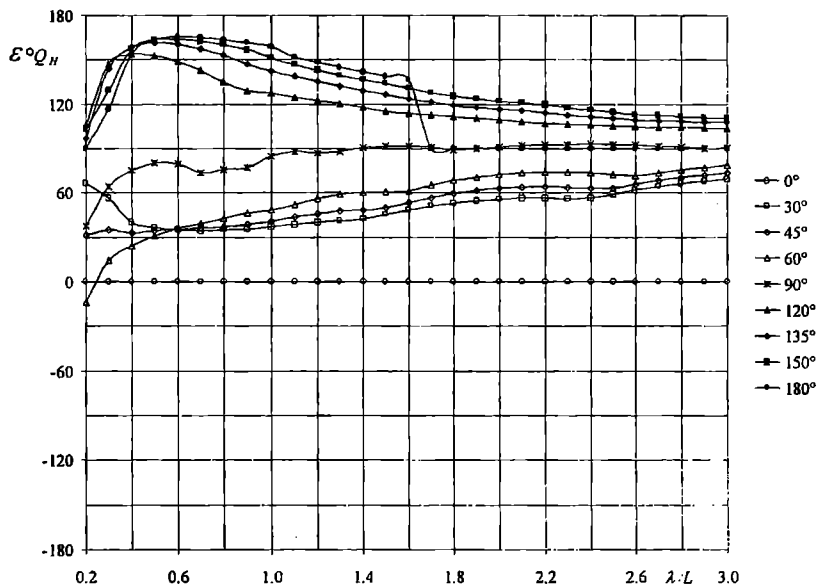


Рис. 2.7. Фазочастотные характеристики горизонтальных волновых перерезывающих сил в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах

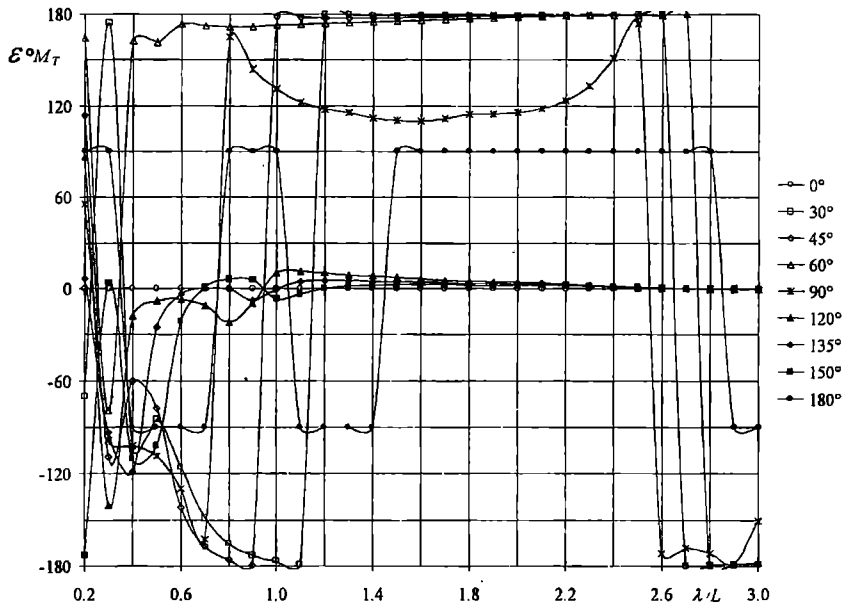


Рис. 2.8. Фазочастотные характеристики волновых крутящих моментов в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах

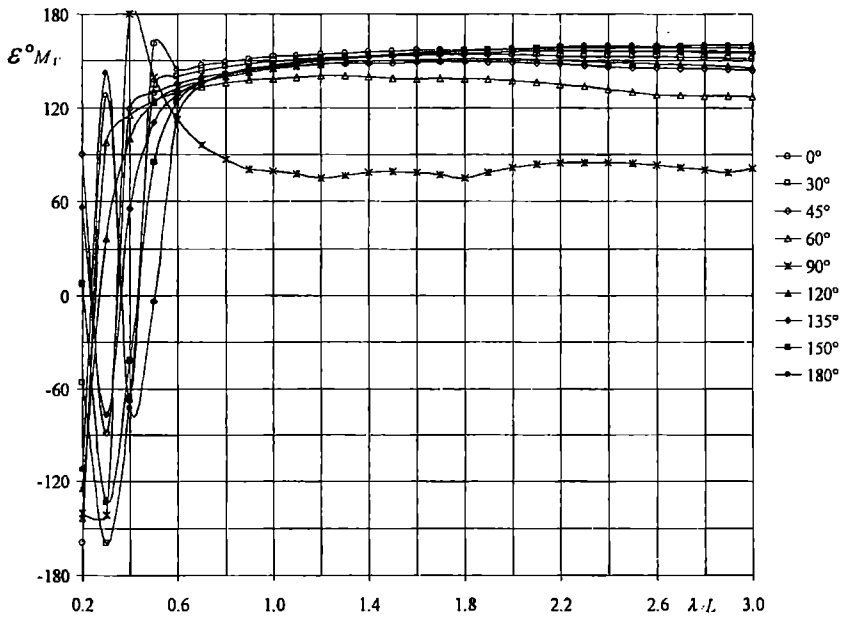


Рис. 2.9. Фазочастотные характеристики вертикальных волновых изгибающих моментов на миделе при различных курсовых углах



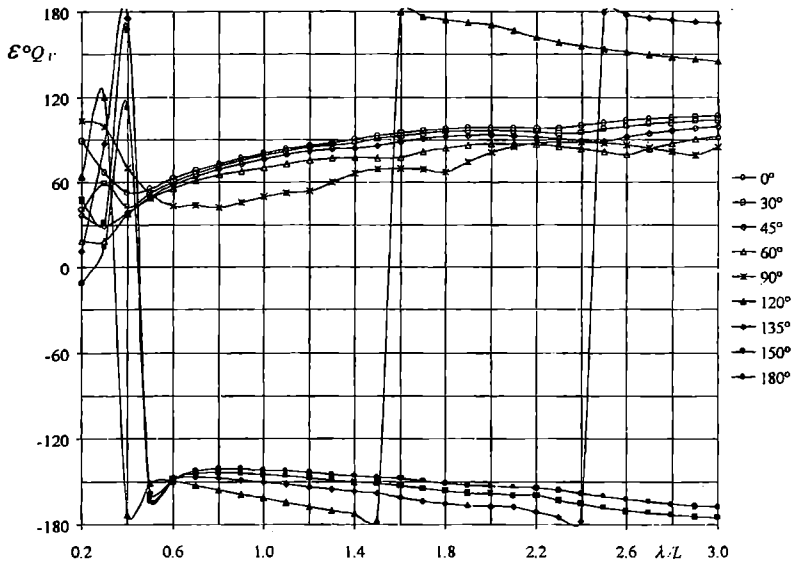


Рис. 2.6. Фазочастотные характеристики вертикальных волновых перерезывающих сил в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах

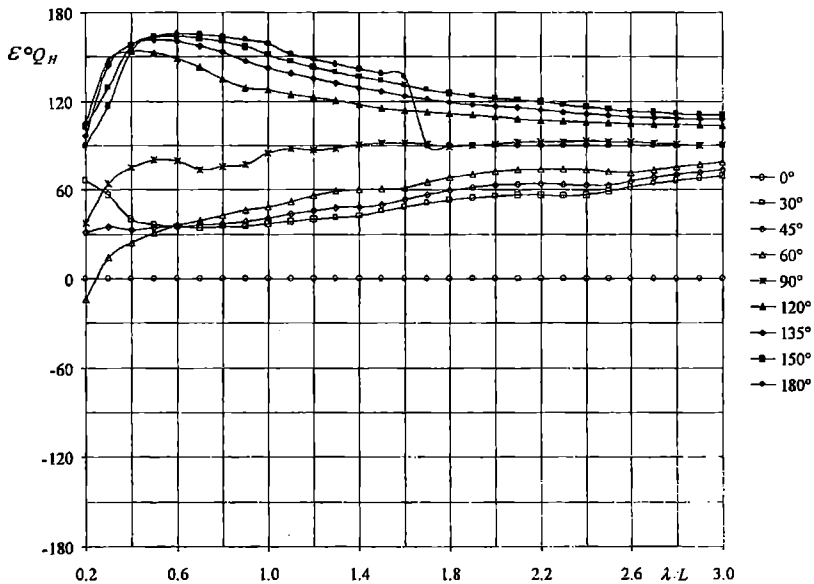


Рис. 2.7. Фазочастотные характеристики горизонтальных волновых перерезывающих сил в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах

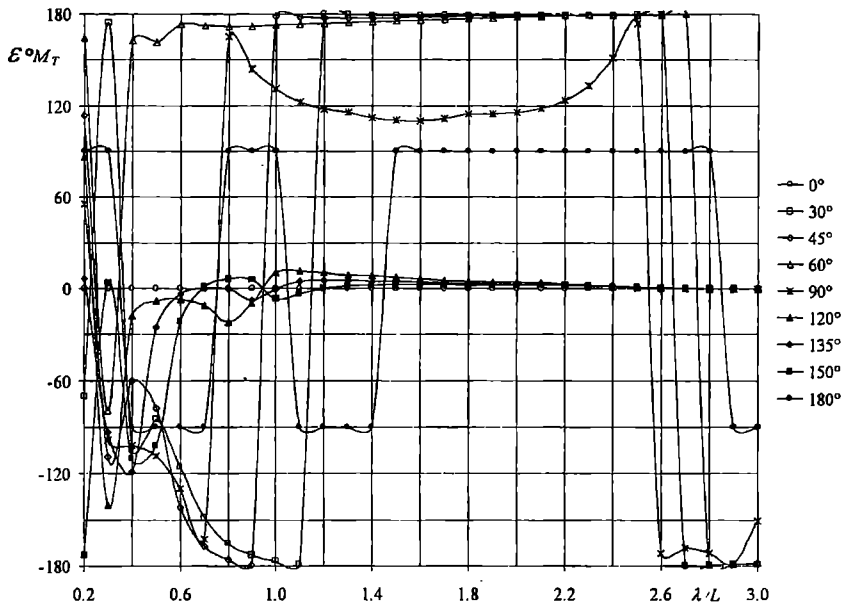


Рис. 2.8. Фазочастотные характеристики волновых крутящих моментов в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных курсовых углах

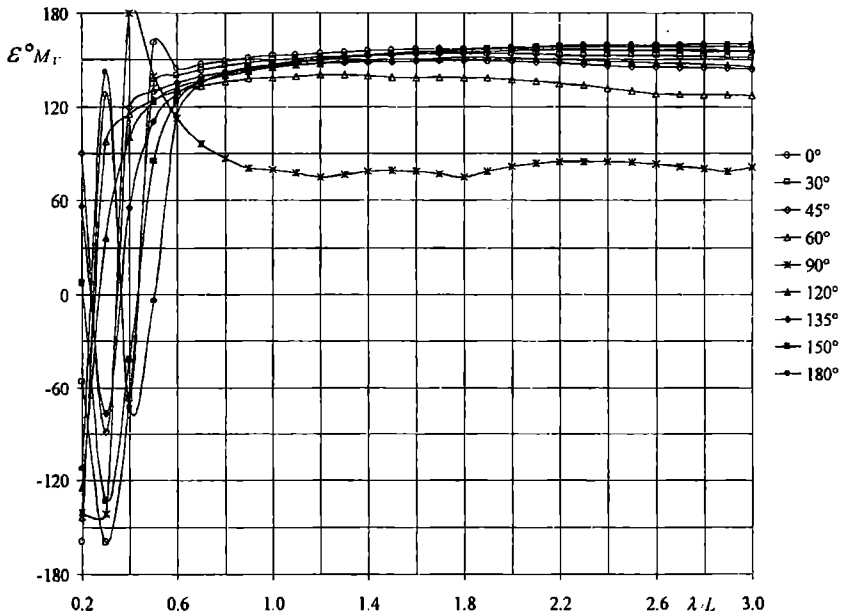


Рис. 2.9. Фазочастотные характеристики вертикальных волновых изгибающих моментов на миделе при различных курсовых углах

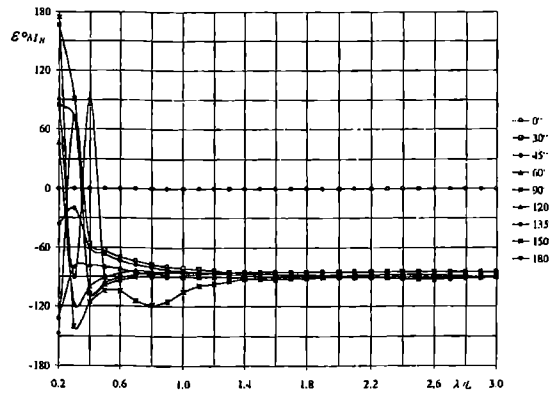


Рис. 2.10. Фазочастотные характеристики горизонтальных волновых изгибающих моментов на миделе при различных курсовых углах

### 2.2. Статистические характеристики волновых нагрузок

В качестве расчетного спектра принимался спектр II Международного конгресса по прочности и конструкции корпуса, угловое распределение энергии волн – по формуле Артура.

Результаты расчетов распределений стандартов всех пяти видов волновых нагрузок по длине судна для некоторых характерных курсовых углов на нерегулярном трехмерном волнении высотой  $h_{3\%} = 6.0$  м при различных средних периодах, равных 4.5, 5.5, 6.5, 7.5 с, представлены на рис. 2.11 – рис. 2.15.

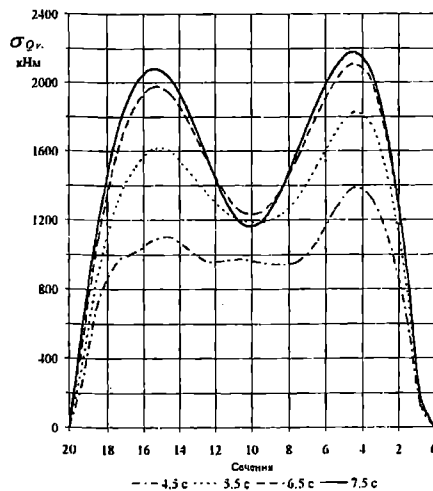


Рис. 2.11. Распределение вертикальных волновых перерезывающих сил по длине судна на встречном волнении при различных средних периодах

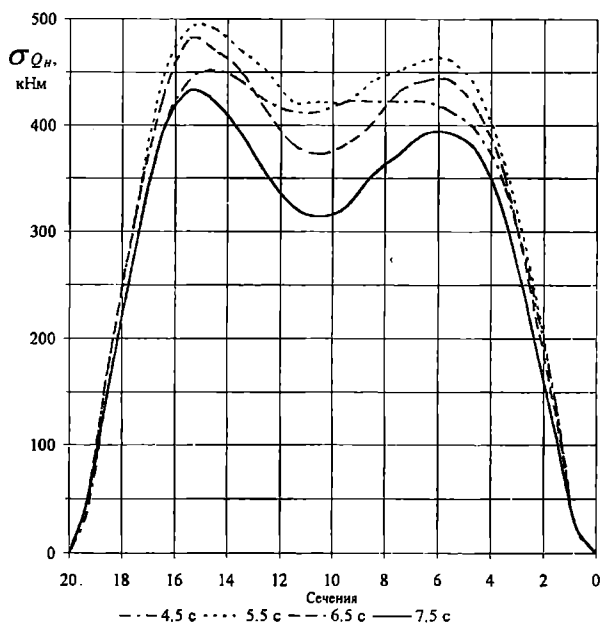


Рис. 2.12. Распределение горизонтальных волновых перерезывающих сил по длине судна на встречном волнении при различных средних периодах

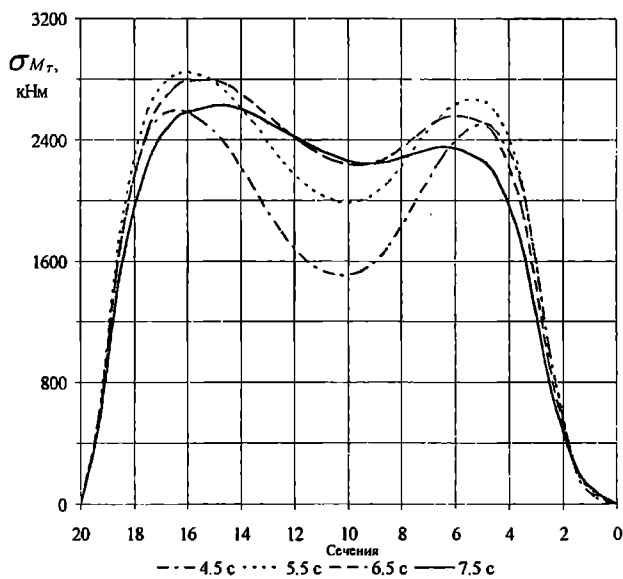


Рис. 2.13. Распределение волновых крутящих моментов по длине судна на встречном волнении при различных средних периодах

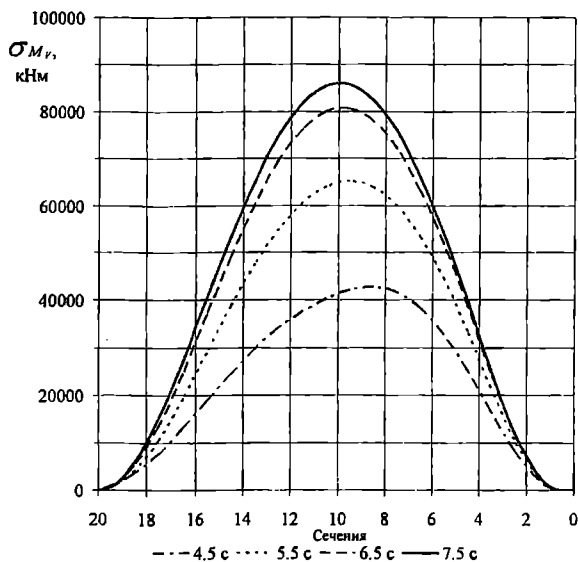


Рис. 2.14. Распределение вертикальных волновых изгибающих моментов по длине судна на встречном волнении при различных средних периодах

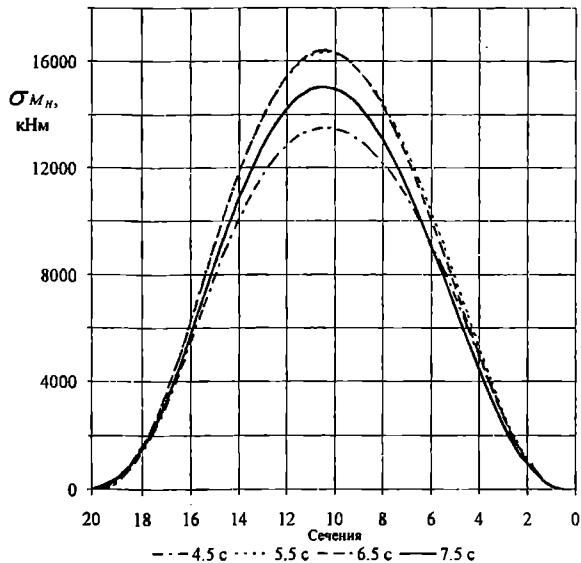
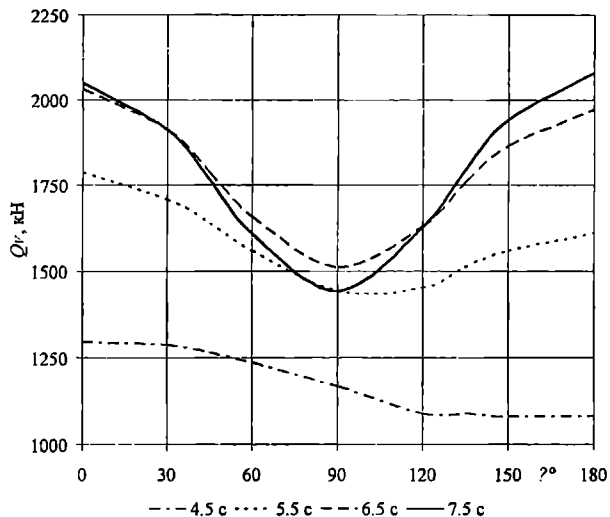
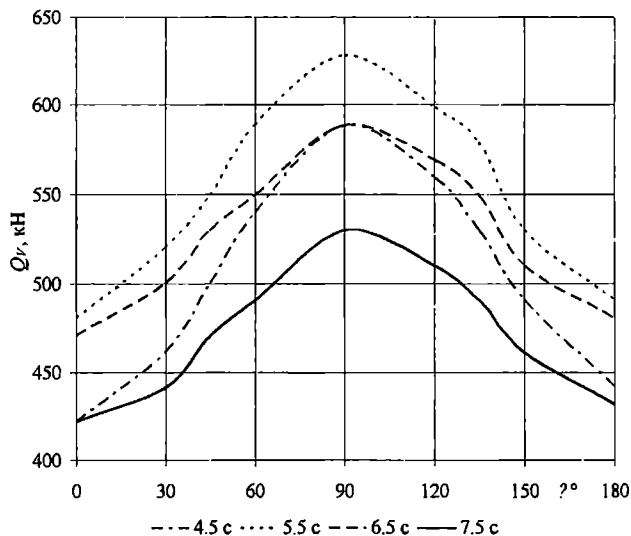


Рис. 2.15. Распределение горизонтальных волновых изгибающих моментов по длине судна на встречном волнении при различных средних периодах

Влияние курсового угла и среднего периода волнения на величины волновых нагрузок для некоторых характерных сечений представлено на рис. 2.16 – рис. 2.20.



*Рис. 2.16. Влияние курсового угла на вертикальные волновые перерезывающие силы в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных средних периодах*



*Рис. 2.17. Влияние курсового угла на горизонтальные волновые перерезывающие силы в сечении  $L/4$  в корму от миделя при различных средних периодах*

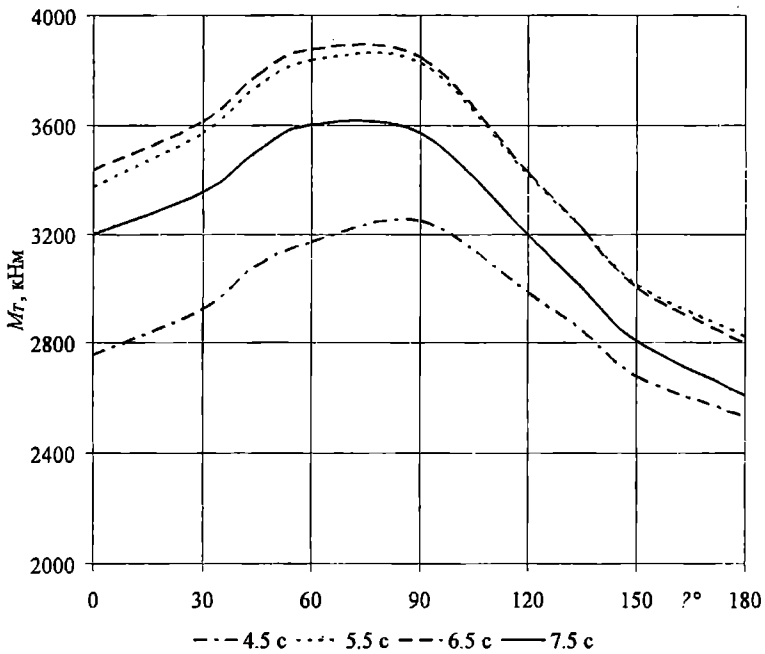


Рис. 2.18. Влияние курсового угла на волновые крутящие моменты в сечении  $L/4$  в корме от миделя при различных средних периодах

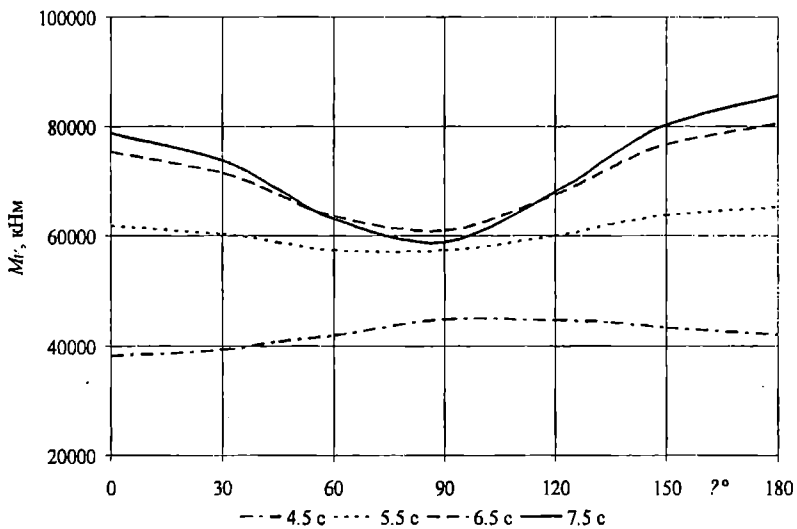
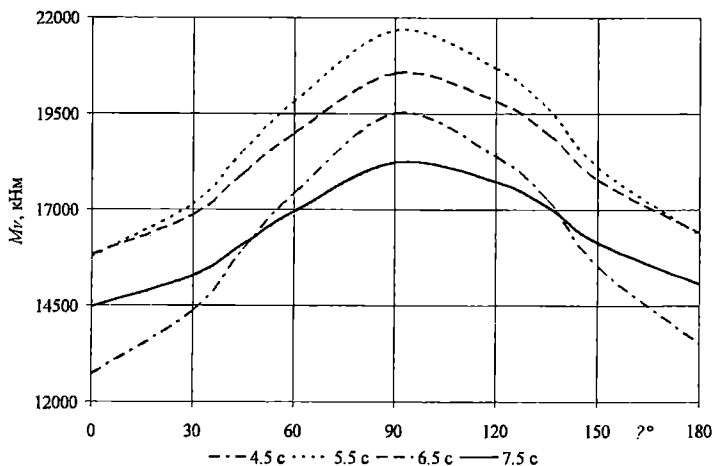


Рис. 2.19. Влияние курсового угла на волновые вертикальные изгибающие моменты на миделе при различных средних периодах



*Рис. 2.20. Влияние курсового угла на волновые горизонтальные изгибающие моменты на миделе при различных средних периодах*

## ВЫВОДЫ

1. Выполнена комплексная оценка волновых нагрузок, действующих на корпус судна при его эксплуатации в классе ПСП на волнении интенсивностью до 6 баллов включительно по шкале ГУГМС.

2. Наряду с вертикальными и горизонтальными перерезывающими силами, крутящими, горизонтальными и вертикальными изгибающими моментами исследованы гидродинамические давления в различных во длине сечениях судна.

3 Исследования показали существенную зависимость распределения гидродинамических давлений от курсового угла и отношения  $\lambda/L$ .

4. Показана возможность значительного отличия распределения гидродинамических давлений по контуру сечений от существующих рекомендаций классификационных обществ.

5. Результаты проведенных исследований могут быть широко использованы в качестве данных о фактических нагрузках при детальном анализе работы различных элементов корпусных конструкций в условиях реального морского волнения в рамках, например, пространственной конечно-элементной модели.

6. Особые возможности открываются при использовании полученных результатов, в том числе и фазовых соотношений, для оценки корреляционных зависимостей между действующими на корпус судна общими, местными, инерционными и статическими нагрузками в плане кратковременных и долговременных оценок.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Ю.Л., Давыдов И.Ф. Мореходность перспективных железнодорожных паромов ограниченного района плавания. Часть 1. Ходкость // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2004. – № 14. – С. 58-71.
2. Воробьев Ю.Л., Давыдов И.Ф. Мореходность перспективных железнодорожных паромов ограниченного района плавания. Часть 2. Мореходность // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2005. – № 16. – С. 3-25.
3. Guliev J.M., Davidov I.F. Practical Estimation of Safe Ship Speed in Waves, Proceedings Jubilee 15th Session SMSSH. Varna. – 1986. – Vol. 2. – Report No. 7.
4. Давыдов И.Ф. О применении специальных математических моделей в современной гидродинамической теории качки // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2003. – № 12. – С. 20-36.
5. Воробьев Ю.Л. Потенциал скоростей при вертикальной качке плоского судна, плавающего без хода на глубокой воде // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 1999. – № 3. – С. 3-19.
6. Правила классификации и постройки морских судов. Том. 1. Часть 2. Корпус. – СПб.: АО «Иван Федоров», 2003.
7. Гулиев Ю.М., Давыдов И.Ф., Колесник М.Д. Применение метода статистической линеаризации в расчетах качки и волновых нагрузок // Современные проблемы судостроения и судоремонта: Сб. ОИИМФ. – М.: В/О «Мортехинформ-реклама», 1990. – С. 221-227.

Надійшла 20. 05. 05

## ВЛИЯНИЕ КОМФОРТАБЕЛЬНОСТИ НА ВЫБОР ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ ПАССАЖИРСКИХ КРУИЗНЫХ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

*В статье описывается метод определения общей полезной площади пассажирского судна внутреннего и смешанного плавания на начальных стадиях проектирования, в зависимости от категории (коэффициента) комфортабельности проектируемого судна. Для оценки и классификации уровня комфортабельности проектируемых пассажирских круизных судов предлагается пятизвездочная шкала с соответствующими диапазонами значений коэффициента комфортабельности.*

*Ключевые слова:* пассажирское судно, проектирование, коэффициент комфортабельности, площадь пассажирского блока, площадь судна.

В связи с большим возрастом и стремительным старением существующего пассажирского круизного флота в последние годы у отечественных судовладельцев и туроператоров возрос интерес к строительству новых пассажирских судов, предназначенных только для выполнения туристических круизных рейсов по внутренним водным путям Западной Европы, России, Украины, а также в смешанном сообщении «из реки в море», в отличие от ранее построенных судов, которые помимо туристических функций были также рассчитаны на перевозки пассажиров в линейном плавании. Исключительно круизное назначение будущих судов ставит перед проектантами новые задачи в области обеспечения надлежащего уровня комфорта для будущих пассажиров.

Подобное совмещение на одном судне казалось бы близких функций (круизной и линейной) сегодня привело к тому, что каютные пассажирские суда перепрофилированные для выполнения круизных рейсов, имеют различный уровень комфорта пассажирских помещений, часто не обеспечивающий должного соотношения цены и качества. Как правило, на одном и том же судне существуют пассажирские помещения, рассчитанные как на достаточно состоятельных пассажиров в финансовом смысле, так и для пассажиров со средними доходами. Это приводит к

тому, что уровень комфорта всего судна в целом может оказаться недостаточным для одних пассажиров и избыточным для других.

Многолетний опыт работы туроператоров показывает, что всех потенциальных туристов можно условно разделить на группы в зависимости от возраста, увлечений, финансового благосостояния и т.д. Каждая группа таких туристов предъявляет свои требования к комфорту судов и уровню обслуживания на борту. Финансовый «порог доступности» круизного тура, т.е. его стоимость для каждой группы туристов также различен и имеет важное значение. Так, например, некоторых пассажиров комфорт судна как таковой не слишком интересует, т.к. для них важен сам процесс созерцания окружающей природы и экскурсионное обслуживание в портах захода, в то же время для других более весомым аргументом может оказаться отдых именно на борту судна и фактор комфортабельности судна и обслуживания для них имеет первостепенное значение. Как показывает зарубежная практика строительства и эксплуатации морских и речных круизных судов, совмещение подобных возможностей на одном судне не слишком хорошо сказывается на его коммерческой эксплуатации, т.к. это требует совершенно разного подхода к организации мероприятий на борту, к численности и профессиональному составу экипажа, снабжению судна, длительности и разнообразию маршрута. Более целесообразно проектировать суда уже изначально приспособленные для обслуживания определенной категории пассажиров. В конечном итоге это позволит выйти на оптимальные технико-эксплуатационные характеристики судна и приемлемое соотношение цены и качества туристического продукта.

Существующие методики проектирования пассажирских судов, предназначенных для длительного плавания с туристами, приведенные в работах [1. С.133-137; 2. С. 337-349; 3. С. 271-283], в лучшем случае учитывают лишь отдельные аспекты составляющих комфортабельности в виде удельных площадей (либо вместимости) пассажирских и прочих помещений на одного пассажира. При этом такие важные факторы как конструкция, размещение и техническое оборудование кают и общественных помещений, оснащение мебелью и инвентарем, интерьеры учитываются очень слабо и не имеют числового показателя.

В настоящий момент подобный подход к проектированию пассажирских круизных судов практически исчерпал себя и выбор главных размерений и характеристик судна необходимо жестко увязывать с его комфортабельностью. С сегодняшних позиций проектанта достаточно важным является обобщенное представление о комфортабельности судна в виде показателя (коэффициента), объединяющего важнейшие характеристики и дающего возможность определить уровень комфортабельности проектируемого судна в целом. Это позволяет рассматривать его в качестве одного из важнейших проектных критериев. Кроме того, не

менее важным обстоятельством является и наличие шкалы, позволяющей классифицировать суда исходя из величины коэффициента комфортабельности каждого судна.

В качестве критерия оценки проектной комфортабельности пассажирских судов предлагается использовать пятизвездочную шкалу, принятую в ГОСТ 28681.4-95 [4. С. 2-15] для оценки и классификации гостиниц. Количество звезд увеличивается в соответствии с повышением уровня качества обслуживания и комфорта. Фактический коэффициент комфортабельности судна определяется по авторской методике, основанной на подробном учете конструктивных особенностей каждого пассажирского круизного судна, таких как размещение пассажиров в каютах; номенклатура, местонахождение, конфигурация и вместимость пассажирских кают и общественных помещений; соотношения количества кают для пассажиров к общему количеству мест; удельная площадь каютного блока на одного пассажира; эстетичность и эргономичность оформления помещений; наличие устройств и систем, создающих благоприятные условия пребывания на судне, предоставление различных услуг и т.д.

Полученный коэффициент комфортабельности находится в диапазоне значений от 0 до 5, при этом, каждому диапазону значений, можно присвоить определенное количество условных «звезд» отображающих степень (катеорию) комфортабельности судна (см. табл. 1).

Таблица 1

### Определение уровня комфортабельности судна

Диапазон значений коэффициента комфортабельности	Категория комфортабельности судна
1,00-1,99	*
2,00-2,99	**
3,00-3,99	***
4,00-4,99	****
5 и выше	*****

В связи с тем, что при эксплуатации судна действуют еще и факторы сервисного комфорта, а также факторы дискомфорта, необходимо разделять проектный уровень комфортабельности и эксплуатационный.

При подсчете проектного коэффициента комфортабельности существующих судов были получены следующие результаты.

Так, например, круизные суда, которые туроператоры позиционируют как трехзвездочные, при определении проектного коэффициента комфортабельности вошли в диапазон от 3,10 до 3,95 (см. табл. 2).

Таблица 2

*Коэффициенты комфортабельности существующих пассажирских судов*

Номер п/п	Название судна	Проектный коэффициент комфортабельности	Категория комфортабельности судна
1	Mozart	4,79	* * * *
2	Казань	4,66	
3	Bolero	4,63	
4	Primadonna	4,48	
5	a'Rosa Donna	4,45	
6	Киев (нр. 92-273)	4,37	
7	Donauprinzessin	4,23	
8	Т.Г.Шевченко (нр. 302М)	4,13	
9	Viking Rhone	3,96	* * *
10	Максим Горький (нр. Q-040)	3,95	
11	60 лет СССР (2163)	3,88	
12	Украина (нр. Q-053)	3,84	
13	Dresden	3,73	
14	Prinzesse de Provence	3,72	
15	Антон Чехов (нр. Q-056)	3,56	
16	Волга (нр. Q-031)	3,52	
17	Сергей Есенин (нр. Q-065)	3,37	
18	Валериан Куйбышев (нр. 92-016)	3,36	
19	Владимир Ильич (нр. 301)	3,25	* *
20	Капитан Пушкарев (нр.92-12)	3,10	
21	Амур (нр.386)	2,87	
22	Василий Чапаев (нр.305)	2,89	

Для нескольких судов, которые фирмы позиционируют как пятизвездочные, проектный коэффициент комфортабельности не достиг 5, это может быть связано с тем, что в эксплуатации дополнительно необходимо учесть сервисные факторы комфортабельности, либо фирмы-туроператоры безосновательно завышают категорию комфортабельности судна.

При определении площадей пассажирского блока на существующих пассажирских судах была установлена устойчивая зависимость удельной площади пассажирского блока от категории комфортабельности судна (см. табл 3)

Таблица 3

Удельная площадь пассажирского блока  $m^2 / \text{пасс}$

Удельная площадь, $m^2 / \text{пасс}$	Категория комфортабельности судна
ок. 5	*
5 – 8	**
8 – 13	***
13 – 18	****
св. 18	*****

Увязав удельную площадь пассажирского блока с коэффициентом проектной комфортабельности путем построения регрессионной зависимости и выбора оптимального уравнения, можно получить формулу определения общей площади пассажирского блока на проектируемом судне для предварительно определенного коэффициента проектной комфортабельности и пассажировместимости.

$$S_{\text{ПБ}} = 1,8133 \cdot K_{\text{кп}}^{1,4128} \cdot N \quad , \quad (1)$$

где

- $S_{\text{ПБ}}$  – общая площадь пассажирского блока,  $m^2$ ;
- $K_{\text{кп}}$  – проектный коэффициент комфортабельности;
- $N$  – пассажировместимость, чел.

Общая полезная площадь всего судна вычисляется исходя из следующего уравнения:

$$S_{\text{ПП}} = S_{\text{ПБ}} + S_{\text{ОСТ}} \quad , \quad (2)$$

где  $S_{\text{ОСТ}}$  – суммарная площадь помещений камбузного блока, помещений экипажа, машинных помещений, а также открытых палуб.

$$S_{OCT} = \frac{S_{ПБ}}{100 - k_{OCT}} \cdot k_{OCT}, \quad (3)$$

$k_{OCT}$  – 30-36, коэффициент, определяющий долю площади этих помещений в общей полезной площади судна. Меньшие значения данного диапазона рекомендуется выбирать для судов, на которых в качестве движителей предполагается установить винто-рулевые колонки либо установки Pump-Jet, большие значения – для судов с традиционным расположением валов и гребных винтов.

Применяя этот комплекс формул, можно получить значения общей площади проектируемого судна для разных категорий комфортабельности. Так, например, для судна вместимостью 200 пассажиров оборудованного в качестве движителей винто-рулевыми колонками ( $k_{OCT} = 30$ ), можно получить комплекс данных, приведенных в таблице 4.

Таблица 4

*Сравнительные характеристики*

Категория комфортабельности	Проектный коэффициент комфортабельности	Диапазон площади пассажирского блока	Диапазон площади прочих помещений и открытых палуб	Диапазон общей площади всего судна
*	1,00-1,99	363-959	155-411	518-1370
**	2,00-2,99	966-1704	414-730	1379-2435
***	3,00-3,99	712-2562	734-1098	2446-3660
****	4,00-4,99	2571-3514	1102-1506	3673-5020
*****	5,00	3524	1510	5034

Исходя из данных, приведенных в таблице 4, видно, что в зависимости от категории (коэффициента) комфортабельности величина общей площади всего судна колеблется в 1,4-2 раза между соседними категориями и, в среднем, в 4 раза между крайними категориями. Таким образом, коэффициент комфортабельности, наравне с навигационными ограничениями речных бассейнов, становится ключевым фактором при определении главных размерений и характеристик проектируемого судна. Кроме того в эксплуатации этот коэффициент позволит аргументированно относить судно к определенной категории комфортабельности и служить оценочным показателем для пассажиров.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Морские пассажирские суда / Ю.А.Будницкий, Г.П.Пилипенко, А.Г.Чукавин, В.С.Петухов – Л.: Судостроение, 1989. – 224 с.*
2. *Вицинский В.В., Страхов А.П. Основы проектирования судов внутреннего плавания. – Л.: Судостроение, 1970. – 454 с.*
3. *Проектирование судов внутреннего плавания / Дормидонтов Н.К., Анфимов В.Н., Малы́й П.А. и др. – Л.: Судостроение, 1974. – 335 с.*
4. *ГОСТ 28681.4-95. Туристско-экскурсионное обслуживание. Классификация гостиниц. – Минск.: Изд-во стандартов, 1996. – 17 с.*

Надійшла 25. 06. 05



УДК 624.154:629.124.74

В.А. Гришин  
В.И. Снисаренко  
А.В. Гришин

## НЕЛИНЕЙНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Рассматриваются новые упруговязкопластические модели расчета портовых гидротехнических сооружений, которые позволяют производить их расчет по двум группам предельных состояний с единых позиций. Приведен пример расчета причального сооружения в виде гибкой шпунтовой стенки.*

*Ключевые слова: модель, упруговязкопластичность, течение, функция нагружения, причал.*

Современный уровень экспериментальных и теоретических исследований свойств строительных материалов и грунтов, условий эксплуатации портовых гидротехнических сооружений, а также уровень развития вычислительной техники позволяют обоснованно ограничить область применения существующих методов решений, которые использовались и используются при проектировании и реконструкции портов [1, 2] и предложить новые более совершенные и надежные расчетные модели. Рассмотрим эти вопросы подробнее.

Из механики деформируемых сред хорошо известно, что любая модель описывается кинематическими и динамическими соотношениями и уравнениями состояния. Если оставаться в пределах геометрической линейности деформирования, то основной характеристикой любой модели являются уравнения состояния, связывающие напряжения с деформациями. Такая связь кроме тензоров напряжений и деформаций включает целый ряд механических параметров, характеризующих свойства деформируемых сред. Экспериментальные данные, например, для грунтов, устанавливают следующие основные особенности их деформирования. Во-первых, зависимость между напряжениями и деформацией даже при умеренных нагрузках является существенно нелинейной. Далее, при сложном нагружении, которое испытывают грунты в период эксплуатации сооружений, их формоизменение  $\varepsilon_i$  и объемная

деформация  $\varepsilon_0$  являются функциями трех инвариантов  $\sigma_0$  (среднее нормальное напряжение),  $\sigma_i$  (интенсивность касательных напряжений),  $\psi$  (вид напряженного состояния). При этом объемная деформация представляется в виде суммы от всестороннего обжатия давлением  $\sigma_0$  и от сдвига (явление дилатансии). Было установлено, что только при простом нагружении соблюдается соосность и подобие тензоров напряжений и деформации. Сложное нагружение сопровождается изменением угла вида напряженного состояния  $\psi$  и (или) поворотом осей главных напряжений  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  в различном их сочетании. Опыты, проведенные по подтверждению существования функции нагружения, которая отделяет упругое деформирование от вязкопластического, в основном устанавливают ее существование, но неоднозначны по виду изменения формы ее поверхности в процессе деформирования. Так в некоторых опытах это гладкая поверхность, в других – совокупность гладких с сингулярными точками и линиями, а в третьих – гладкие поверхности, которые при нагружении меняют форму и отрываются друг от друга. Такое разнообразие форм поверхностей нагружения в какой-то мере вызвано разной точностью измерения начала образования пластической деформации. В процессе нагружения эти поверхности перемещаются, остаются выпуклыми, но в одних экспериментах векторы приращения пластической деформации направлены по нормальям к ним, а в других – они отклоняются от них.

Бетоны, которые широко применяются в портостроении, являются сложными многофазными и нелинейными средами. Но причина проявления нелинейности здесь имеет другую природу, связанную в основном с трещинообразованием. Опытные данные показали, что, как и для грунтов, соотношения, связывающие напряжения с деформациями, должны содержать три инварианта напряжений  $\sigma_0, \sigma_i, \psi$  или три инварианта деформации  $\varepsilon_0, \varepsilon_i, \varphi$ . Процесс изменения напряженного состояния бетона под нагрузкой рассмотрим на примере цилиндрического образца при осевом нагружении. До уровня напряжений, обозначаемого через  $R_T^0$ , в бетоне не наблюдается образования новых микротрещин, отличных от технологических. При этом отношение поперечных деформаций к продольным, которое фиксируется коэффициентом  $\nu$ , не возрастает, т.е. происходит уменьшение объема. Такое деформирование считается упругим. С увеличением нагрузки постепенно ускоряется развитие микротрещин, поперечные деформации начинают расти быстрее продольных, т.е. уменьшение объема замедляется. Уровень напряжений,

которому отвечает первоначальный объем образца обозначается через  $R_T^v$ , при этом значение  $v = -0,5$ . Величина  $R_T^v$  характеризует начальную границу нарушения сплошности бетона, до которой в нем происходят только микроразрушения. В интервале между  $R_T^0$  и  $R_T^v$  считается, что бетон деформируется упругопластически. С дальнейшим увеличением нагрузки, когда напряжения становятся больше  $R_T^0$  микроскопические разрушения бетона перерастают в макроскопические с нарушением его сплошности. Поэтому остаточные деформации, появившиеся при напряжениях выше уровня  $R_T^v$ , называется псевдопластическими. Параметры  $R_T^0$  и  $R_T^v$  при рассмотренном нагружении образца в пространстве напряжений представляются точками. При пространственном напряженном состоянии они должны изображаться поверхностями, которые являются геометрическим местом точек равных пределам текучести при разных напряженных состояниях и которые при активном нагружении могут расширяться и перемещаться. Бетон относится к квазихрупким материалам и занимает промежуточное положение между пластическими и хрупкими их представителями. Поэтому при его сложном напряженном состоянии вряд ли возможно разрушение только от нормальных напряжений (отрыв) и только от касательных (сдвиг). Видимо, начиная с некоторого уровня, касательные напряжения производят разрыхления бетона с увеличением его объема, а распространение трещин происходит под действием нормальных напряжений.

Металлы, как и бетоны, интенсивно применяются в портовых конструкциях. опыты показали, что при всестороннем их сжатии или растяжении остаточные изменения объема практически равны нулю. Приводятся противоречивые экспериментальные данные о влиянии инвариантов  $\sigma_0$  и  $\psi$  на вид обобщенной кривой, представляющей зависимость между интенсивностями напряжений и деформации. В одних опытах кривые не зависят от этих инвариантов, а в других установлено, что с их изменением разница по напряжениям может достигать 10 %.

Рассмотрим модели, которые используются при проектировании портовых гидротехнических сооружений. Линейно деформируемые их представители не нашли широкого применения в расчетах. Это вызвано тем, что во-первых, их исходные уравнения имеют довольно сложный вид и могут быть решены только приближенными методами с применением ЭВМ. Во-вторых, рассматриваемые сооружения испытывают большое

давление контактирующих с ними грунтовых массивов, которое зависит от их деформации и при сложном нагружении является нелинейным. Поэтому экспериментальные данные не подтверждают результатов расчета, полученных с применением таких моделей.

Модель теории предельного напряженного состояния основана на предположении, что во всех точках среды имеет место предельное состояние, что для реальных условий эксплуатации обычно невыполнимо. Кроме того, эта теория является бездеформационной и ее нельзя использовать для определения перемещений сооружения, т.е. заложенное в нормативных документах второе предельное состояние не может быть реализовано.

В последнее время ведутся интенсивные работы по созданию новых моделей, которые позволили бы учесть возникающие как упругие, так и остаточные деформации и давали возможность с единых позиций определять напряженно-деформированное состояние в каждой точке рассчитываемых портовых сооружений, включая грунтовые массивы. Первые такие модели базировались на деформационных теориях пластичности. Преимущества этих моделей заключались в том, что их уравнения состояния позволяли устанавливать нелинейную связь между полными напряжениями и деформациями и учитывали процесс разгрузки с выделением пластических деформаций, возникающих при деформировании. При активном нагружении эта модель совпадала с нелинейно-упругой моделью, а при разгрузке она позволяла определять остаточные деформации, что не могли осуществить указанные выше модели. Однако, эти модели имели серьезные недостатки, они могли использоваться только при простом нагружении, т.е. при условии, когда действующая нагрузка изменяется пропорционально какому-либо параметру, например, времени. Как показали опытные данные, она дает приемлемые результаты и при частном случае сложного нагружения, когда не происходит поворота главных осей тензора напряжений.

На следующем этапе развития использовались смешанные модели, которые предполагали в системе «сооружение-грунтовой массив» одновременное существование допредельно упругих областей и областей с предельным пластическим состоянием. В таких задачах в областях допредельного состояния использовались уравнения линейно-деформируемой среды, а в областях предельного состояния уравнения предельного напряженного состояния или идеальной пластичности. В этой теории отсутствуют области с упругопластическим деформированием, что не соответствует действительности. Как показывают экспериментальные данные, в допредельном состоянии в точках сооружения могут возникать как упругие, так и упругопластические деформации. Решение смешанных задач выполняется только численно с применением ЭВМ.

Проследить за развитием и накоплением пластических деформаций на протяжении всей траектории нагружения позволяет модель упругопластической упрочняющейся среды. В этой модели упругие деформации определяются законом Гука, а пластические – из соотношений ассоциированного закона пластического течения, базирующегося на принципе максимума Мизеса. Эта наиболее совершенная модель, она связана с необходимостью проведения экспериментальных исследований по определению формы поверхности нагружения, по ее изменению в процессе деформирования и по выявлению направления вектора приращений пластической деформации для различных материалов и грунтов. В настоящее время эти вопросы интенсивно разрабатываются, но пока еще существуют различные их толкования, которые часто противоречат друг другу. Все это только подтверждает интерес к этой модели и незавершенность некоторых ее элементов. Ее применение для практических расчетов требует также создания методик и алгоритмов решения и их реализации в виде программных комплексов, которые могут быть использованы на современных ЭВМ.

В настоящее время также интенсивно разрабатываются упруговязкопластические модели, которые позволяют в упругопластическую упрочняющуюся модель ввести вязкие свойства, присущие многим строительным материалам и грунтам. При этом допускается предположение, что вязкие свойства проявляются только при упругопластическом деформировании, что позволяет не изменять начальное условие текучести. Это дает возможность использовать в модели основные положения теории упругопластической упрочняющейся среды с некоторыми упрощениями. Так в теориях пластического течения скорость деформаций зависит не только от напряжений, но и от их приращений, что является источником трудностей в решении таких задач. Скорости вязкопластической деформации являются функциями только напряжений, что вносит некоторые упрощения в решения. Реализация вязкопластических задач возможна также только с применением ЭВМ.

Имеются и другие теории пластичности (например, теория скольжения), которые находятся еще в стадии становления и не имеют достаточного экспериментального обоснования, или очень трудны в практическом применении, поэтому они здесь не рассматриваются.

Приведенные краткие понятия о современных моделях портовых гидротехнических сооружений только затрагивают эту сложную проблему, но позволяют сделать следующие выводы.

Не существует теории пластичности или вязкопластичности, которая бы полностью удовлетворяла основным особенностям деформирования строительных материалов и грунтов при их сложном напряженном состоянии. Так деформационные теории дают удовлетвори-

тельные результаты только при простом нагружении. Теория упруго-пластических процессов А.А. Ильюшина, в основе которой лежат постулаты изотропии и пластичности, а также ряд других гипотез имеет ограниченную область применения в основном к металлам, но не к грунтам и бетонам. Более гибкой по отношению к использованию различных свойств материалов является теория пластического течения с упрочнением. Ее особенность состоит в том, что основные характеристики материалов учитываются функцией нагружения. Следует сразу отметить, что единой такой функции для строительных материалов и грунтов не существует. Но имеется целый ряд хорошо изученных их представителей, область использования которых определена экспериментальными данными. Если создать базу данных таких функций и включить ее в программный комплекс для упругопластических расчетов, то это позволит расширить число основных строительных материалов и грунтов, которые можно использовать в расчетах. Функции нагружения должны обеспечивать в процессе упругопластического деформирования непрерывный переход из допредельного состояния материала к предельному. Поэтому они могут быть описаны теми же функциями, что и условия прочности, но в которых должно быть учтено упрочнение и содержаться параметры, характеризующие упругопластические, а не прочностные свойства материалов.

Рассмотрим упругопластическую модель, которая базируется на теории пластического течения с упрочнением, представляя сооружение и грунтовый массив как единую систему. При малых деформациях имеет место постулат суммирования скоростей деформации или приращения деформации [3]

$$\dot{\varepsilon}_{ks} = \dot{\varepsilon}_{ks}^e + \dot{\varepsilon}_{ks}^{vp}, \quad \Delta\varepsilon_{ks} = \Delta\varepsilon_{ks}^e + \Delta\varepsilon_{ks}^{vp}, \quad (1)$$

где  $\dot{\varepsilon}_{ks}^e, \dot{\varepsilon}_{ks}^{vp}$  – соответственно, скорости упругих и вязкопластических деформаций;  $\Delta\varepsilon_{ks}^e, \Delta\varepsilon_{ks}^{vp}$  – приращения соответствующих деформаций.

Линейный закон Гука в скоростях или приращениях записывается в виде

$$\dot{\varepsilon}_{ks}^e = C_{ksmn}^e \dot{\sigma}_{mn}, \quad \Delta\varepsilon_{ks}^e = C_{ksmn}^e \Delta\sigma_{mn}. \quad (2)$$

Предполагается, что деформируемая среда не проявляет вязкие свойства при упругом деформировании. Поэтому условие текучести можно представить как

$$f(\sigma_{ks}, \varepsilon_{ks}^{vp}) - f_0(\chi) = 0, \quad (3)$$

где  $\chi$  – параметр упрочнения.

Скорости вязкопластических деформаций можно записать как [4]

$$\dot{\varepsilon}_{ks}^{vp} = \lambda \langle \Phi(f) \rangle f, \sigma_{ks}. \quad (4)$$

Здесь

$$\langle \Phi(f) \rangle = \begin{cases} 0, & \text{если } f \leq 0, \\ \Phi(f), & \text{если } f > 0; \end{cases} \quad (5)$$

$\gamma$  – параметр вязкости материала;

$\Phi(f)$  – функция, определяемая из опытных данных, некоторые из них приведены в [4];

$f$  – функция нагружения.

Решение определяется на заданном отрезке времени  $[0, T]$ , который разбиваем на интервалы  $\Delta t_j = t_{j+1} - t_j$  и находятся

$$\Delta \varepsilon_{ks}^{vp(j)} = \dot{\varepsilon}_{ks}^{vp(j+\theta)} \Delta t_j, \quad 0 \leq \theta \leq 1, \quad (6)$$

где  $j + \theta$  означает, что  $\dot{\varepsilon}_{ks}^{vp}$  вычисляется в момент времени

$$t = t_j + \theta \Delta t_j.$$

Используя формулу Тейлора и разлагая (6) в ряд Тейлора, после преобразований получим

$$\dot{\varepsilon}_{ks}^{vp(j+1)} = \dot{\varepsilon}_{ks}^{vp(j)} + \varepsilon_{ks, \sigma_{mn}}^{vp(j)} \Delta \sigma_{mn}^{(j)}. \quad (7)$$

Подставляем (4), (7) в (6) и определяем приращение вязкопластической деформации в следующем виде:

$$\Delta \varepsilon_{ks}^{vp(j)} = \left( \Phi(f) f_{,\sigma_{ks}} + \theta B_{ksmn}^{(j)} \Delta \sigma_{mn}^{(j)} \right) \Delta t_j \gamma, \quad (8)$$

где

$$B_{ksmn}^{(j)} = \Phi(f) f_{,\sigma_{ks}}^{(j)} + \Phi(f) f_{,\sigma_{ks}}^{(j)} \sigma_{mn}^{(j)}.$$

Затем (2) и (8) подставляем в (1), обращая полученную формулу, окончательно находим уравнения состояния в приращениях

$$\Delta \sigma_{ks}^{(j)} = D_{ksmn}^{vp(j)} \left( \Delta \varepsilon_{mn}^{(j)} - \varepsilon_{mn}^{vp(j)} \Delta t_j \right) \quad \text{при } f > 0, \quad (9)$$

$$\Delta \sigma_{ks}^{(j)} = D_{ksmn}^{vp(j)} \Delta \varepsilon_{mn}^{(j)} \quad \text{при } f \leq 0.$$

Здесь

$$D_{ksmn}^{vp(j)} = \left[ \left( D_{ksmn}^{e(j)} \right)^{-1} + \gamma \theta \Delta t_j B_{mnks}^{(j)} \right]^{-1}$$

Доказано, что при  $\theta < 0,5$  дискретная схема условно устойчива, а при  $\theta \geq 0,5$  – безусловно устойчива, т.е. не зависит от величины  $\Delta t_j$ .

Кинематические уравнения представлены линейными соотношениями Коши

$$\varepsilon_{ks} = \frac{1}{2} (u_{k,s} + u_{s,k}), \quad \Delta \varepsilon_{ks} = \frac{1}{2} (\Delta u_{k,s} + \Delta u_{s,k}), \quad (10)$$

где  $u_k$  – компоненты вектора перемещений.

На основании принципа виртуальной работы в момент времени  $t_n$  имеет место следующее соотношение:

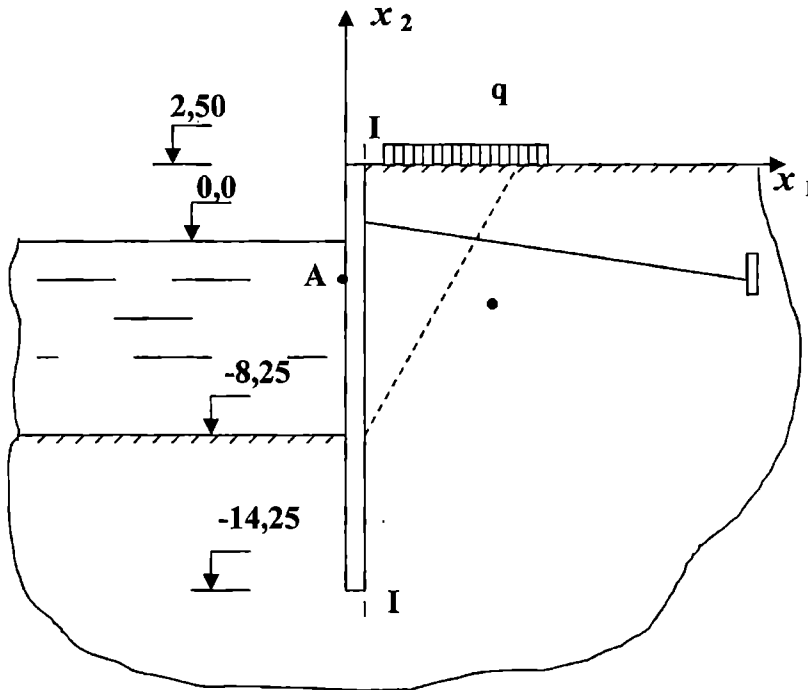
$$\int_{\Omega} [\delta \varepsilon]^T \sigma d\Omega - \int_S [\delta u]^T q dS = 0, \quad (11)$$

из которого следует уравнение равновесия системы.



Для численного решения полученных уравнений был разработан алгоритм расчета, в котором дискретизация уравнений выполнена методом конечных элементов. Построен итерационный процесс, позволяющий определять решения с заданной точностью. Подробно эти вопросы изложены в [5]. Алгоритм реализован в виде программного комплекса.

Приведем пример расчета причального сооружения в виде заанкерной стенки из стального шпунта, расчетная схема которой показана на рис. 1.

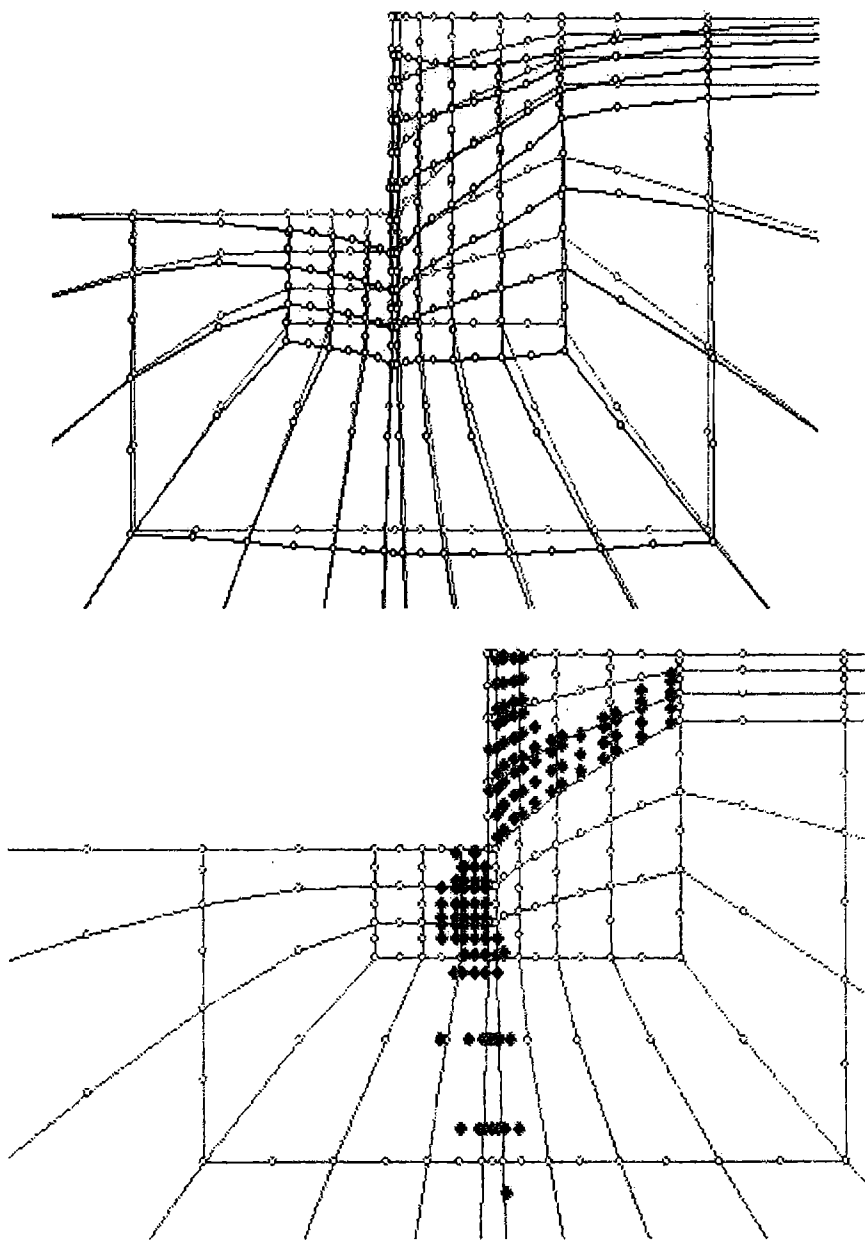


*Рис. 1. Расчетная схема заанкерной стенки*

Исходные данные:

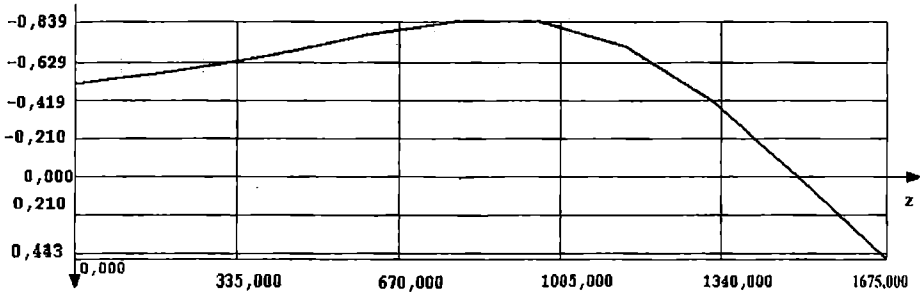
- для грунта:  $E_0 = 23$  МПа,  $\mu = 0,41$ ,  $\varphi = 28^0$ ,  $c = 0,02$  МПа,  
 $\gamma = 0,0001/ссутк$  ;
- для засыпки:  $E_1 = 40$  МПа,  $\mu = 0,3$ ,  $\varphi = 25^0$ ,  $c = 0,005$  МПа,  
 $\gamma = 0,0001/ссутк$  ;
- шпунт Л-V;
- нагрузка  $q = 0,04$  МПа.

На рис. 2 показана в увеличенном масштабе схема перемещений системы и образованные в ней пластические зоны по истечении указанного ниже отрезка времени.



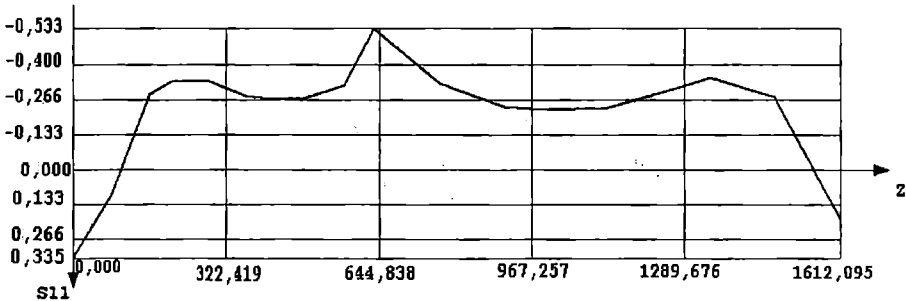
*Рис. 2. Схема перемещений и пластических зон в системе «шпунт-грунт»*

На рис. 3 приведена эпюра перемещений шпунта по сечению I-I за тот же период времени. Начало координат соответствует нижней точке шпунта. Наибольшее горизонтальное перемещение расположено на расстоянии 9,81 м и равно 0,839 см.

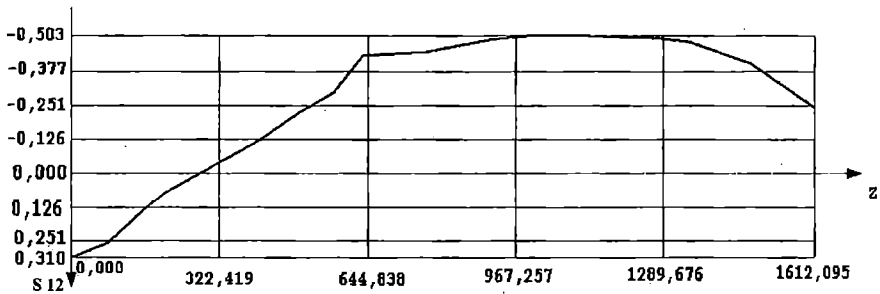


*Рис. 3. Эпюра перемещений шпунта (в см)*

На рис. 4 показана эпюра давления грунта на шпунтовую стенку, а на рис. 5 – эпюра касательных напряжений между грунтом и стенкой.

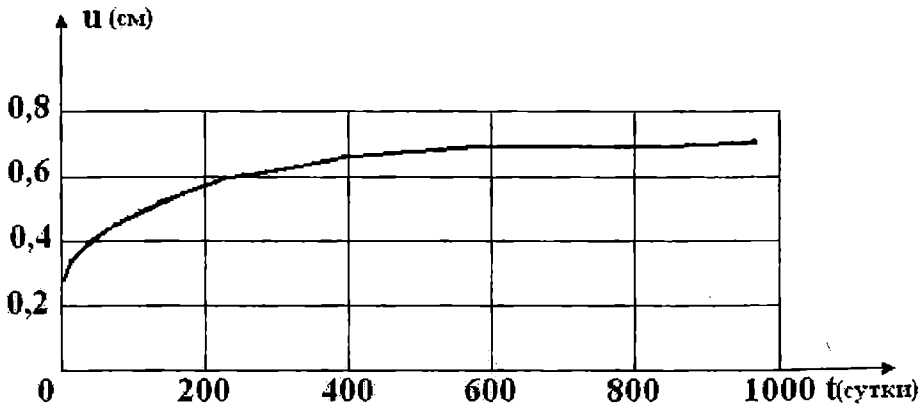


*Рис. 4. Эпюра давления грунта на шпунтовую стенку (в 10 МПа)*



*Рис. 5. Эпюра касательных напряжений между грунтом и стенкой (в 10 МПа)*

Эпюры построены по точкам, интегрирования по Гауссу, поэтому длина шпунта по оси  $Z$  показана не 1675 см, а 1612,095 см. Наибольшее напряжение  $\sigma_{11}$  соответствует уровню дна моря перед стенкой на отметке  $\bar{\downarrow} - 8,25$  м. Качественная картина изменения давления грунта на стенку соответствует экспериментальным данным и отличается от давления, полученного по Кулону. На рис. 6 приведена эпюра горизонтальных перемещений точки А, расположенной на отметке  $\bar{\downarrow} - 2,85$  м, по истечении 972 суток после начала строительства сооружения. Нагружение стенки производилось поэтапно. После первого этапа загрузки при  $t = 0$  перемещение составило 0,25 см. К концу 972 суток оно стало равным 0,703 см.



*Рис. 6. Эпюра перемещений точки А*

Приведенная модель расчета портовых гидротехнических сооружений позволяет в отличие от модели теории предельного напряженного состояния определять их напряженно-деформированное состояние во время эксплуатации, а не только выполнять поверочный расчет по первому предельному состоянию. Она также дает возможность с единых позиций оценивать работу сооружений по двум предельным состояниям, заложенным в нормативных документах.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Портовые гидротехнические сооружения: Конструирование и расчет / Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.Е. Ляхницкого. – М.: Морской транспорт, 1956. – 538 с.*
2. *Порты и портовые сооружения. – М.: Стройиздат, 1993. – 636 с.*
3. *Ивлев Д.Д., Быковцев Г.И. Теория упрочняющегося пластического тела. – М.: Наука, 1971. – 231 с.*
4. *Пэжсина Э. Основные вопросы вязкопластичности. – М.: Мир, 1968. – 172 с.*
5. *Гришин А.В., Федорова Е.Ю. Нелинейная динамика оградительных сооружений. – Одесса: ОНМУ, 2002. – 240 с.*

Надійшла 27. 05. 05

## УЧЕТ ПЛАСТИЧНОСТИ БЕТОНА В РАСЧЕТАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*В статье формулируется вариант ассоциированной теории пластичности бетона с деформационным упрочнением. Определяющие соотношения получены с использованием предельных поверхностей и диаграмм деформирования. Предлагаемая теория течения бетона была реализована в пакете прикладных программ «Plast-Khan», предназначенном для решения физически и геометрически нелинейных задач шаговым и шагово-итерационным методами.*

*Ключевые слова:* бетон, поверхность нагружения, теория течения, поверхность прочности, упрочнение, пластические модули, метод конечных элементов.

Железобетон – физически нелинейный, анизотропный материал, обладающий способностью к трещинообразованию. Учет этих свойств при расчете конструкций возможен при наличии соответствующих определяющих соотношений для железобетона как комплексного материала, состоящего из бетона и арматуры. Построение этих соотношений осуществлено на базе теории течения бетона, описываемой ниже.

Теории течения в основе своей имеют так называемые поверхности пластичности или нагружения. Вид этих поверхностей зависит от материала, и для таких неоднородных материалов как бетон носит достаточно сложный характер. Основные геометрические параметры этих поверхностей получаются, в основном, путем умозрительных построений и с трудом поддаются экспериментальному обоснованию.

В статье предлагается вариант феноменологической модели материала, имеющей в основе поверхность нагружения, основные параметры которой получаются на основании опытных данных. Использование этой модели предполагается в шаговых методах расчета, когда прослеживаются все этапы напряженного состояния конструкций или системы, от начального вплоть до разрушения.

---

## ПРЕДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Известно, что условие прочности должно описывать выпуклую и гладкую поверхность, симметричную относительно диагонали пространства главных напряжений  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ . Строится эта поверхность обычно в местной цилиндрической системе координат  $z, \rho, \theta$ , связанной с исходной  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  следующими соотношениями

$$z = \sqrt{3}\sigma_o; \rho = \sqrt{3}\tau_o; \sigma_o = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z); \theta = \frac{1}{3} \arccos \left( \sqrt{2} \frac{I_3}{\tau_o^3} \right);$$

$$\tau_o = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)};$$

где  $\sigma_o, \tau_o$  - октаэдрические нормальные и касательные напряжения,  $\theta$  - угол вида напряженного состояния,  $I_3$  - третий инвариант девиатора напряжений, равный

$$I_3 = \begin{vmatrix} (\sigma_x - \sigma_o) & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & (\sigma_y - \sigma_o) & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & (\sigma_z - \sigma_o) \end{vmatrix}.$$

Другими словами, эта поверхность описывается уравнением вида  $f(\sigma_o, \tau_o, \theta) \equiv 0$ , которое обычно строится на базе опытных данных при частных видах напряженных состояний способом, предложенным М.М.Филоненко-Бородичем [5]. Сначала формируются две кривые  $\tau_1(\sigma_o)$  и  $\tau_2(\sigma_o)$ , соответствующие экстремальным значениям  $\theta = 0^\circ$  и  $\theta = 60^\circ$ , аппроксимирующие экспериментальные данные, полученные из опытов при  $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$  и  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ . Затем осуществляется интерполяция для значений угла  $\theta$ , находящихся между двумя предельными случаями. Характерные сечения поверхности представлены на рис.1. Графики функций  $\tau_1(\sigma_o)$  и  $\tau_2(\sigma_o)$  (рис.1) имеют ряд характерных точек. Так, кривая  $\tau_1(\sigma_o)$  пересекает ось  $\sigma_3$  в точке, соответствующей пределу прочности при одноосном сжатии -  $R_c$  и плоскость  $\sigma_1 - \theta - \sigma_2$  в точке, соответствующей пределу прочности при равномерном двухосном растяжении  $R_{2p}$ . Кривая  $\tau_2(\sigma_o)$  пересекает плоскость  $\sigma_2 - \theta - \sigma_3$  в точке, соответствующей пределу прочности при равномерном двухосном

сжатии  $-R_{2c}$ , и ось  $\sigma_1$  в точке одноосного растяжения  $R_p$ . Координаты перечисленных точек показаны на рис.1. Кроме того, обе кривые пересекаются в точке с координатами  $(fR, 0)$ , соответствующей трехосному равномерному растяжению. Функции  $\tau_1(\sigma_0)$  и  $\tau_2(\sigma_0)$  представим в виде [3]

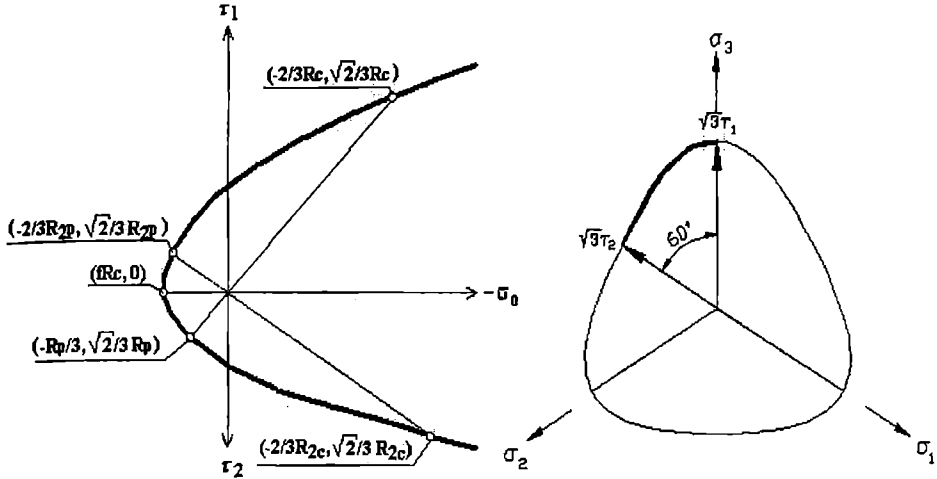


Рис.1. Характерные сечения поверхности прочности

$$\tau_1 = A R_c \left( \frac{\sigma_0}{R_c} - f \right)^\alpha; \quad \tau_2 = B R_c \left( \frac{\sigma_0}{R_c} - f \right)^\beta, \quad (1)$$

позволяющем при различных значениях постоянных коэффициентов получить частные случаи, соответствующие различным вариантам существующих условий прочности. Коэффициенты, входящие в уравнение (1), получаются подстановкой координат характерных точек (рис.1)

$$\alpha = \frac{\ln(m_p \omega)}{\ln\left(\frac{f - 2/3 m_p \omega}{f + 1/3}\right)} \leq 1; \quad \beta = \frac{\ln(\omega / m_c)}{\ln\left(\frac{f - \omega/3}{2/3 m_c + f}\right)} \leq 1; \quad A = \frac{\sqrt{2}}{3} \left( -\frac{1}{3} - f \right)^{-\alpha}$$

$$B = \frac{\sqrt{2}}{3} \omega \left( \frac{\chi}{3} - f \right)^{-\beta}; \quad m_p = \frac{R_{2p}}{R_p}; \quad m_c = \frac{R_{2c}}{R_c}; \quad \omega = \frac{R_p}{R_c}.$$



Для интерполяции между значениями  $\theta = 0$  и  $\theta = 60^\circ$  предлагается следующее выражение [3]:

$$\tau_o = \tau_1 - 8(\tau_1 - \tau_2) \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos \theta, \quad (2)$$

удовлетворяющее условию выпуклости и гладкости сечений поверхности прочности плоскостями  $\sigma_\theta = const$ .

Таким образом, в описанном способе построения поверхности прочности требуется пять независимых параметров материала  $R_c, R_p, R_{2c}, R_{2p}, f$ , соответствующих частным случаям напряженного состояния. Выражение (2) преобразуем к следующему виду [6]

$$f(\sigma_o, \tau_o, \theta) = \tau_o - \tau_1 \left[ 1 - 8(1 - \tau_2 / \tau_1) \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos \theta \right] = \quad (3)$$

$$= \tau_o - \tau_1 g = 0,$$

где  $g = 1 - 8(1 - \tau_2 / \tau_1) \sin^2 \frac{\theta}{2} \cos \theta$ .

## ПОВЕРХНОСТЬ НАГРУЖЕНИЯ

Эта поверхность строится на базе предельной поверхности в предположении равномерного расширения поверхности нагружения, пока в предельном состоянии она не совпадет с поверхностью прочности (3). Процесс получения поверхности нагружения наглядно представлен на рис. 2

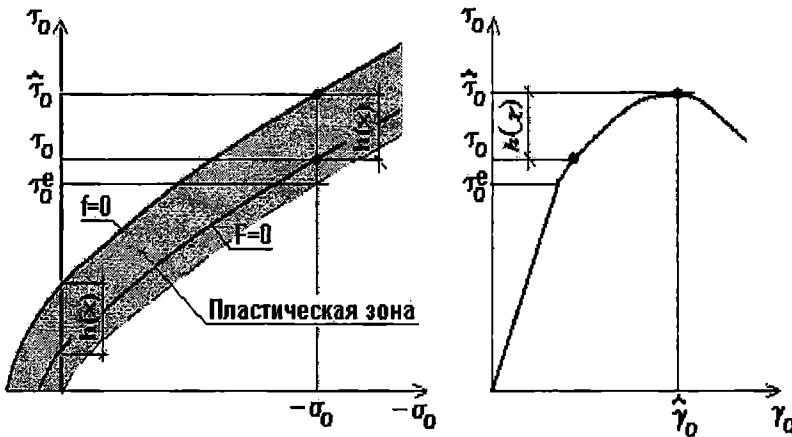


Рис. 2. Поверхность нагружения

или в аналитической форме

$$\tau_o + h(\chi) = \tau_1 g,$$

либо так

$$F(\sigma_o, \tau_o, \theta, \chi) = \tau_o + h(\chi) - \tau_1 g = 0, \quad (4)$$

где  $\chi$  - параметр упрочнения,  $h(\chi)$  - функция упрочнения.

### ПЛАСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ

В основу исследования положен ассоциированный закон Мизеса, согласно которому пластическое течение развивается по нормали к поверхности нагружения, или

$$\{d\varepsilon_p\} = \lambda \frac{\partial F}{\{\partial\sigma\}}, \quad (5)$$

где  $\{d\varepsilon_p\} = \{d\varepsilon_x^p, d\varepsilon_y^p, d\varepsilon_z^p, d\gamma_{xy}^p, d\gamma_{yz}^p, d\gamma_{xz}^p\}$  - вектор приращений пластических деформаций;  $\{\partial\sigma\} = \{\partial\sigma_x, \partial\sigma_y, \partial\sigma_z, \partial\tau_{xy}, \partial\tau_{yz}, \partial\tau_{xz}\}$  - вектор приращений напряжений;  $\lambda$  - коэффициент пропорциональности. Полные деформации определяются как сумма упругих и пластических деформаций, т.е.

$$\{d\varepsilon\} = \{d\varepsilon_e\} + \{d\varepsilon_p\}, \quad (6)$$

откуда

$$\{d\varepsilon\} = [D]^{-1} \{d\sigma\} + \lambda \frac{\partial F}{\{\partial\sigma\}}. \quad (7)$$

При этом, как обычно, при  $\left\{ \frac{\partial F}{\{\partial\sigma\}} \right\}^T \{\sigma\} < 0$  происходит

разгрузка и  $\lambda = 0$ . Следуя [1, 2] и пропуская промежуточные выкладки, окончательно запишем

$$\{d\sigma\} = [D]_{ep} \{d\varepsilon\}, \quad (8)$$

$$\text{где } [D]_{ep} = [D] - \frac{[D] \frac{\partial F}{\{\partial \sigma\}} \left( \frac{\partial F}{\{\partial \sigma\}} \right)^T [D]}{\left( \frac{\partial F}{\{\partial \sigma\}} \right)^T [D] \frac{\partial F}{\{\partial \sigma\}} - \frac{\partial F}{\partial \chi} \{\sigma\}^T \frac{\partial F}{\{\partial \sigma\}}} \quad (9)$$

упруго-пластическая матрица,  $[D]$  – матрица упругости материала.

Отметим, что производные по напряжениям, входящие в соотношение (9) и представленные вектором  $\partial F / \{\partial \sigma\}$ , получаются стандартным образом, как производные сложных функций [1].

## УПРОЧНЕНИЕ

В формулу (9) входит производная  $\frac{\partial F}{\partial \chi}$ , связанная с упрочнением.

Для ее определения рассматриваются два варианта упрочнения. В первом из них в качестве меры упрочнения принят параметр Одквиста, представляющий собой суммарные пластические деформации на всем пути нагружения, т.е. в данном случае, функция нагружения (рис.2) имеет вид

$$h(\chi) = h(\gamma_o^P) = \hat{\tau}_o - \tau_o(\gamma_o^P). \quad (10)$$

Тогда

$$\frac{\partial F}{\partial \chi} = \frac{\partial F}{\partial \gamma_o^P} = \frac{\partial h}{\partial \gamma_o^P} = \frac{\partial \tau_o}{\partial \gamma_o^P} = G_p. \quad (11)$$

Во втором варианте параметр упрочнения может быть определен как возможная работа напряжений на пластических деформациях, вариация которой равна

$$\partial \chi = \sigma_o \partial \varepsilon_o^P + \tau_o \partial \gamma_o^P. \quad (12)$$

Учитывая, что  $\frac{\partial F}{\partial \chi} = \frac{\partial F}{\partial \sigma_o} \frac{\partial \sigma_o}{\partial \chi} + \frac{\partial F}{\partial \tau_o} \frac{\partial \tau_o}{\partial \chi}$ , а также

$$\frac{\partial \sigma_o}{\partial \chi} = \frac{\partial \sigma_o}{\sigma_o \partial \varepsilon_o^p + \tau_o \partial \gamma_o^p} = \frac{K_p H_p}{\sigma_o H_p + \tau_o K_p} \text{ и}$$

$$\frac{\partial \tau_o}{\partial \chi} = \frac{\partial \tau_o}{\sigma_o \partial \varepsilon_o^p + \tau_o \partial \gamma_o^p} \approx \frac{1}{\tau_o} G_p,$$

где  $K_p = \frac{\partial \sigma_o}{\partial \varepsilon_o^p}$ ;  $G_p = \frac{\partial \tau_o}{\partial \gamma_o^p}$ ;  $H_p = \frac{\partial \sigma_o}{\partial \gamma_o^p}$  – пластические объемный модуль, модуль сдвига и модуль дилатации. Окончательно имеем

$$\frac{\partial F}{\partial \chi} = \frac{K_p H_p}{\sigma_o H_p + \tau_o K_p} \frac{\partial F}{\partial \sigma_o} + \frac{1}{\tau_o} G_p \frac{\partial F}{\partial \tau_o}. \quad (13)$$

### ПЛАСТИЧЕСКИЕ МОДУЛИ

Прежде необходимо сформулировать зависимости между компонентами октаэдрических напряжений  $\sigma_o, \tau_o$  и деформаций

$$\varepsilon_o = 1/3(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z),$$

$$\gamma_o = \frac{2}{3} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2} + \frac{2}{3} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)$$

в виде функций  $\sigma_o = \sigma_o(\varepsilon_o, \gamma_o)$ ,  $\tau_o = \tau_o(\gamma_o)$ . Для определения этих функций будем использовать диаграммы деформирования бетона, аналогичные диаграмме при одноосном сжатии-растяжении, заимствованные из [6]. На рис. 3 показана функция  $\tau_o = \tau_o(\gamma_o)$  в относительных координатах  $\eta = \gamma / \hat{\gamma}$ ,  $\xi = \tau / \hat{\tau}$ , где  $\hat{\tau}$  и  $\hat{\gamma}$  – координаты вершины диаграммы. Выражение для этой функции имеет вид

$$\xi = \frac{\lambda \eta}{1 + A\eta + B\eta^2 + C\eta^3}, \quad (14)$$

где

$$\hat{\gamma}_o = \lambda \frac{\hat{\tau}_o}{2G_o}; C = \lambda \frac{1 - \xi_r}{\xi_r (\eta_r - 1)^2} - \frac{1}{\eta_r}; B = 1 - 2C; A = C + \lambda - 2.$$

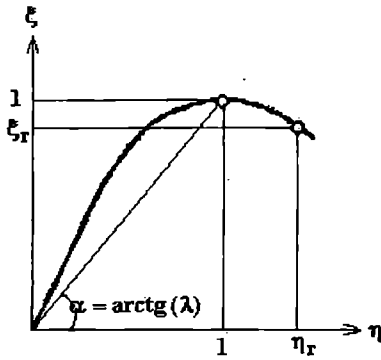


Рис. 3. Исходная диаграмма

При этом предельное значение  $\hat{\tau}$  определяется из выражения (2) или (3),  $G_o$  – начальный модуль упругости бетона при сдвиге,  $\xi_r \approx 0.85, \eta_r \approx 1.41$  – координаты точки на ниспадающей ветви,  $\lambda$  – коэффициент упруго-пластических деформаций, определяемый экспериментально и зависящий от вида бетона, его значение принимается в диапазоне 1.8-2.5.

Пластический модуль сдвига равен

$$G_p = \frac{\partial \tau_o}{\partial \gamma_o^p} = \frac{\partial \tau_o}{\partial \gamma_o - \partial \gamma_o^e} = \frac{G_o G}{G_o - G}, \quad (15)$$

где модуль сдвига для полных деформаций

$$G = \frac{\partial \tau_o}{\partial \gamma_o} = \frac{\hat{\tau}_o}{\hat{\gamma}_o} \frac{\partial \xi}{\partial \eta} = \frac{2G_o}{\lambda} \xi', \quad \xi' = \frac{1 - B\eta^2 - 2C\eta^3}{(1 + A\eta + B\eta^2 + C\eta^3)^2}.$$

Для определения пластических модулей объемных деформаций и дилатации представим диаграмму для всестороннего сжатия в виде произведения двух функций  $\sigma_o = \sigma_o(\varepsilon_o, \gamma_o) = f_1(\varepsilon_o) f_2(\gamma_o)$ , первая из которых определяет нелинейность объемного деформирования бетона, вторая – эффект дилатации. Функцию  $f_1(\varepsilon_o)$  сформулируем по аналогии с выражением (3) в виде  $f_1(\sigma_o) = \hat{\sigma}_o \xi$ , в котором, однако  $\eta = \frac{\varepsilon_o}{\hat{\varepsilon}_o}; \hat{\varepsilon}_o = \lambda \frac{\hat{\sigma}_o}{3K_o}$ . Для функции  $f_2(\gamma_o)$  может быть рекомендовано выражение [4]

$$f_2(\gamma_o) = \exp(\omega \zeta / (1 - \zeta)),$$

где  $\zeta = \gamma_o / \hat{\gamma}_o$ .

Тогда модули объемных деформаций и дилатации равны

$$K = \frac{\partial \sigma_o}{\partial \varepsilon_o} = \hat{\sigma}_o f_2(\gamma_o) \xi'; \quad H = f_1(\varepsilon_o) f_2(\gamma_o) \frac{\omega}{\hat{\gamma}_o (1-\zeta)^2},$$

а соответствующие пластические модули имеют вид

$$K_p = \frac{\partial \sigma_o}{\partial \sigma_o^p} = \frac{\partial \sigma_o}{\partial \varepsilon_o - \partial \varepsilon_o^e} = \frac{K_o K}{K_o - K}; \quad H_p = H, \quad (16)$$

где  $K_o$  – начальный модуль объемных деформаций бетона.

### РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ

Описанная теория течения была реализована в пакете прикладных программ «Plast-Khan» [3], предназначенном для реализации инкрементальных моделей материала в нелинейных задачах с помощью МКЭ шаговым и шагово-итерационным методами.

Рассмотрим пример расчета предварительно напряженной железобетонной балки из опытов А.Н.Петрова (НИИЖБ). Геометрические размеры, схемы армирования, нагружения и расчетная представлены на рис.4. При этом использовались изопараметрические плоские четырехузловые конечные элементы для моделирования бетона и стержневые элементы для арматуры. Совместная работа бетона и арматуры обеспечивалась равенством перемещений в узлах. Исходные характеристики материалов:  $R_b = 43.5$  МПа,  $R_{bt} = 2.5$  МПа,  $E_b = 36000$  МПа,  $\varepsilon_b = 0.002$ ,  $\varepsilon_{bt} = 0.0001$ . Нагружение осуществлялось ступенями в следующей последовательности. На первой ступени прикладывались горизонтальные силы, моделирующие предварительное нагружение, затем ступенями по  $P=5$  кН прикладывались вертикальные силы вплоть до разрушения. Результаты расчетов представлены на рис. 5-6. Здесь же, на рис.6 дано сопоставление с опытными данными по прогибам.

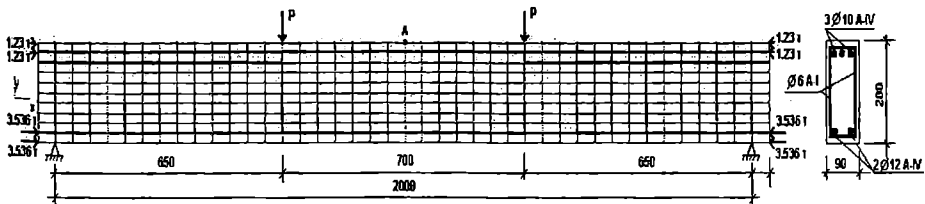


Рис. 4. Расчетная схема балки

# Водные пути и порты

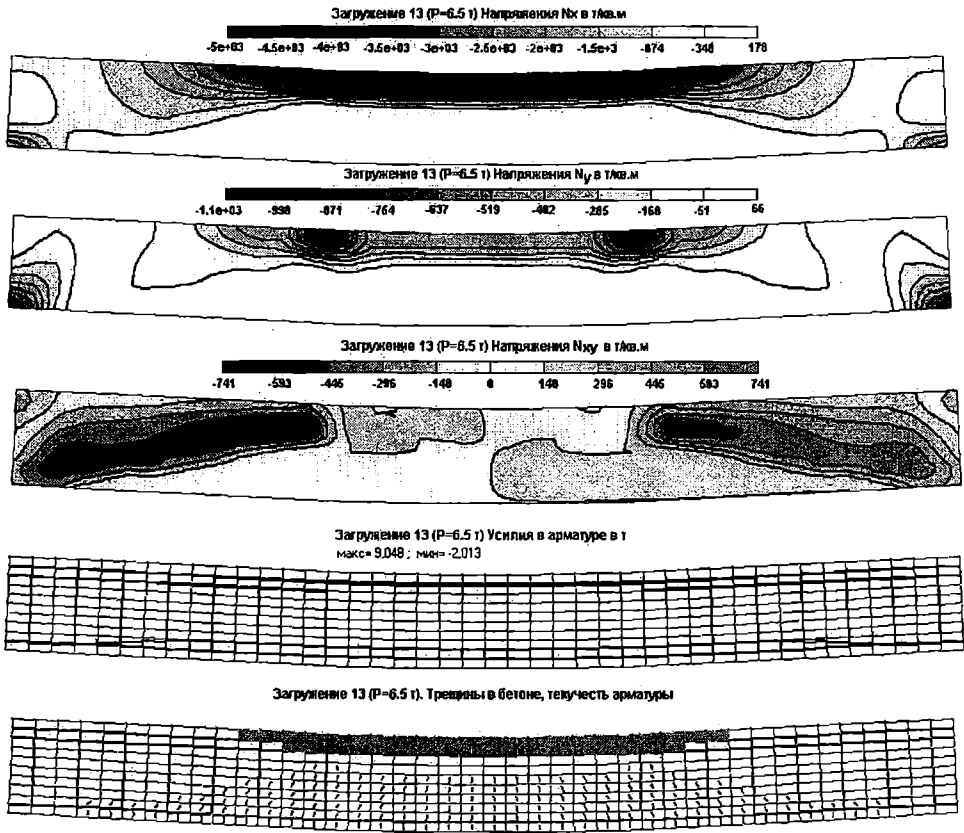


Рис. 5. Результаты расчета напряженного состояния балки

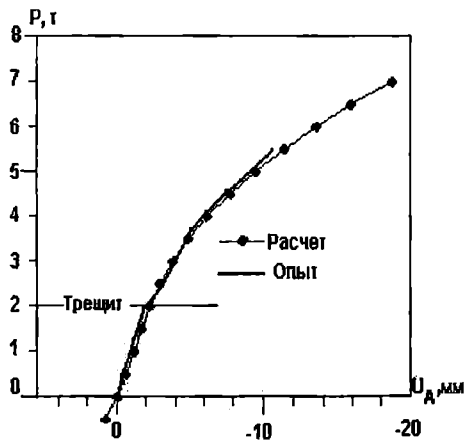


Рис.б. Прогибы балки

### ВЫВОДЫ

1. Предложен вариант ассоциированной теории пластичности бетона с деформационным упрочнением, построенном на базе предельной поверхности и диаграмм деформирования.
2. Созданная на основании теории течения бетона деформационная модель была успешно реализована и апробирована с помощью метода конечных элементов. Результаты расчетов показали достаточную надежность предлагаемой модели и пригодность ее для практического применения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин А.В., Федорова Е.Ю. *Нелинейные динамические задачи расчета портовых гидротехнических сооружений.* – Одесса: Изд-во ОНМУ, 2002. – 125 с.
2. Зенкевич О. *Метод конечных элементов в технике.* – М.: Мир, 1975. – 541 с.
3. Клованич С.Ф. *Модель прочности и деформаций бетона и грунта при сложном напряженном состоянии // Строительные конструкции / Межвед. научн.-техн. сб. Вып. 59.* – Киев: НИИСК, 2003. – С. 163-170.
4. Кудашов В.И. *Математическое моделирование процессов нелинейного деформирования и разрушения железобетонных сосудов высокого давления при термосиловом нагружении // Прикладные проблемы прочн. и пластич.: Методы решения.* – Горький, 1987. – С. 60-69.
5. Филоненко-Бородич М.М. *Об условиях прочности материалов, обладающих различным сопротивлением растяжению и сжатию // Инж. сборник.* – 1954. – Вып. 19. С. 36-48.
6. Mikkola M.J., Sinisalo H.S. *Finite Element Analysis of Transient Non-linear Response of Reinforced Concrete Structures // Int. J. Pres. Ves. & Piping.* 1983. – №12. – P. 107-122.
7. Saennz I.P. *Discussion of equation to the stress-strain corner of concrete by P.Desai and S.Krishnan // ACI Journal, Proc.* – 1964. – V.61. – №9. – P. 1229-1235.

Надійшла 15. 06. 05



## **КИНЕМАТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДПОРНЫХ СТЕНОК С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ**

*В статье рассмотрена современная расчетная модель системы «подпорная стенка - грунтовая среда».*

*Последовательное рассмотрение условий равновесия предельной и допредельной призм, взаимодействующих как с соответствующими участками контактной грани подпорной стенки, так и друг с другом, позволяет определить силы бокового давления грунта обеих призм на сооружение.*

*Описаны формы призм грунта, взаимодействующих с подпорной стенкой.*

*Получены решения, как для плоских, так и для криволинейных поверхностей скольжения.*

*Учет потенциальных и/или реализованных обобщенных перемещений дает возможность уточнить нагрузки на подпорную стенку и, следовательно, получить более надежное или экономичное проектное решение.*

*Ключевые слова: подпорная стенка, грунтовая среда, условия равновесия, учет потенциальных обобщенных перемещений*

### **Введение**

К основным требованиям, предъявляемым к современной расчетной модели системы «подпорная стенка - грунтовая среда», можно отнести следующие:

- достоверность (физически и логически обоснованная теоретическая база, соответствие результатов ее применения известным экспериментальным данным)
- универсальность (как с точки зрения различных видов грунта, так и параметров подпорной стенки)
- доступность (использование для получения исходных данных традиционных методов исследования грунтов; простой алгоритм реализации расчетной модели)
- эффективность (быстрое получение надежных результатов с достаточной точностью и приемлемыми материальными затратами).

Поскольку, увы, идеальная модель, удовлетворяющая сразу всем этим требованиям, пока не создана, мы вынуждены довольствоваться обеспечением только некоторых из названных позиций, составляя из них оптимальное для рассматриваемой задачи сочетание.

Так, для решения проблемы определения бокового давления грунта на подпорную стенку, контактная грань которой вследствие тех или иных причин может смещаться (влияние податливости основания, жесткости самой стенки, условий ее анкеровки и проч.), был разработан и в течение последнего десятилетия получил интересное развитие так называемый кинематический (хотя точность применения этого термина может дискутироваться) метод расчета взаимодействия подпорной стенки с грунтом.

Основы этого метода были достаточно полно освещены в специальной литературе [1, 2] и обсуждены на серьезном международном уровне [3, 4], найдя понимание и признание.

### Кинематический подход и его развитие

Суть кинематического метода вкратце сводится к следующему. Грунт, взаимодействующий с контактной гранью подпорной стенки, считается находящимся в смешанном напряженном состоянии, т.е. заключен в пределах двух призм, одна из которых находится в предельном, а другая – в допредельном напряженном состоянии. Граница между этими призмами на контактной грани подпорной стенки определяется реализованным относительным обобщенным перемещением контактной грани. Относительным – потому что в качестве количественного критерия (параметр  $\alpha$ ) рассматривается отношение горизонтальной составляющей перемещения рассматриваемой точки на контактной грани стенки к глубине ее расположения относительно дневной поверхности грунта над контактной гранью, а обобщенным – так как результирующее перемещение рассматриваемой точки может быть обусловлено как поступательным перемещением сооружения, так и его поворотом относительно некоторой оси.

Последовательное рассмотрение условий равновесия предельной и допредельной призм, взаимодействующих как с соответствующими участками контактной грани подпорной стенки, так и друг с другом, позволяет определить силы бокового давления грунта обеих призм на сооружение. В этом подходе для описания формы призм грунта, взаимодействующих со стенкой, пригодны все известные гипотезы о форме поверхностей скольжения. Нами получены решения, как для плоских (теория Кулона) [1], так и для криволинейных (теория предельного напряженного состояния) поверхностей скольжения [2]. Причем поверхность потенциальной поверхности скольжения для допре-

дельной призмы принята подобной поверхности скольжения для предельной призмы (в обоих случаях расчетные формулы имеют одинаковую структуру). Отличие в форме и размерах этих двух призм обусловлено использованием для описания предельной призмы угла внутреннего трения  $\varphi$  (т.е. максимальной величины угла отклонения равнодействующей реактивного давления грунта в естественном напряженном состоянии позади тыловой границы рассматриваемой призмы от нормали к плоскости этой границы), а для описания допредельной призмы - текущего значения упомянутого угла отклонения, реализованная величина которого принята пропорциональной обобщенному перемещению подпорной стенки:

$$\varphi' = \varphi_0 + n(\varphi - \varphi_0),$$

где коэффициент  $n$  зависит от соотношения размеров зон предельного и допредельного напряженных состояний грунта ( $0 < n < 1$ ); а  $\varphi_0$  - условный угол внутреннего трения грунта, соответствующий его боковому давлению в состоянии покоя.

Рассматривая обобщенные перемещения сооружения в диапазоне их реальных значений можно последовательно получить и проанализировать трансформацию призм допредельного и предельного напряженных состояний грунта, взаимодействующего с подпорной стенкой. С ростом перемещений сооружения происходит постепенное уменьшение размеров первой призмы и соответствующее увеличение второй, а также соответствующее уменьшение результирующего распорного (в пределе – до активного) либо возрастания результирующего отпорного (в пределе – до пассивного) давления грунта.

Таким образом, разработанный подход (М.П. Дубровский [1-4]) оперирует традиционными характеристиками грунтовой среды, учитывает качественные и количественные параметры деформированного состояния рассматриваемой системы и реализует несложные (в математическом смысле) расчетные зависимости для искомых величин.

Для практической реализации кинематического метода (ограничиваясь несвязной грунтовой средой) канд. техн. наук Ж. Ассаф разработал расчетный алгоритм и программу расчета на ЭВМ [5]. Они были успешно применены как для практических расчетов подпорных стенок портовых гидротехнических сооружений, так и для сопоставления результатов применения обсуждаемой расчетной модели с известными экспериментальными данными. Отметим, что сравнительный анализ продемонстрировал хорошую сходимость между вычисленными и измеренными в опытах величинами.

Позднее канд. техн. наук Н.Н. Хонелия развила полученные результаты на взаимодействие массивных подпорных стенок со связной неоднородной грунтовой средой [6, 7], получив как расчетные зависимости, так и общий расчетный алгоритм, реализованный в вычислительной программе.

Инженер А.В. Калюжный на основе многочисленных серий численного моделирования взаимодействия жесткой подпорной стенки с грунтовой средой исследовал особенности применения кинематического метода и получил интересные количественные данные по напряженно-деформированному состоянию рассматриваемой системы [8].

Численное экспериментирование проводилось с подпорной стенкой высотой 15 м, контактная тыловая грань которой, наклоненная к вертикали под углом  $\alpha_0$ , взаимодействует с песчаной засыпкой поверхность которой, нагруженная распределенной нагрузкой интенсивностью  $q$ , составляет с горизонтом угол  $\beta$ . В процессе моделирования взаимодействия элементов рассматриваемой системы варьировались следующие ее параметры и характеристики:

- параметр  $m$ , отражающий влияние угла контактного трения, в интервале значений  $0 < m = \delta/\phi < 1$  с шагом 0,25 при  $\alpha_0 = \beta = q = 0$ ;  $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$ ;  $\phi = 30^\circ$ ;
- угол  $\alpha_0$  в интервале значений  $-20^\circ < \alpha_0 < 20^\circ$  с шагом  $10^\circ$  при  $\beta = q = 0$ ;  $m = 0$ ;  $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$ ;  $\phi = 30^\circ$ ;
- угол  $\beta$  в интервале значений  $-20^\circ < \beta < 20^\circ$  с шагом  $10^\circ$  при  $\alpha_0 = q = 0$ ;  $m = 0$ ;  $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$ ;  $\phi = 30^\circ$ ;
- интенсивность нагрузки в интервале значений  $0 < q < 100 \text{ кПа}$  с шагом 20 кПа при  $\alpha_0 = \beta = 0$ ;  $m = 0$ ;  $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$ ;  $\phi = 30^\circ$ ;
- параметр  $\alpha$  в интервале значений  $0,001 < \alpha_a < 0,0025$ ;  $0,005 < \alpha_p < 0,04$  для распорного и отпорного давлений грунта на подпорную стенку соответственно при  $m = 0,5$ ;  $\alpha_0 = 0$ ;  $10^\circ$ ;  $\beta = 0$ ;  $10^\circ$ ;  $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$ ;  $\phi = 30^\circ$ ;
- угол внутреннего трения засыпки в интервале значений  $28^\circ < \phi < 32^\circ$  с шагом  $1^\circ$  при  $m = 0,5$ ;  $\alpha_0 = \beta = q = 0$ ;  $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$ ;
- удельный вес засыпки в интервале значений  $18 \text{ кН/м} < \gamma < 22 \text{ кН/м}$  с шагом  $1 \text{ кН/м}^3$  при  $m = 0,5$ ;  $\alpha_0 = \beta = q = 0$ ;  $\phi = 30^\circ$ .

Для всех указанных вариаций исходных параметров определялись зависимости распорного и отпорного давления как от поступательных перемещений контактной грани сооружения (в интервалах перемещений соответственно от нуля до  $U_a = \alpha_a H$  и от нуля до  $U_p = \alpha_p H$ ), так и от величины поворота (угол  $\rho$  с вертикалью) контактной грани стенки от грунта засыпки и на грунт для двух гипотез о форме поверхности скольжения (плоской и криволинейной).

Как следует из полученных результатов, в начальной стадии перемещений сооружения от грунта засыпки влияние угла контактного трения (или параметра  $\delta$ ) больше в абсолютных величинах, чем в конце интервала  $[0; U_a]$ , в то же время относительная разница между значениями распорного давления в начале и в конце этого интервала

сохраняется примерно одинаковой. Обратная картина наблюдается при перемещении сооружения на грунт: в начале интервала  $[0; U_p]$  влияние угла  $\delta$  в абсолютных величинах меньше, чем в его конце; еще одно отличие заключается в том, что и относительная разница между значениями отпорного давления в начале и конце рассматриваемого интервала не остается постоянной – при давлении, близком к давлению покоя она в несколько раз меньше, чем при давлении, приближающемся к пассивному.

Отмеченные особенности графиков « $E - U$ » свойственны как для схем, основанных на гипотезе о плоских поверхностях скольжения, так и для схем, реализующих гипотезу о криволинейных поверхностях. В то же время, если для этих обеих гипотез количественные параметры рассматриваемых графиков для распорного давления практически совпадают во всем интервале варьируемых значений угла  $\delta$ , то разница в значениях отпорного давления при плоских и криволинейных поверхностях весьма велика (достигает в рассмотренных случаях полутора – двух раз) при значениях параметра  $m$  близких к единице (при малых  $m$  форма поверхности скольжения существенного влияния не оказывает). Уместно отметить, что при определенных значениях углов  $\alpha_0$  и  $\beta$  указанная разница в значениях отпорного давления, обусловленная различием в форме поверхности скольжения, при углах  $\delta$  близких к углу  $\varphi$  становится еще больше и достигает нескольких раз.

Из рассмотрения результатов определения бокового давления грунта в зависимости от параметра  $m$  при повороте контактной грани сооружения на грунт и от грунта можно отметить незначительное влияние угла контактного трения на распорное давление. При  $m = 0,5 \div 1,0$  кривые « $E - p$ » практически совпадают, а в интервале  $0 < m < 0,5$  разница в значениях распорного давления не превышает 20%. Однако влияние угла контактного трения весьма существенно на отпорное давление. Так, для рассмотренного случая вертикальной контактной грани и горизонтальной поверхности засыпки разница в значениях отпорного давления в интервале  $0 \leq m \leq 1$  может достигать 100% и более.

Полученные в результате численного моделирования зависимости « $E - \alpha_0$ » близки к линейным в случае распорного давления и имеют нелинейный характер при отпорном давлении. Характер рассматриваемых зависимостей сохраняется как при плоских, так и при криволинейных поверхностях скольжения. Оценивая влияние параметра  $\alpha_0$  количественно следует отметить следующее: оно сказывается на изменении величины давления в рассмотренном интервале перемещений наиболее существенно при отрицательных значениях  $\alpha_0$  (до 80% при распорном давлении и до трех раз при отпорном) и в значительно меньшей степени при положительных значениях  $\alpha_0$  (до 30% при распорном и до полутора раз при отпорном давлении). Таким образом,

угол наклона контактирующей с грунтом грани сооружения оказывает существенное как качественное, так и количественное влияние на зависимости бокового давления грунта от перемещения сооружения.

Не менее заметным является влияние и угла наклона поверхности засыпки к горизонту. Так, степень нелинейности графиков « $E - \beta$ » значительно выше при подъеме дневной поверхности грунта, в то время, как при ее понижении кривизна рассматриваемых зависимостей уменьшается (но не сводит их к линейным). Отмеченное обстоятельство характерно как для распорного, так и для отпорного давления. Отличия же в этих двух видах бокового давления грунта сказываются на кривизне графиков « $E - \beta$ » при различных стадиях перемещения сооружения. Так, для распорного давления графики « $E - \beta$ » при начальных перемещениях сооружения имеют явно выраженный нелинейный характер (как для плоских, так и для криволинейных поверхностей скольжения), в то время, как в конце интервала перемещений  $[0; U_a]$  эти графики близки к прямолинейным. В случае отпорного давления наблюдается противоположная картина: при небольших смещениях контактной грани рассматриваемая зависимость практически линейна, а в конце интервала  $[0; U_p]$  соответствующие графики (для обоих типов поверхностей скольжения) криволинейны. Указанные отличия сказываются и на количественной оценке значений бокового давления грунта. Например, при распорном давлении, близком к давлению покоя, изменения угла наклона поверхности засыпки в интервале  $- 20^\circ \leq \rho \leq 20^\circ$  приводит к соответствующему изменению давления до двух раз, а при распорном давлении, приближающемся к активному, соответствующее изменение не превышает полутора раз. В аналогичной кинематической ситуации отпорное давление в начале перемещения сооружения может измениться на 15-20%, а при приближении к пассивному давлению – в два раза. Во всех рассмотренных случаях увеличение бокового давления, сопровождающее возрастание значений угла  $\beta$ , менее значительно (10-20%) при отрицательных значениях этого угла, чем при положительных (до двух раз).

Зависимости, отражающие влияние угла  $\beta$  на боковое давление засыпки на стенку при повороте ее контактной грани на грунт и от грунта, также свидетельствуют о наиболее существенном влиянии положения дневной поверхности засыпки в начале поворота стенки (значения распорного давления отличаются до двух раз) и о значительно меньшем влиянии при предельных значениях угла  $\rho$  (значения давления отличаются до 20%).

## **Развитие понятия о давлении грунта в состоянии покоя**

Учитывая, что одним из базовых понятий (а точнее – отправной точкой в прямом смысле этого слова) рассматриваемого кинематического метода является давление грунта в состоянии покоя, необходимым компонентом выполненных исследований являлся анализ этого фактора. Как оказалось, несмотря на то, что понятие о давлении грунта в состоянии покоя используется не один десяток лет, анализ его физического смысла и возможности трактовки с современных позиций (имеются в виду экспериментальные исследования последних лет) далеко не исчерпаны.

Как было показано [9-11], понятие давления грунта в состоянии покоя может быть конкретизировано и уточнено со следующих позиций:

- давление в состоянии покоя определяется не точкой на оси коэффициентов бокового давления грунта графика «давление – перемещение», а отрезком на этой оси, от нижней границы которого начинается график, характеризующий распорное, а от верхней границы – график, характеризующий отпорное давление грунта на стенку вводится понятие так называемого «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). Физический смысл этого параметра состоит в том, что, если при смещении стенки от грунта призма распора образуется практически одновременно с началом смещения как проявление действия сил трения (чему способствует сила тяжести грунта), то при навале стенки на грунт его сила тяжести препятствует смещению и лишь в результате преодоления этого фактора (который и предложено численно оценивать значением «порога гравитации») проявляется действие сил трения в грунте, приводящих к формированию призмы отпора. Таким образом, введенное понятие «порога гравитации» может быть описано следующим выражением:

$$\Delta e_0 = e_{op} - e_{oa},$$

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

- характеристикой, более пригодной для количественной оценки рассматриваемого процесса, может служить относительный параметр, назовем его коэффициентом трансформации, равный отношению рассматриваемых значений бокового давления грунта в состоянии покоя

$$K_1 = e_{op}/e_{oa}.$$





казывают 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.

Из вышеизложенного можно заключить, что учет потенциальных (при анализе давления грунта в состоянии покоя для проектирования жестких или малодеформируемых конструкций) и/или реализованных (при рассмотрении смещаемых и деформируемых сооружений) обобщенных перемещений дает возможность уточнить нагрузки на подпорную стенку и, следовательно, получить более надежное или экономичное проектное решение.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский М.П. *Определение бокового давления грунта на подпорную стенку с учетом кинематики сооружения // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1994. – № 2. – С. 5-9.*
2. 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. 3-7.*
3. *Doubrovsky M.P. Numerical modelling of soil/Structure interaction. Proceedings of XI European Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering. Copenhagen, Bulletin 11. – 1995. – Vol. 6. – P. 102-108.*
4. *Doubrovsky M.P. et al. Determination of soil lateral pressure loads on a retaining wall taking into consideration its displacements and deformations. Proceedings of the 14-th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Hamburg, 1997. – Vol. 2. – P. 795 - 798.*
5. Дубровский М.П., Ассаф Ж. *Программа определения бокового давления грунта на подпорную стенку как функции от ее перемещений при плоских и криволинейных поверхностях скольжения. Нелинейная механика грунтов / Труды IV Российской конференции с иностранным участием // Под ред. А.Б. Фадеева. СПб., 1993. – Т. 2. – С. 92-99.*
6. Дубровский М.П., Хонелия Н.Н. *Исследование напряженно-деформированного состояния системы «грунтовая среда - сооружение» с учетом кинематических факторов и смешанного напряженного состояния // 36. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полтава: Національний технічний університет ім.Юрія Кондратюка. Вип. 12. – 2003. – С. 70-75.*

7. Дубровский М.П., Хонелия Н.Н. Автоматизированный расчет бокового давления связного грунта в зависимости от обобщенного перемещения подпорной стенки // Вісник Одеського національного морського університету. Одеса: ОНМУ. – Вип. 10. – 2003. – С. 89-92.
8. Дубровский М.П., Калюжний А.В. Кинематический анализ работы портового причального сооружения распорного типа // Вісник Одеського державного морського університету. Одеса: ОДМУ. – Вип. 4. – 1999. – С. 106-115.
9. Doubrovsky M.P., Khonelia N.N., Poizner M.B., Kaluzhny A.V. Influence of potential soil deformations on soil pressure at rest upon retaining wall. Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds. Proceedings of the XIIIth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Prague, 2003. – Vol. 2. – P. 521-526.
10. Дубровський М.П. Про навантаження від тиску ґрунту в стані спокою на підпирні стінки транспортних споруджень // Вісник Транспортної академії України, Національного Транспортного університету. – Київ, 2002. – № 6. – С. 36-41
11. Дубровский М.П., Калюжний А.В. О боковом давлении грунта на подпорную стенку в состоянии покоя // 36. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтава: Національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. Вип. 12. – 2003. – С. 76 – 90.

Надійшла 26. 08. 05

## **ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ**

*Гидрологическое прогнозирование судоходных условий внутренних водных путей включает метод расчета русловых переформирований, который базируется на интегрировании применительно к судоходным рекам Украины дифференциального уравнения деформаций. Предлагаемый метод может быть апробирован, используя исполнительную документацию, полученную при производстве дноуглублений.*

***Ключевые слова:** заносимость фарватера, расход наносов, поперечное сечение реки, скорость течения.*

Эксплуатация внутренних водных путей, как правило, сопровождается путевыми работами, обеспечивающими границы, направление и глубину судового хода. В этой связи на судоходных свободных реках систематически выполняются дноуглубительные и выправительные работы, технология, характер и объемы которых определяют преобладающую капитальную стоимость общих путевых мероприятий. В основе рационального использования капиталовложений на дноуглубительные и выправительные работы должно быть наличие нормативных документов, содержащих методы прогноза заносимости судового хода при соответствующем гидравлическом, гидрологическом и русловом режиме конкретного участка реки.

Судоходная прорезь, в числе прочих условий, должна иметь расчётные нормативные габаритные размеры, наименьший возможный объем выемки (в основном за счёт заносимости). Последнее условие может планироваться на основе прогноза русловых деформаций с уточнением при сравнении с фактическими объемами выемки.

Применительно к судоходным участкам рек Украины, эксплуатационные прорези которых находятся в условиях постоянных дноуглубительных работ, достаточно затруднительно прогнозировать заносимость по данным перемещения русловых форм (как это возможно на участках рек в естественном состоянии и при систематических длительных наблюдениях за ходом русловых процессов). В таких условиях единственно-возможными являются гидродинамические подходы к прогнозу русловых деформаций.

При прогнозе русловых переформирований нижних участков судоходных рек за основу можно принять уравнение деформации русла [1]

$$\frac{\partial P_s}{\partial x} + (1 - \varepsilon) \left( B \frac{\partial H}{\partial t} + H \frac{\partial B}{\partial t} \right) + \frac{\partial(\omega s)}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где  $x$  – продольная координата,  
 $t$  – время,  
 $Q$  – расход воды,  
 $\omega$  – площадь живого сечения,  
 $B$  – ширина живого сечения поперёк,

$H = \frac{\omega}{B}$  – средняя глубина,

$P_s$  – объёмный расход взвешенных наносов,

$s = \frac{P_s}{Q}$  – средняя концентрация транспортируемых наносов,

$\varepsilon$  – коэффициент пористости донных отложений.

В уравнении (1) учитываются только взвешенные наносы, преобладающие на устьевых участках рек Украины. Величина  $\omega s$  может быть представлена выражением

$$\omega s = \frac{P_s}{V}, \quad (2)$$

где  $V$  – средняя скорость водного потока.

Уравнение (1) с учётом соотношения (2) после деления всех его членов на ширину потока  $B$ , преобразуется

$$\frac{1}{B} \frac{\partial P_s}{\partial x} + (1 - \varepsilon) \left( \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{H}{B} \frac{\partial B}{\partial t} \right) + \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{P_s}{V} \right) = 0, \quad (3)$$

С учётом того, что нижние участки рек достаточно широкие ( $B > 10H$ ), величина  $\frac{H}{B}$  является величиной второго порядка малости и тогда уравнение (3) упрощается

$$\frac{1}{B} \frac{\partial P_s}{\partial x} + (1 - \varepsilon) \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{P_s}{V} \right) = 0, \quad (4)$$

По предложению К.В. Гришанина [1] на каждом рассматриваемом участке реки принимаем зависимость расхода наносов  $P_s$  от средней скорости течения  $V$  в виде  $P_s = AV^m$ . Тогда производная  $\frac{\partial P_s}{\partial x}$  может быть представлена в виде

$$\frac{\partial P_s}{\partial x} = -\frac{mP_s}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial x}. \quad (5)$$

Принимая во внимание соотношение (5), уравнение (4) преобразуется

$$-\frac{m}{B} \frac{P_s}{\omega} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial x} + (1-\varepsilon) \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{P_s}{V} \right) = 0. \quad (6)$$

Соотношение  $z_w = z_s + H$ , где  $z_w, u, z_s$  - соответственно отметки поверхности воды и дна реки, позволяет принять

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{\partial z_s}{\partial t}. \quad (7)$$

С другой стороны можно представить соотношения  $\frac{1}{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial x} = \frac{1}{H} \frac{\partial H}{\partial x}$  и  $\frac{\partial H}{\partial x} = I - i$ , где  $I$  и  $i$  продольные уклоны водной поверхности и дна реки. Это позволяет преобразовать уравнение (6)

$$\frac{\partial z_s}{\partial t} = -\frac{mA(I-i)}{1-\varepsilon} \frac{V^m}{\omega} + \frac{A(m-1)}{(1-\varepsilon)B} V^{m-2} \frac{\partial V}{\partial t}. \quad (8)$$

В уравнении (8) величина  $\frac{\partial V}{\partial t} \approx 0$ , так как изменение скорости в процессе подъёма или спада волны паводка в условиях нижних участков судоходных рек, как правило, происходит достаточно плавно. Это даёт основание пренебречь вторым членом правой части уравнения (8), которое упростится

$$\frac{\partial z_s}{\partial t} = \frac{mA(i-I)}{1-\varepsilon} \frac{V^m}{\omega}, \quad (9)$$

После интегрирования и введения функции  $f_z = \frac{V^m}{\omega}$  величина деформации русла в расчётном створе во временном интервале от  $t_1$  до  $t_2$  определится

$$\Delta z_s = \frac{mA(i - I)}{1 - \varepsilon} \int_{t_1}^{t_2} f_s dt. \quad (10)$$

Период суммирования ( $t_2 - t_1$ ) определяется временем, ограниченным окончанием предыдущего и началом запланированного дноуглубления. Соотношение уклонов ( $i - I$ ) по-существу определяет знак деформации: занесение (+) и эрозия (-).

Предлагаемое для прогноза русловых деформаций уравнения (10) содержит переменную величину  $f_s$ , характеризующую данный створ и включающую среднюю скорость течения и площадь живого сечения. С учётом специфики задач, учитывающих русловую процесс в пределах судоходной прорези, а также слишком неоднородный рельеф дна и неравномерный скоростной режим в пределах поперечного сечения реки, имеет смысл ограничить область оценки деформаций русла при помощи уравнения (10). Если последнее применить к области струй в пределах судоходной прорези, то в качестве исходной информации к прогнозу русловых деформаций должен быть план течения и площадь поперечного сечения, ограниченные соответствующими струями.

Применительно к судоходным прорезям в условных систематического дноуглубления аллювиальных отложений может быть использован метод плоских сечений М.А. Великанова для плавно-изменяющегося движения. Метод рассмотрен К.В. Гришаниным [2] и основан на использовании уравнений Шези и Маннинга, выражающих уклон водной поверхности без учёта сил инерции

$$I = \frac{n^2 q^2}{h^{10/3}}, \quad (11)$$

где  $I$  – уклон водной поверхности;  
 $n$  – коэффициент шероховатости;  
 $h$  – глубина на вертикали;  
 $q$  – удельный расход воды:

$$q = \frac{\sqrt{I}}{n} h^{5/3}. \quad (12)$$

Представив расход речного потока  $Q$  как сумму  $N$  равнорасходных плановых струй, расход воды между  $i$ -ой и  $i+k$  струями будет составлять

$$Q_{i,i+k} = \frac{k}{N} Q = \int_{b_i}^{b_{i+k}} \frac{\sqrt{I}}{n} h^{5/3} db. \quad (13)$$

Приняв уклон водной поверхности и коэффициент шероховатости неизменными в пределах расчётного створа, уравнение (13) принимает вид

$$Q_{i,i+k} = \frac{\sqrt{I}}{n} \int_{b_i}^{b_{i+k}} h^{5/3} db. \quad (14)$$

Расчёт прогнозируемой средней деформации дна уравнением (10) в пределах предполагаемой судоходной прорези выполняется с определением расчётного расхода при помощи уравнения (14). Предварительно вычисляется расход взвешенных наносов по методике А.В. Караушева [4] и рассчитывают параметры  $m$ ,  $A$  по предложению К.В. Гришанина [1] для всего поперечного сечения реки в расчётном створе. Средняя скорость потока определяется при расходе  $Q_{i,i+k}$  вычисленном по уравнению (14). Интеграл уравнения (10) может быть рассчитан графическим методом во временном интервале от  $t_1$  до  $t_2$ .

Предлагаемая методика расчёта путем интегрирования дифференциального уравнения деформации русла с учётом расчётных параметров, характеризующих расход воды (14) прогнозируемой судоходной прорези в пределах соответствующих струй, позволяют определить среднюю деформацию дна реки. Анализируя расчётные величины относительных скоростей и средних деформаций русла по длине судоходной прорези и сопоставляя их с фактическими величинами за многолетний период, можно внести соответствующие коррективы с последующей отработкой нормативного документа по гидрологическому прогнозированию заносимости.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришанин К.В. Устойчивость русел рек и каналов. – Л.: Гидрометеиздат. – 1974. – 143 с.
2. Гришанин К.В., Дегтярев В.В., Селезнев В.М. Водные пути: Учебник для вузов. – М.: Транспорт. – 1986. – 410 с.

3. *Каганов Я.И. Прогноз русловых переформирований при оценке устойчивости и надежности оснований речных сооружений. Вісник ОДМУ, Вып. 7. Одеса, 2001. – С.154-160.*
4. *Караушев А.В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеоздат, – 1969. – 416 с.*

Надійшла 22. 07. 05



## **ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СУДНА**

*Рассматриваются результаты применения шагового регрессионного анализа для оценки параметров судна – количества технологических линий, необходимых для обработки судна за минимальное время, наибольшей его длины и ширины, осадки в грузу. Анализируются два типа регрессионных моделей: полиномиальные первого порядка и мультипликативные. Приводятся результаты расчетов для четырех типов судов.*

**Ключевые слова:** *приближенная оценка, верхняя граница концентрации технологических линий на судне.*

При определении потребности порта в подъемно-транспортном оборудовании, нахождении производственной мощности порта и его элементов, а также при решении многих других задач возникает необходимость оценки таких параметров судна как верхняя граница концентрации технологических линий на судне, наибольшая его длина и ширина, осадка в полном грузу.

В настоящее время разработаны методы точной оценки верхней границы концентрации технологических линий на судне – такого числа линий, которое необходимо для его обработки за минимально короткое время [1, 2]. Однако они весьма сложны, имеют алгоритмический характер и требуют трудоемких расчетов, что сдерживает их практическое применение.

В данной статье предлагается аппроксимировать сложную функциональную связь между оцениваемым параметром судна и определяющими его факторами при помощи простых математических функций (мультипликативных и полиномиальных моделей первого порядка), удобных для выполнения практических расчетов и обеспечивающих в то же время их высокую точность.

Расчеты по обоснованию таких функций предлагается выполнять в следующей последовательности:

- по справочным данным и известным точным методам [1] проводится оценка изучаемого параметра и определяющих его факторов для судов данного (рассматриваемого) типа – формируется выборка наблюдений;

• при помощи метода регрессионного анализа на основании полученной выборки рассчитывается математическая модель, аппроксимирующая связь между данным параметром и определяющими его факторами для данного типа судна.

Такие расчеты были проведены для четырех типов судов: сухогрузов общего назначения, лесовозов, балкеров и контейнеровозов. При этом использовалась программа шагового регрессионного анализа, предусматривающая проверку исходной матрицы на сингулярность и исключение зависимых переменных [3].

В качестве независимых переменных (факторов), определяющих количество технологических линий  $k$ , необходимых для обработки судна за минимально короткое время, приняты: дедейт судна  $D_w$ ; наибольшие длина  $L$  и ширина  $B$  судна; количество грузовых отсеков на судне  $N_o$ ; количество грузовых отсеков, допускающих обработку судна двумя технологическими линиями,  $N_{o2}$ ; коэффициент трюмной неравномерности  $k_{Т.Н.}$ .

Для отдельных судов величина  $k$  рассчитывалась по методике [1]. При выполнении расчетов предполагалось, что груз распределяется по грузовым помещениям прямо пропорционально их объему, а для выполнения погрузочно-разгрузочных работ используются портальные краны (для контейнеровозов рассматривался также случай погрузки-выгрузки причальными контейнерными перегружателями) и работы ведутся по варианту склад-судно и обратно.

В результате расчетов были получены следующие уравнения регрессии для нахождения верхней границы концентрации технологических линий на судне:

- для сухогрузов общего назначения

$$k = 2,1419 + 0,0136L - 0,1847B + 0,4685N_o + 0,2819N_{o2}, \quad (1)$$

$$k = 1,1665D_w^{0,0849} L^{0,3333} B^{-0,7743} N_o^{0,5185} (N_{o2} + 1)^{0,2092}; \quad (2)$$

- для лесовозов

$$k = -0,0945 - 0,0001D_w + 0,0514L - 0,3202N_o, \quad (3)$$

$$k = 0,0127D_w^{-1,6063} L^{1,5274} B^{4,0839} N_o^{0,7066} \quad (4)$$

- для балкеров

$$k = 3,4879 + 0,0187L - 0,1602B + 0,3069N_{o2}, \quad (5)$$

$$k = 0,74L^{0,7895} B^{-0,9301} N_o^{0,1361} (N_{o2} + 1)^{0,2463}, \quad (6)$$

- для контейнеровозов, обрабатываемых контейнерными перегружателями,

$$k = 0,6249 + 0,0001D_w \quad (7)$$

$$k = 0,0189D_w^{-0,756} B^{4,6441} N_o^{-1,7961} k_{T.H}^{0,3181}, \quad (8)$$

- для контейнеровозов, обрабатываемых портальными кранами

$$k = -7,3384 - 0,0002D_w + 0,0676L - 0,2359B + 8,0834k_{T.H} \quad (9)$$

$$k = 0,0076D_w^{-0,3524} L^{2,8492} B^{-1,5243} k_{T.H}^{2,3699}. \quad (10)$$

Получены следующие уравнения регрессии для оценки осадки судна в полном грузу  $T_\Gamma$  в зависимости от его дедвейта  $D_w$ :

- для сухогрузов общего назначения

$$T_\Gamma = 4,0498 + 0,0004D_w, \quad (11)$$

$$T_\Gamma = 0,2592D_w^{0,3741}, \quad (12)$$

- для лесовозов

$$T_\Gamma = 4,836 + 0,0003D_w, \quad (13)$$

$$T_\Gamma = 0,5749D_w^{0,2857}, \quad (14)$$

- для балкеров

$$T_\Gamma = 6,283 + 0,0001D_w, \quad (15)$$

$$T_{\Gamma} = 0,5222D_w^{0,2935}. \quad (16)$$

Получены следующие уравнения регрессии для оценки длины и ширины судна ( $L$  и  $B$ ) в зависимости от его дедвейта  $D_w$ :

- для сухогрузов общего назначения

$$L = 84,071 + 0,0052D_w, \quad (17)$$

$$L = 8,7294D_w^{0,3023}, \quad (18)$$

$$B = 11,636 + 0,0007D_w, \quad (19)$$

$$B = 1,7025D_w^{0,2619}; \quad (20)$$

- для лесовозов

$$L = 79,4627 + 0,0061D_w, \quad (21)$$

$$L = 6,1793D_w^{0,3389}, \quad (22)$$

$$B = 11,7143 + 0,0007D_w, \quad (23)$$

$$B = 1,3437D_w^{0,2874}; \quad (24)$$

- для балкеров

$$L = 109,1428 + 0,0025D_w, \quad (25)$$

$$L = 10,0392D_w^{0,2853}, \quad (26)$$

$$B = 13,8391 + 0,0003D_w, \quad (27)$$

$$B = 1,3807D_w^{0,2798}; \quad (28)$$

Дисперсионный анализ уравнений (1) – (28) (табл.), выполненный по известным критериям [3], показал, что оценки параметров судна, полученные по мультипликативным моделям, намного точнее, чем оценки, рассчитанные по полиномиальным моделям первого порядка. Так, у них значительно более высокие значения расчетного  $F$  - критерия и коэффициента множественной корреляции. Причем расчетные значения  $F$  - критерия превышают их критические (табличные 99 %) значения, как правило, в десятки и даже сотни раз, а значения коэффициента множественной корреляции изменяются в интервале от 0,850 до 0,999. Это свидетельствует об очень высокой статистической значимости полученных уравнений. Поэтому в практических расчетах рекомендуется использовать мультипликативные модели.

Предложенные модели позволяют количественно оценить влияние основных факторов на величину параметров судна. Они достаточно просты и удобны для выполнения расчетов с помощью простейших средств вычислительной техники.

Таблица

*Дисперсионный анализ уравнений регрессии*

Номер уравнения	Расчетный $F$ – критерий	Табличный $F$ – критерий	Коэффициент множественной корреляции
1	555	3,32	0,81
2	721	3,02	0,85
3	300	3,79	0,86
4	320	3,32	0,90
5	30	3,79	0,75
6	200	3,32	0,87
7	94	7,31	0,67
8	101	3,83	0,90
9	1990	3,83	0,996
10	6462	3,83	0,999
11	302	7,31	0,87
12	315	7,31	0,87
13	142	8,10	0,89
14	2155	8,10	0,99
15	57	8,68	0,81
16	141	8,68	0,92
17	209	7,31	0,82
18	681	7,31	0,94
19	536	7,31	0,92
20	1106	7,31	0,96
21	27	8,10	0,60
22	550	8,10	0,97
23	25	8,10	0,58
24	800	8,10	0,98
25	112	8,68	0,90
26	284	8,68	0,96
27	363	8,68	0,97
28	435	8,68	0,87

Мультипликативные модели (2), (4), (6), (8) и (10), предлагаемые для оценки верхней границы концентрации технологических линий на судне, были рассчитаны исходя из предположения, что все отсеки судна

загружены, а трудоемкость их обработки прямо пропорциональна их вместимости, что соответствует существующей практике составления грузовых планов. Точность оценок, получаемых при помощи этих моделей, несколько снижается в случае, если груз имеется не во всех отсеках судна и принцип пропорционального распределения груза по грузовым помещениям не соблюден. Тогда при выполнении расчетов вместо независимых переменных  $D_w, L, N_o, N_{o2}, k_{T.H}$  следует соответственно использовать показатели: количество груза на судне; суммарная длина загруженных отсеков; число загруженных отсеков; количество отсеков с грузом, допускающих обработку двумя технологическими линиями; коэффициент неравномерности загрузки отсеков.

Мультипликативные модели (12), (14), (16), (18), (20), (22), (24), (26) и (28), предлагаемые для оценки параметров  $T_{Г}, L$  и  $B$ , целесообразно использовать в расчетах, связанных с проектированием и перспективным планированием работы порта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Малаксиано А.А. Математическая модель задачи определения верхней границы концентрации технологических линий на судах с вертикальным способом обработки // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. Вип. 8. – Одеса: ОНМУ, 2002. – С. 176 – 65.
2. Малаксиано А.А. Определение верхней границы концентрации подъемно-транспортного оборудования порта при обработке накатных судов // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2004. – № 5(398). – С. 51 – 59.
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Статистика, 1973. – 391 с.

Надійшла 16. 05. 05

УДК 624.154:629.124.74

А.В. Гришин  
Е.Ю. Федорова

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

*Описаны общая структура и основные элементы методики динамического расчета в развернутой нелинейной постановке гидротехнических сооружений с учетом взаимодействия их элементов в рамках упругопластической теории. Приведен пример расчета характеристик напряженно-деформированного состояния причальной стенки из железобетонного шпунта с двумя анкерами.*

*Ключевые слова:* гидротехнические сооружения, динамический расчет, волновые нагрузки, программный комплекс.

В 1956 году была опубликована монография [6] под общей редакцией проф. В. Е. Ляхницкого, в которой обобщались существующие методы расчета портовых гидротехнических сооружений и прогнозировалось развитие этих методов. Динамические методы расчета в монографии не обсуждались. Начиная с 1965 года было проведено несколько координационных совещаний по гидротехнике, на которых в ряде докладов рассматривались результаты теоретических и экспериментальных исследований воздействия на сооружения стоячих волн. Итоги этого рассмотрения подведены в работе [5]. В монографии [7] систематизированы основные методы расчета гидротехнических морских сооружений по состоянию на конец 1993г. В [7] остро поставлен вопрос о необходимости выполнения расчетов с учетом динамического воздействия волновых нагрузок, рассматривалась качественная картина их действия во времени, но приемлемые методики динамического расчета портовых сооружений предложены не были. Динамический расчет массивных морских сооружений, лежащих на безинерционном основании, которое характеризуется четырьмя коэффициентами жесткости, рассматривался в [4]. Такая расчетная модель неприменима к гибким сооружениям, не учитывает фактическое участие основания в колебательном процессе и может дать лишь первое грубое приближение в решении динамических задач.

Остается неясным, чем вызвано такое затянувшееся во времени невнимание к специализированным динамическим проблемам расчета морских гидротехнических сооружений. Следует четко определить, мож-

но ли считать динамический характер нагрузки второстепенным фактором и просто заменять динамические нагрузки эквивалентными статическими. Достаточно взглянуть на рис. 1 и рис. 2 и наглядно ощутить неправомерность статического подхода.



*Рис. 1. Волна у ворот порта*



*Рис. 2. Волна у оконечности мола*

Данные анализа ряда крупных аварий морских сооружений во время шторма также подтверждают необходимость специального учета



динамического характера волновых нагрузок на гидросооружения. Так, например, интенсивность нагрузки от разбитых и прибойных волн на некоторые конструкции достигает 1 МПа, а время ее действия составляет только 0,005 с. Вряд ли такое интенсивное воздействие можно, сохранив его качественно и количественно, заменить эквивалентной статической нагрузкой. Подобные примеры и рассуждения можно легко продолжить.

Количество публикаций по динамическому расчету гидросооружений в последние годы заметно уменьшилось, что, видимо, вызвано сложностью проблемы. Рассмотрим подробнее, в чем эта сложность. Во-первых, следует отметить чрезвычайное разнообразие динамических воздействий. Это волновая нагрузка, нагрузка от швартующихся судов, работающих на сооружениях различных механизмов, ледовая нагрузка и т.д. Далее, гидротехнические сооружения тесно взаимодействуют с грунтовой и водной средами. Поэтому всю совокупность необходимо рассматривать как единую расчетную динамическую систему. На эту систему действуют как статические нагрузки (ее собственный вес, складываемые грузы), так и динамические. При этом в динамическом расчете должны быть обязательно учтены как начальные условия деформации так и напряжения, полученные от статической нагрузки. Нельзя производить раздельный статический и динамический расчеты, а полученные результаты суммировать, поскольку обычно от статических нагрузок, как первоначальных, в системе возникают нелинейные пластические деформации. Следовательно, динамический расчет будет нелинейным и он должен включать в себя, как составную часть, данные статического расчета. Динамическая система работает в условиях сложного нагружения, поэтому использовать в расчетах деформационные теории пластичности, как наиболее простые, не представляется возможным. Только сложные теории, такие как теория вязкопластического течения, могут быть использованы при разработке расчетной динамической модели.

Реализация одних только упругопластических статических задач вызывает значительные трудности и возможна только с использованием современной вычислительной техники. Решение нелинейных динамических задач на порядок сложнее статических и может быть выполнено только с использованием разработанного для этих целей программного комплекса.

Впервые в такой развернутой нелинейной постановке задачи расчета морских гидротехнических сооружений были рассмотрены в монографиях [2,3]. Опуская исходные уравнения и промежуточные выкладки, которые подробно рассмотрены в указанных работах, приведем окончательные уравнения движения, которые описывают динамическое состояние конструкции в момент времени  $t_n$

$$M\ddot{\delta}_n + C\dot{\delta}_n + K(\delta)\delta_n = Q_n + F_n . \quad (1)$$

Здесь  $\delta_n, \dot{\delta}_n, \ddot{\delta}_n$  – соответственно, векторы перемещений, скоростей и ускорений в узлах конечных элементов, на которые разбивается область, занимаемая динамической системой;

- $M$  – матрица масс всей системы;
- $C$  – матрица демпфирования;
- $K(\delta)$  – нелинейная матрица жесткости;
- $Q_n$  – внешняя нагрузка;

$$F_n = \frac{I}{\rho} [h]^T p_n \quad - \text{ это вектор, преобразуемый в матрицу}$$

присоединенных масс жидкости.

Для решения уравнения (1) использовались прямые методы, алгоритмы которых для линейных задач изложены в [1]. Для рассматриваемых здесь нелинейных задач необходимо было выполнить целый ряд серьезных модификаций, связанных с тем, что они решались в приращениях и приходилось возвращать вектор напряжений в область, ограниченную поверхностью нагружения. Были разработаны алгоритмы явного и неявного интегрирования в прямых методах решения и определены области их наиболее рационального применения. Так, например, основное уравнение неявного, как наиболее устойчивого метода, принимает следующий вид:

$$\overline{K}\delta_{n+1} = R_{n+1}, \quad (2)$$

где

$$\overline{K} = \frac{1}{\alpha(\Delta t)^2} \overline{M} + \frac{\beta}{\alpha \Delta t} C + K; \quad (3)$$

$$R_{n+1} = Q_{n+1} + \overline{M} \left[ \frac{1}{\alpha(\Delta t)^2} \delta_n + \frac{1}{\alpha \Delta t} \dot{\delta}_n + \left( \frac{1}{2\alpha} - 1 \right) \ddot{\delta}_n \right] + C \left[ \frac{\beta}{\alpha \Delta t} \delta_n + \frac{1}{\alpha} (\alpha - \beta) \dot{\delta}_n + \frac{\Delta t}{2\alpha} (\beta - 2\alpha) \ddot{\delta}_n \right]; \quad (4)$$

$\overline{M}$  – масса системы, в которую входит присоединенная масса жидкости;

$\alpha, \beta$  – коэффициенты, обеспечивающие безусловную устойчивость процесса интегрирования, обычно они ограничены неравенствами

$$\beta \geq 0,5, \quad \alpha \geq (0,5 + \beta)^2.$$

Решение уравнения (2) осуществляется с помощью процедуры приращений. Для каждого момента времени  $t_{n+1}$  строится итерационный процесс, который возвращает вектор напряжений в область, ограниченную поверхностью нагружения, и определяет решение с наперед заданной точностью. Итерационный процесс заканчивается при выполнении условия

$$\frac{\|\Delta\delta_{n+1}^i\|}{\|\delta_{n+1}^i + \Delta\delta_{n+1}^i\|} \leq \varepsilon_0 \quad (5)$$

где  $\varepsilon_0$  – заданная точность решения;

$i$  – номер итерации.

При выполнении условия (5) решение принимается равным

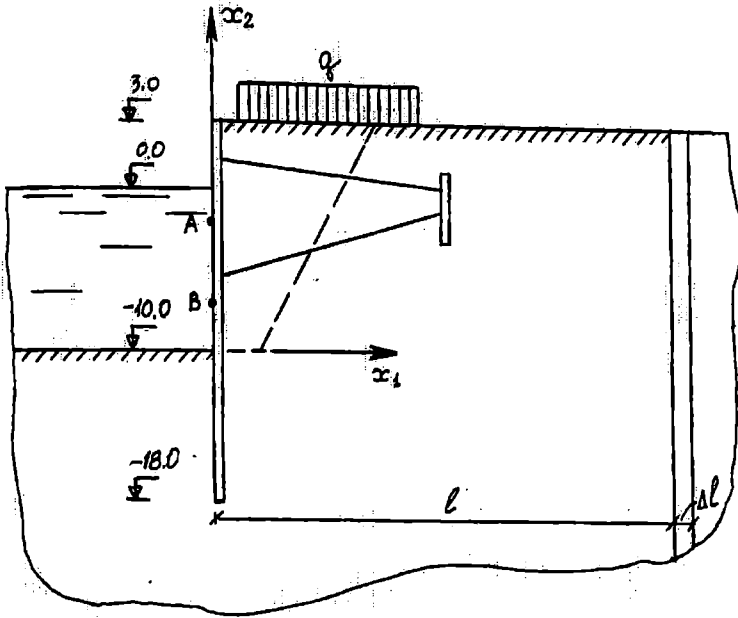
$$\delta_{n+1} = \delta_{n+1}^{i+1}, \quad \delta_{n+1}^{i+1} = \delta_{n+1}^i + \Delta\delta_{n+1}^i. \quad (6)$$

На каждой итерации для определения  $\Delta\delta_{n+1}^i$  в (6) необходимо заново вычислять вектор невязки и матрицу жесткости, которая затем обращается. Если это выполнять по методу Гаусса, то приходится делать прямой и обратный ход, что требует значительных затрат времени ЭВМ. Поэтому кроме метода касательных жесткостей в алгоритм решения заложен метод нормальных жесткостей и его модификация, позволяющая производить коррекцию матрицы жесткости после заданного числа итераций. Более подробное описание алгоритма решения и его реализации в виде программного комплекса дано в [2].

Рассмотрим результаты расчета тонкостенной причальной стенки из железобетонного шпунта с двумя анкерами, расчетная схема которой показана на рис. 3.

После окончания строительства сооружения оно загружено статической нагрузкой  $q = 0,3 \text{ МПа}$  и давлением засыпки на стенку, от которых в системе образовались пластические зоны. Затем произошло горизонтальное смещение грунтового массива на расстоянии  $l = 100 \text{ м}$  на величину  $\Delta l = 10 \text{ см}$  (например, имело место сейсмическое воздействие). Время действия смещения  $0,01 \text{ с}$ . От такого возмущения грунтового массива возникает колебательный процесс, который распространяется в направлении стенки. В результате неоднократных отражений в системе

возникает ряд сложных напряженно-деформированных состояний, которые постепенно затухают. Однако вследствие возникновения при колебаниях дополнительных пластических деформаций фактическое напряженно-деформированное состояние системы отличается от полученного по результатам статического расчета.



*Рис. 3. Расчетная схема причального сооружения*

Вычисления в рассматриваемом расчете сооружения выполнены при следующих исходных данных.

Для грунтового массива:

$$E = 32 \text{ МПа}, \mu = 0,41, \varphi = 30^\circ, C = 0,02 \text{ МПа};$$

для засыпки

$$E = 38 \text{ МПа}, \mu = 0,3, \varphi = 29^\circ, C = 0,01 \text{ МПа};$$

для бетона стенки

$$E = 40000 \text{ МПа}, \mu = 0,2, \sigma_p = 2,2 \text{ МПа}, \sigma_c = 20 \text{ МПа}.$$

Результаты колебательного процесса рассматривались на отрезке времени, равном  $T = 1,6 \text{ с}$ , который разбит на интервалы длиной  $\Delta t = 0,001 \text{ с}$ . Допустимая погрешность решения принималась равной 1%.

Область, занятая системой, разбита на восьмиузловые изопараметрические конечные элементы. На границах грунтового массива приня-

ты для исключения возможности отражения бесконечные элементы.

На рис. 4 в увеличенном масштабе показаны перемещения системы от действия статической и динамической нагрузок в момент времени  $t = 0,01c$  после указанного выше смещения в массиве. На рис. 5 изображены пластические зоны в системе в тот же момент времени. Они движутся в направлении к стенке, достигнув которую сливаются с пластическими зонами, которые возникли от статической нагрузки. Затем пластические зоны движутся в обратном направлении.

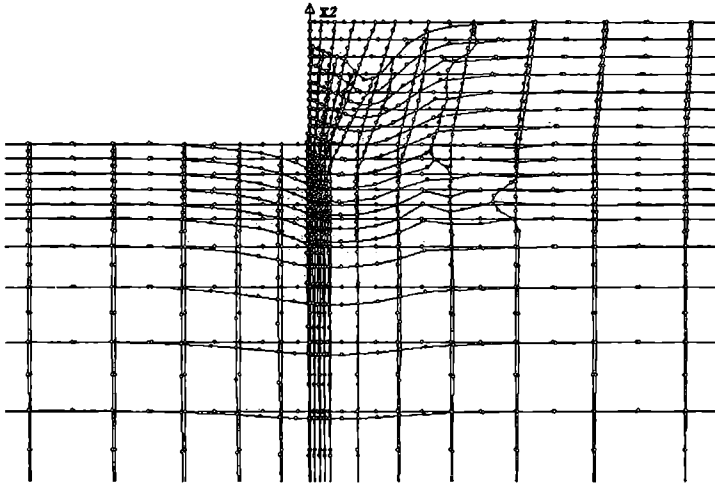


Рис. 4. Перемещения системы при  $t=0,01c$

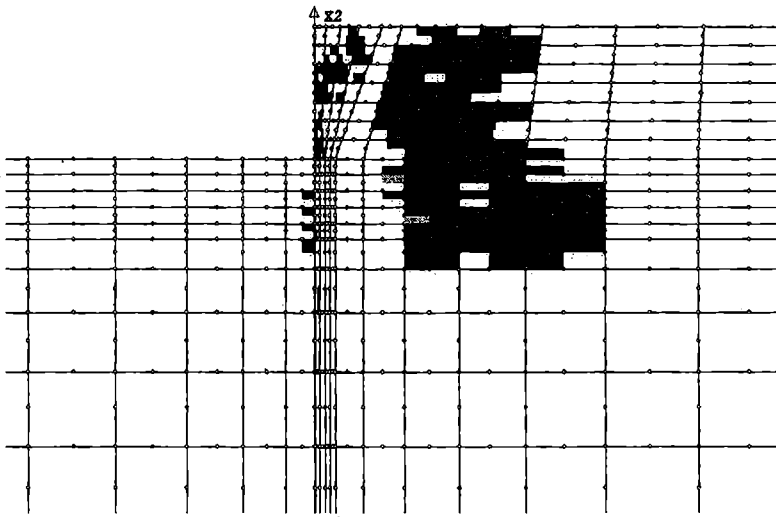


Рис. 5. Образование пластических зон в системе при  $t=0,01c$

На рис. 6 и рис. 7 показаны эпюры горизонтальных и вертикальных колебаний точки  $A$  (см. рис. 3) стенки на отрезке времени  $T = 1,6$  с. Видим, что происходит быстрое затухание горизонтальных колебаний за 0,3 с. Их максимальная амплитуда равна 0,49 см. Вертикальные колебания затухают медленнее.

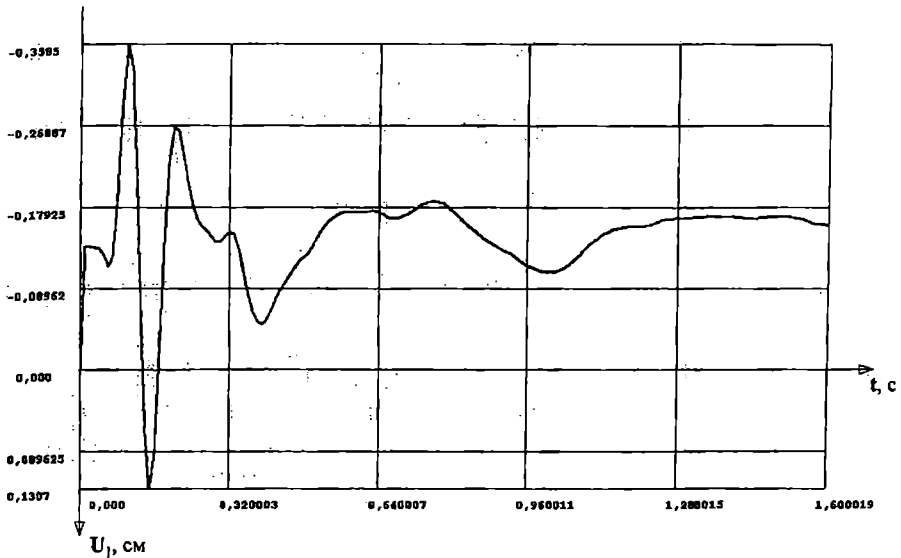


Рис. 6. Горизонтальные колебания точки  $A$

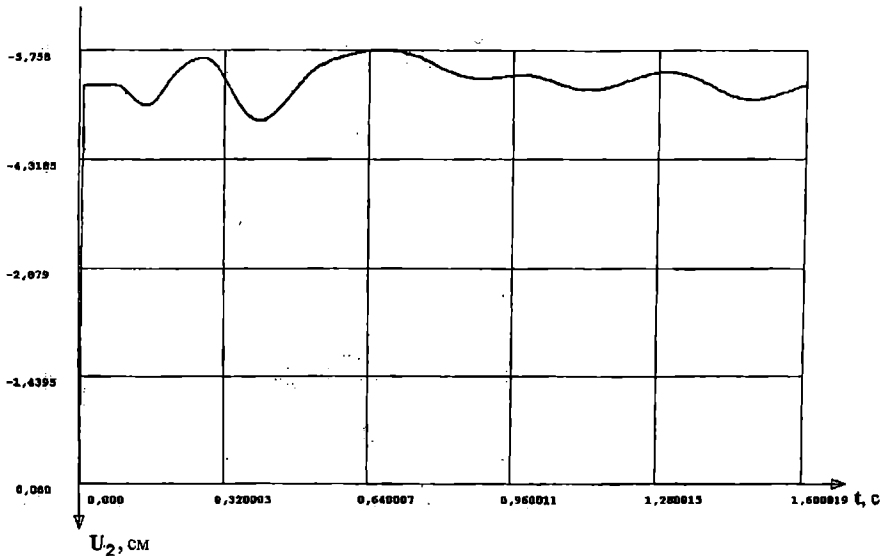


Рис. 7. Вертикальные колебания точки  $A$

На рис. 8 и рис. 9 изображены эпюры колебаний напряжений  $\sigma_{11}$  и  $\sigma_{22}$  в точке В стенки. Напряжения достигают максимального значения при  $t = 0,1c$ , а затем постепенно затухают.

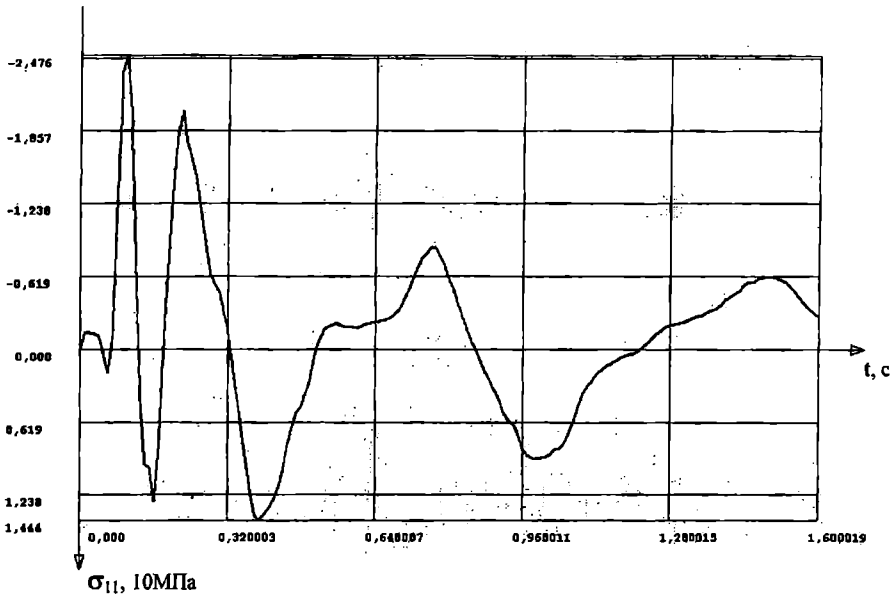


Рис. 8. Колебания напряжений  $\sigma_{11}$  в точке В

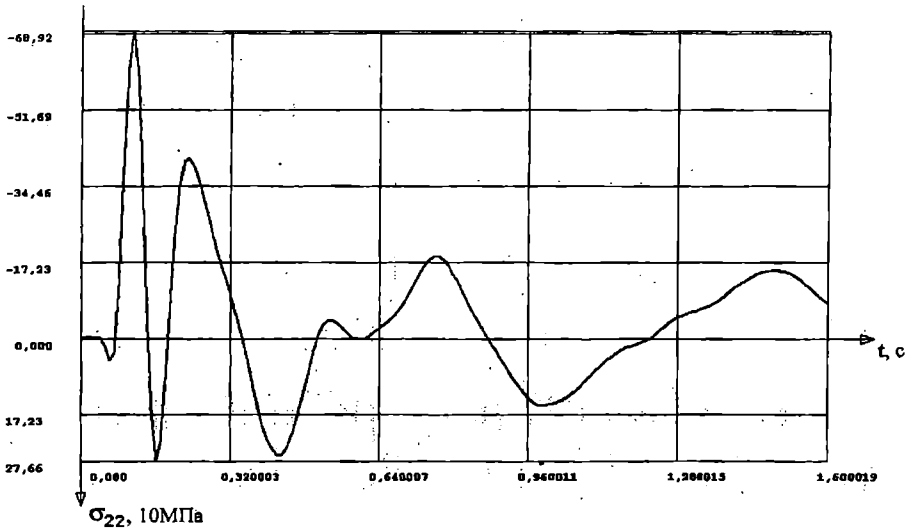


Рис. 9. Колебания напряжений  $\sigma_{22}$  в точке В

Разработанное и изложенное в [2,3] теоретическое решение позволяет оценить напряженно-деформированное состояние морских гидротехнических сооружений при одновременном воздействии статических и динамических нагрузок. Программный комплекс дает возможность реализовать предложенную теорию для практического использования в процессе проектирования, строительства и реконструкции портов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.
2. Гришин А.В., Федорова Е.Ю. Нелинейная динамика ограждающих сооружений. – Одеса: ОНМУ, 2002. – 240 с.
3. Гришин А.В., Федорова Е.Ю. Нелинейные динамические задачи расчета портовых гидротехнических сооружений. – Одеса: ОНМУ, 2002. – 125 с.
4. Кульмач П.П. Сейсмостойкость портовых гидротехнических сооружений. – М.: Транспорт, 1970. – 310 с.
5. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Теория. Инженерные методы. Расчеты. – Л.: ВНИИТ им. Воденеева, 1990. – 432 с.
6. Портовые гидротехнические сооружения. Конструирование и расчет / Под общ. ред. В.Е. Ляхницкого. – М.: Морской транспорт, 1956. – 538 с.
7. Порты и портовые сооружения / Под ред. Г.Н. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1993. – 636 с.

Надійшла 28. 05. 05



## **ПРАВОВОЙ КОНТРОЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАЛОВ НА ДУНАЕ**

*Осуществлен анализ законодательства Украины и ФРГ, регулирующего использование судоходных каналов на Дунае. Выделяются его контрольные аспекты, являющиеся правовой основой профилактики правонарушений и преступлений.*

*Ключевые слова: норма права, контроль, гидротехнические и экологические проекты, профилактики правонарушений и преступлений.*

В юридической науке правовой контроль используется в качестве одного из средств профилактики правонарушений и преступлений. Необходимость совершенствования правового контроля использования судоходных каналов на территории Украины обуславливается как повышенной сложностью их эксплуатации в сравнении с иными водными путями, так и существованием пробелов и незавершенности урегулирования статуса и правового режима функционирования, а также потребностью в реализации на украинской части Дуная сложившихся европейских стандартов профилактики правонарушений и преступлений. В отечественной юридической литературе об исследованиях этой проблемы не упоминалось.

На первом этапе исследования осуществлен сопоставительный анализ нормативных актов Украины и ФРГ, которыми урегулирован порядок эксплуатации каналов. На втором этапе выделены различные аспекты правового контроля использования каналов, реализуемого путем выдачи специальных разрешений, вмешательства в текущую деятельность, издания правил, предписаний, использования реестров, возложения обязанности сообщения установленных законом сведений и посредством иных юридических инструментов. Использование каналов в Украине урегулировано преимущественно нормами Министерства транспорта, специальные же акты Верховной Рады и Кабинета Министров Украины по этому вопросу отсутствуют.

Результаты исследования действующих нормативных актов показывают, что реализация правового контроля использования каналов обеспечивается весьма ограниченным количеством правил, регулирующих су-

доходство и использование гидротехнических сооружений на внутренних водных путях Украины. В утвержденных Министерством транспорта Правилах технической эксплуатации речных портовых гидротехнических сооружений №251 от 29.03.2004г регулируются вопросы порядка эксплуатации, поддержания в рабочем состоянии и ремонта только подходных каналов портов. Распространяются Правила и на дунайские подходные каналы, регулируя контрольные и специальные осмотры, визуальные и инструментальные наблюдения портовых гидротехнических сооружений, направленные на оценку технического состояния и пригодности сооружений к дальнейшей эксплуатации. Исполнение требований Правил к подходным каналам портов предупреждает совершение аварий и правонарушений. В частности, п/п. 10.3, 10.4, 10.6 предусматривают безаварийное использование замерзающих каналов. К недостаткам Правил следует отнести отсутствие в них норм, которые бы определяли специфику использования речных каналов. Вместе с тем игнорирование имеющихся приведенных норм сопряжено с опасностью причинения вреда имуществу и личности, включая совершение правонарушений и преступлений.

Правовой контроль в Правилах судоходства на внутренних водных путях Минтранса Украины № 91 от 16.02.2004 г. реализуется в виде обязанности предоставления информации о судне, грузе, маршруте, порте загрузки и выгрузки при перевозке опасных грузов до входа в шлюзы (раздел 8). Правилами устанавливаются ограничения на скорость движения на каналах в условиях плохой видимости (раздел 6 п.28.4).

Ряд норм контроля содержится в Положении о системе управления безопасностью судоходства на морском и речном транспорте № 91 от 20.11.2003 г., в котором установлены цель, принципы, условия, этапы, пути осуществления, виды и последствия, определены органы контроля и надзора за безопасным функционированием морского и речного транспорта (п.10). Положение обязывает ежедневно предоставлять Минтрансу в период с 16 декабря по 15 февраля оперативную информацию о состоянии безопасности судоходства (п.6) на водных путях на Дунае, Бугско-Днепровско-лиманском, Херсонском и Керч-Еникальском каналах, подходных каналах портов, которые в зимний период эксплуатируются с ограничениями, в экстремальных условиях либо закрыты ввиду погодных условий. В Правилах пропуска судов через судоходные шлюзы № 809 от 20.10.2003 г. регулируются вопросы использования только подходных каналов шлюзов, но не содержится норм относительно иных каналов.

В иных существующих актах, регулирующих различные аспекты использования внутренних водных путей, специфика каналов не выделяется. Приведенные инструктивные материалы, поскольку они исходят от Минтранса, уступают по силе актам, принятым в Придунайских государствах их парламентами и правительствами.

Правовой статус и режим использования судоходных каналов на реке Дунай установлен рядом международных и национальных нормативных актов, включая те из них, которые определяют международно-правовой статус и режим использования реки Дунай. Ключевые положения статуса и режима реки сформулированы в Белградской конвенции 1948 года (ратифицирована Украиной), а детализирующие их положения содержат акты национального законодательства, двусторонние и многосторонние договоры придунайских государств.

Евросоюз в «Белой книге» 2001 года опубликовал описание 60 практических мероприятий, направленных на существенное увеличение до 2010 года эффективности и качества транспортного дела [1], а также совершенствование внутреннего водного судоходства [2]. В соответствии с «Политикой ЕС в отношении Дунайского коридора», проектом Евро-союза № 2 относительно устранения узких мест на водном пути «Рейн-Майн-Дунай» [3], предполагается интенсивное развитие водного пути на Дунае.

Сопоставление правового регулирования использования внутренних водных путей ФРГ по собранию актов профессора университета г. Манхейм К. Отте [4] с контрольными аспектами статуса и правового режима эксплуатации каналов позволило найти и изучить специфику использования канала Майн-Дунай.

Детальное правовое регулирование использования канала Майн-Дунай обусловлено, помимо прочего, сложностью его эксплуатации, дороговизной сооружения. В соответствии с Европейским Соглашением о важнейших внутренних водных путях международного значения от 19.01.1996 года река Дунай от Кельхейма до Сулины, а также канал Майн-Дунай являются внутренними водными путями международного значения. В соответствии с Законом от 29 ноября 1967 года «О правовом статусе Большого водного пути Рейн-Майн-Дунай между Майном и Нюрнбергом и связанных с ним правоотношениях» [5], канал Майн-Дунай отнесен к Федеральным водным путям Германии. Частноправовые вопросы статуса и режима использования каналов отражаются в законе ФРГ «О частноправовых отношениях в сфере внутреннего водного транспорта» [6] в параграфах 66, 107 и 118, которыми урегулированы вопросы сборов денежных средств, связанных с прохождением судов каналами. Гражданско-правовые договоры с отдельными пользователями канала Майн-Дунай являются необходимым элементом правового поля, в котором функционирует канал. Договор пользования земельным, водным участком на канале Майн-Дунай заключается, если возникает необходимость пользования площадями страны или водных поверхностей для спортивных якорных стоянок лодок, промышленного или сельскохозяйственного использования, или под площади экологического назначения.

После обращения с просьбой желающий получает из г. Нюрнберга от Водного и Судходного Управлений Типовой договор пользования в двух экземплярах. Договором урегулирован порядок и срок пользования участком, перечень расположенных на нем устройств (согласно приложения), размер платы за пользование и условия осуществления непредвиденных издержек, способ платежа, возмещение дополнительных расходов, мероприятия по защите участка, ландшафта, охраны водоемов и земли, обязательства пользователя относительно необходимости терпеть естественные и прочие влияния. Договором предусмотрена ответственность пользователя, порядок посещения полезной площади проверяющим, порядок уведомления о расторжении договора и возврата площади, а также условия различных возмещений, дополнительные условия соглашения, вопросы подсудности и заключительные положения.

В Законе «О федеральных водных путях» (WaStrG) в редакции от 04 ноября 1998 года [7] приводится описание 64-х Федеральных водных путей Германии, включая канал Майн-Дунай. В соответствии с § 24 упомянутого Закона, Федеральным органам – Водному и Судходному Управлениям предоставляется право и осуществления мониторинга водных течений в целях обеспечения безопасности выполнять полицейские мероприятия. Для осуществления контроля уполномоченные лица вправе входить на земельные участки и учреждения, а также плавсредства. Конституционное право на неприкосновенность жилища, предусмотренное ст. 13 абз. 1 Основного закона (Конституции) в этом отношении ограничивается.

В соответствии с § 27 анализируемого Закона Федеральное министерство сообщений, строительного и жилищного дела уполномочено издавать предписания, обеспечивающие безопасность на водных путях (именуемые полицейскими предписаниями) либо поручить их издание Водному либо Судходному Управлениям. Тот же Закон содержит ряд специальных правил, обеспечивающих осуществление контроля, обязывающих проверяемых содействовать Водному и Судходному Управлениям в проведении проверок. При этом, если проверяется исполнение условий и налогов, предусмотренных разрешением, выданным Судходным Управлением, владелец разрешения обязан предоставить возможность входа на земельный участок, открыть доступ к устройствам и сооружениям, предоставлять справки, выделять работников, предоставлять документы, необходимые инструменты, проявлять терпение к техническим выяснениям и проверке в целом. Если требуется предпринять специальные контрольные мероприятия, прежде всего технические исследования, их издержки могут возлагаться либо на владельца разрешения или осуществляться контролирующей службой за свой счет.

Нормами §383 Гражданского процессуального кодекса [8] предусматривается право отказа свидетеля от показаний по личным мотивам.

В контексте отмеченного права лицо, которое обязано предоставить справку или информацию относительно вопросов, ответ на которые мог бы служить основанием штрафного судебного преследования или процесса относительно его лично согласно закону о нарушениях порядка, такое лицо может отказать в справке (информации).

Ряд средств правового контроля содержит § 31 анализируемого Закона, определяя перечень видов использования Федеральных путей, на которые необходима предварительная выдача полицейского разрешения. Так, разрешение необходимо для осуществления строительных работ или устройства на каналах причалов, береговых лестниц, понтонов, подъездных платформ, иных причальных сооружений, изменений берега и береговых стен, на строительство пристани, верфи, подходных сооружений для судов и спортивных лодок, на судовые якорные стоянки и т.п. Отдельными нормами регулируются вопросы контроля использования плавающих причалов.

Нормы общего характера, устанавливающие контроль за использованием каналов, содержатся в первой части Правил судоходства на внутренних водных путях (сокращенно: BinSchStrO) от 8 октября 1998 года (последнее изменение от 04. января 2004 года) [9]. Во второй части «Правил» главами 10-27 регулируются вопросы специфики судоходства на отдельных внутренних водных путях.

В главе 12-й «Правил» правовой контроль реализуется в установлении особых правил использования канала Майн-Дунай. В частности, определяются территориальные границы применения Правил, габариты транспортных средств и их караванов, глубина фарватера и осадка, скорость движения. Выделяются особенности движения в сторону гор, встречи, обгона, поворота, стоянки на якоре, плавания при наводнении и при ледоходе, ночного плавания, устанавливается обязанность информирования, указывается порядок использования шлюзов. В § 12.04 определяется допустимая предельная скорость хода по отношению к берегу. На участке от порта Бамберг до устья Дуная для транспортных средств с осадкой до 1,3 м она не может превышать 13 км в час, а для судов с осадкой более 1,3 м установлена скорость до 11 км в час. Идентификационные аспекты контроля реализуются путем введения сочетания букв страны судовладельца или места регистрации судна и его опознавательного регистрационного номера (§ 2.01 Приложения 1 к Правилам).

Одной из форм контроля за движением судов на каналах является возложение обязанности на судоводителей сообщать определенные сведения: о судне, грузе, пунктах отправки, прибытия и другие. Приведенная обязанность распространяется и на канал Майн-Дунай.

Результаты исследования приводят к выводу, что тщательная разработанность вопросов контроля использования каналов в приведен-

ных нормах ФРГ может служить ориентиром в правотворческой деятельности украинского законодателя. Дальнейшее расширение правового поля функционирования каналов обеспечит совершенствование эффективности профилактики правонарушений и преступлений.

### Литература

1. *Das Weißbuch 2001 «Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft»* Herausgeber: Europäische Kommission, Generaldirektion Energie und Verkehr B-1049Brüssel \ [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/index.de.html](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index.de.html)
2. *2002\_brochure\_iw\_de*
3. *Politik der EU im Donaukorridor \ Die europäische Dimension der Wasserstraße Donau* Mag. Manfred Seitz Wien, 23.04.2004 \ [www.via-donau.org](http://www.via-donau.org)
4. [www.transportrecht.de](http://www.transportrecht.de)
5. *Gesetz über den rechtlichen Status der Rhein-Main-Donau-Großschiffahrtsstraße zwischen dem Main und Nürnberg und über die damit zusammenhängenden Eigentumsverhältnisse vom 29. November 1967 \ BGBl. II S. 2521 \ [www.transportrecht.de](http://www.transportrecht.de)*
6. *Gesetz betreffend die privatrechtlichen Verhältnisse der Binnenschiffart (Binnenschiffahrtsgesetz) vom 15. Juni 1895 (RGBl. S.301) \ [www.transportrecht.de](http://www.transportrecht.de)*
7. *WaStrG (BGBl. I S.3 294) \ [www.elwis.de](http://www.elwis.de)*
8. *Zivilprozeßordnung. –12. September 1950 Fundstelle: BGBl 1950, 455, 512, 533*
9. *Binnenschiffahrtsstraßen-Ordnung (BinSchStrO) vom 8. Oktober 1998 \ BGBl. I S. 3148 \ [www.elwis.de](http://www.elwis.de)*

Надійшла 26. 08. 05

УДК 140.8:62-1

А.П. Пашков

## СУДОРЕМОНТ: СТАНОВЛЕНИЕ, РАЗВИТИЕ, ПЕРСПЕКТИВА

*Особенности судоремонта определяются своеобразием судов, их безаналоговой габаритностью и сложностью, условиями и режимом работы, а также спецификой ремонтного процесса. Ремонтная наука практически завершив этап накопления, переходит к систематизации данных и установлению закономерностей.*

*Таким образом, современный этап судоремонта чреват выходом на радикально новый уровень, а, именно, единства науки и практики.*

*Ключевые слова: судоремонт, научное обеспечение, ремонтное обеспечение.*

Судоремонтное производство обладает всеми характеристиками ремонтного обеспечения жизнедеятельности техники, но отличается очень значимыми специфическими особенностями.

Так, только при ремонте судов одновременно ведутся работы по корпусу судов, энергетическим установкам, движительным устройствам, многочисленным общесудовым и энергетическим системам трубопроводов, а также навигационным средствам, грузовым устройствам для различных грузов от сжиженных газов до крупногабаритных тяжеловесов, полному комплексу бытового обслуживания (каюты, столовые, камбузы, бары, рестораны и пр.)

Флот традиционно осваивает и использует все новейшие достижения науки и техники, на современных судах работают спутниковые навигационные системы, лазерные технологии проводки и обработки, бионические устройства в ряде систем, информационно-компьютерные и другие современные и перспективные технологии и технические средства.

Одновременно в составе флота продолжают достаточно успешно работать, а, значит и ремонтироваться, суда, возраст которых превышает 25-30 и более лет.

Важнейшей особенностью ремонта судов является возможность выполнения значительной части ремонтных работ без вывода судна из эксплуатации. Это базируется, во-первых, на широко используемом принципе резервирования и, во-вторых, использования в разных режимах эксплуатации только определенной части систем и устройств судна. Например, в море не работают швартовные устройства, при погрузочно-

разгрузочном режиме в порту можно у большинства судов отремонтировать главные двигательные-двигательные комплексы и т.д.

Условия производства ремонтных работ непосредственно на судне определяют создание специфических ремонтных технологий и технологического оснащения. Принцип ремонта *in situ*, то есть «на месте» применяется для всех ремонтных этапов, а именно при заготовительных, обработочных, сборочных, испытательных операциях и, конечно, для дефектации, очистки и разборки, то есть операций специфического этапа ремонтного технологического процесса.

Ремонт судов в значительной степени определяется морскими условиями работы. Судно, результат мысли и труда человека, выходит на прямой контакт со стихией. Устранение форс-мажорных повреждений составляет около 20 % общего объема ремонтного воздействия на судно.

Формирование ремонтной и судоремонтной, в частности, отрасли к настоящему времени прошло все основные стадии и вышло на завершающий этап становления.

Естественно, ремонт даже самых элементарных технических средств (орудия труда и т.п.) начал выполняться одновременно с их созданием. Ремонт выполняли сами создатели, а в последующем и пользователи технических средств. Этот этап ремонтной деятельности продолжался до перехода товарного производства от ремесленного к мануфактурному виду. Как только мануфактурное производство сформировало технологическую специализацию труда, выделилась ремонтная специальность, место которой определилось в составе вспомогательных.

На этом этапе развития ремонтной деятельности выделяется период, начавшийся при механизации промышленного и других производств.

Появление автономных источников энергии и их последующее активное и радикальное развитие предопределило сплошную механизацию или механизацию труда. Это вызвало весьма ощутимые социальные пертурбации. Резкое снижение необходимой квалификации работников «при машинах» вызвало падение оплаты труда и общее обнищание основных работников. Вместе с тем переход от простого к сложному, техническому оснащению производства потребовал высокой квалификации ремонтников, образовалась «рабочая аристократия».

Современный этап начался с появления автоматических или автоматизированных технических средств. При общем сокращении трудоемкости доля основных операций стала стремиться к нулю, но ремонтная составляющая возрастает многократно.

Уже сегодня затраты на ремонтное обеспечение жизнедеятельности технических средств превышают расходы на их изготовление в 10-20 и даже значительно больше раз [1].



Многие публикации свидетельствуют об ожидаемом в 2005-2007 годах вводе в эксплуатацию безэкипажного транспортного судна. Жизнедеятельность такого судна определяется только его ремонтом и соответствующей ремонтной деятельностью. И это, естественно, ожидаемый результат автоматизации.

Исследовательская работа и научный поиск по ремонтной деятельности развивались по двум основным направлениям. Первое, ориентированное на познание закономерностей потери (снижения) функциональных возможностей объекта, постепенно с развитием науки о надежности вошло в состав этого огромного блока знаний.

Второе направление охватывало собственно ремонтную деятельность, а именно устранение износа, восстановление и обновление функциональных возможностей. Можно отметить такие разработки как теорию старения машин А.И. Селиванова [2], теорию производительности машин и труда, как первую попытку интегрирования технических и экономических аспектов и др. По этой направленности количество публикаций не просто огромно, оно возрастает ежегодно. И это естественно, поскольку ремонтной деятельностью сегодня уже занято около 10 % работающих.

Тенденция роста ремонтноописательных разработок хорошо прослеживается по учебным изданиям в судоремонтной области. Первые учебники по технологии и организации судоремонта были написаны в ОИИВТе профессором кафедры судоремонта В.П. Лаптевым, изданы в 1936-1938 годах и были единственными до 60-х годов. Затем учебники по технологии судоремонта начали разрабатывать десятки вузов и издавать почти ежегодно.

В ОИИМФе были разработаны и первые Положения о ремонте судов, определившие основные задачи, функции участников и другие показатели заводского ремонта флота. К сожалению, практически не разрабатывались остальные аспекты судоремонта. Авторами книг по экономике судоремонтных предприятий становились, в основном, экономисты этих предприятий и описывали конкретику соответствующего периода, естественно, планового, а не рыночного типа.

Отсутствие должной научной экономической базы ремонтной деятельности не просто сдерживало ее развитие, но радикально ухудшало работу. Так, экономика судоремонтных заводов не ориентировалась на главный экономический показатель ремонта судна – его продолжительность. В результате четвертая часть транспортного флота стояла у причалов заводов. В основных фондах судоремонтных заводов 40-60 % составляли станки и другое оборудование, не работающее вообще или устаревшее до непригодности.

Нет юридических разработок, отражающих особенности ремонтной деятельности. Попытки практиков по переносу некоторых юридичес-

ких принципов в ремонтную отрасль из области продуцирования никогда не давали результатов. Это относится, например, к оформлению различных гарантийных обязательств и т.д.

Практически не изменяется организация судоремонтных производств, сохраняя давно перенятые принципы судостроения.

Коренное несоответствие организационных решений специфическим ремонтным особенностям стало одним из главных факторов современных трудностей в деятельности судоремонтных производств [3].

Без научной подготовки актуализация организационных принципов судоремонта невозможна, поскольку необходим системный подход. Можно отметить обязательность радикального изменения структурирования судоремонтного производства по видам подразделений, принципиальное обновление финансово-экономических параметров и оценок деятельности, трансформацию состава специальностей рабочего и инженерного персонала, создание новых схем сертификации специалистов и ряд других организационных проблем.

Можно отметить, что в процессе поиска путей совершенствования ремонтных производств, и судоремонтных в частности, уже пройдены попытки переноса в ремонт принципов массового производства. Как и следовало ожидать, все пробы индустриализации судоремонта завершились ничем, что, естественно, четко подтвердило принципиальное различие производств изготовительной и ремонтной деятельности.

Вместе с тем практически открылось новое ремонтное направление мобильных ремонтных производств, для которых необходим поиск и создание сугубо ремонтных видов паркового технологического оборудования, обладающего пригодностью для плавучего и берегового перемещения.

Научное обеспечение ремонтной деятельности не построило пока целостной науки ремонтов, но создало ряд чисто ремонтных научно-обоснованных решений. Можно отметить, что практически построена принципиальная схема ремонтной технологии, выделены ее отличия от технологического процесса изготовления технических средств. Определены сугубо ремонтные операции, обязательные при любом ремонте и отсутствующие при изготовлении, отмечены некоторые особенности этих операций.

Далее, сформировалась идея ремонтного организационно-технологического принципа выполнения работ «на месте», «in situ». Для выполнения работ по схеме «removing without», «без выделения передвижения» практикой созданы первые серийные виды ремонтного технологического оборудования и оснастки. По этому принципу можно уже сегодня выполнять непосредственно на судне, более того, без разборки или демонтажа механическую обработку поверхностей деталей судовых устройств, машин и механизмов, вплоть до финишных операций, гальваническое

(вневанное) наращивание и покрытие от декоративных, антикоррозионных до сложных восстановительных и противоизносных многослойных и даже комбинированных видов электрохимических покрытий.

Не менее важным следует полагать переход ремонтных производств от универсального типа технологий и оборудования к гибким видам производств.

Решены на новом уровне технологические проблемы монтажа и сборки ряда значимых средств, например, судовых валопроводов, крупных соединений с гарантированным натягом и др.

Нельзя не отметить формирование нового технологического ремонтного направления, к которому относятся применение синтетических клеющих композитных материалов.

Не продолжая перечень научных достижений в ремонтных технологиях, следует отметить, что уже формируются новые перспективные направления развития ремонтных работ.

В первую очередь, это введение в практику ремонтов информационно-компьютерных возможностей. Даже небольшое расширение использования компьютеров непосредственно при монтажно-сборочных работах по судовым валопроводам, по узлам и агрегатам дизелей и т.п. обеспечит многократное сокращение объемов ремонтных работ при повышении их качества.

### **Выводы**

1. Судоремонтное производство, как и прочие ремонтные производства, пройдя путь от сопровождения производственного процесса и процессов использования технических средств, четко выделилось в самостоятельный вид деятельности.
2. Ремонтное обеспечение жизнедеятельности технических средств отличается от их производственного производства своеобразием технологических процессов, экономическими характеристиками; правовыми отношениями участвующих сторон, социальными проблемами и др.
3. Научная база ремонтного производства завершила накопительный этап описаний и изучения отдельных способов ремонтных работ и частных вопросов, и подошла к целостному подходу и рассмотрению ремонтов как многостороннего комплекса обеспечения жизнедеятельности технических средств.
4. В развитии ремонтной деятельности и в том числе, естественно, судоремонта наступает период перехода роли ведущего от практики, достижения которой описывала наука,

к научным обоснованиям перспективы и определению конкретных путей развития.

Приведенное позволяет предопределить задачи морского университета и его кафедры судоремонта, которые являются единственными в Украине.

Сегодня в Украине работают около 50 судоремонтных предприятий различных отраслевых подчинений, объемов и направлений деятельности, формы собственности и пр. Практически каждое из этих предприятий ищет пути развития и место в общей системе самостоятельно, доступными средствами и методами. Отработка принципов и направлений развития, обоснование применения и создания новых чисто ремонтных технологий, законодательных актов, экономических нормативов и социальных решений, естественно, может и должна быть осуществлена в едином научном центре.

Именно этот путь обрел актуальность и обеспечит современный принцип движения от обеспечения invention к проведению innovation.

Университету и его кафедре необходимо принять на себя системное решение проблем судоремонта, убедив в значимости и, безусловно, необходимости разработки соответствующие органы исполнительной и законодательной власти.

### **Литература**

1. Хенкли Э.Д., Кумамото Х. *Надежность технических систем и оценка риска*. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
2. Селиванов А.И. *Основы теории старения машин*. – М.: Машиностроение, 1964. – 403 с.
3. *Problems of Shiprepair Industry //Ship World and Shipbuilding*. 1999. – 2000, # 4158. – 26 p.

Надійшла 12. 08. 05

## ДОВГОВІЧНІСТЬ СТАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В МОРСЬКІЙ ВОДІ ПРИ НЕРЕГУЛЯРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

*Розглянуто визначення сум втомного пошкодження деталей в морській воді при нерегулярному навантаженні. Запропоновано ці суми визначати за допомогою розподілу Джонсона, а максимальне їх значення розглядати як моду розподілу і вважати, що воно у середньому на 10-15 % менше за одиницю. Оцінювання ресурсу деталей в морській воді при циклічному навантаженні доцільно проводити на базі дволанкової кривої втоми з лівим відрізком за степеневою і правим відрізком за дробово-лінійною функціями.*

**Ключові слова:** *Крива корозійної втоми, нерегулярне навантаження, підсумування втомних пошкоджень, розрахунки ресурсу.*

Традиційна методика розрахунку довговічності (ресурсу) при нерегулярному циклічному навантаженні базується на лінійній гіпотезі підсумування пошкоджень від втоми і степеневому рівнянню лівого похилого відрізка кривої втоми [1]. Прийнятність лінійної гіпотези в канонічному вигляді, тобто при граничному значенні суми  $a$  циклових відношень (граничному пошкодженні матеріалу деталі), що дорівнює одиниці, багаторазово переглядалась [1-6]. Запропоновано різні підходи щодо корегування лінійної гіпотези чи суми  $a$  в ній. Серед інших точок зору в свій час виявилась прийнятною і найбільш проста [2], згідно з якою сума  $a$  приймається за одиницю, але пошкоджуюча дія розповсюджується і на напруги спектра, що лежать нижче границі витривалості, іноді на всі його напруги, включаючи і найменші, та для підрахунку циклових відношень лівий похилий відрізок кривої втоми екстраполюється нижче границі витривалості аж до мінімальної напруги спектра [2].

Стосовно деталей, що перебувають під дією циклічного навантаження в агресивному середовищі, зокрема таких, що обмиваються забортною водою, запропоноване є тим більше прийнятним, бо в таких умовах деталі не мають границі витривалості, а значить, лівий відрізок кривої втоми простягається в область необмеженої довговічності, і говорити про необхідність екстраполяції її вниз просто не доводиться. Разом з тим великого значення набуває форма самої кривої корозійної втоми, яка, починаючи з деякої довговічності, може змінитися і тому не співпадати з екстрапольованим верхнім лівим відрізком [7]. У всіх випад-

ках крива втоми в рівній мірі задовільно повинна відображувати дослідні дані при будь-якій реальній довговічності багатоциклового навантаження.

В інтервалі довговічностей до  $5 \cdot 10^7$  циклів залежність ресурсу  $N$  від рівня навантаження  $\sigma$  можна, безумовно, підпорядкувати степеневому рівнянню [7,8] і подати її в логарифмічних координатах у вигляді прямої лінії

$$\lg N = C - m \lg \sigma, \quad (1)$$

де  $N$  і  $\sigma$  – поточні ресурс і напруга;

$C$  і  $m$  – параметри.

В області більших довговічностей вираз (1) з його параметрами може привести до заниження розрахункового ресурсу. Пізніше [9,10] було встановлено, що лівий відрізок кривої втоми, побудований експериментально на базі  $N_6 = 5 \cdot 10^7$  циклів, або за допомогою зв'язку  $C(m)$  поміж її параметрами [9,10], можна продовжити до  $10^8$  і навіть – до  $5 \cdot 10^8$  циклів. Однак від точки з координатами  $N_6, \sigma_6$ , де  $\sigma_6$  – базова напруга, що відповідає базі  $N_6$  за виразом (1),  $\sigma_6 = (10^C / N_6)^{1/m}$ , залежність ресурсу від рівня навантаження (правий відрізок кривої втоми) треба підпорядкувати дробово-лінійній функції [9,10]

$$\lg N = \frac{(\lg N_6)^2 \cdot \lg \sigma}{C \lg \sigma + \lg N_6 \cdot \lg \sigma_6 - C \lg \sigma_6}, \quad (2)$$

де  $N$  і  $\sigma$  – поточні ресурс і напруга (йдеться про  $\sigma < \sigma_6$ ).

За базу рекомендується приймати  $N_6 = 5 \cdot 10^7$  циклів, бо при  $N_6 < 5 \cdot 10^7$  циклів, наприклад, при  $N_6 = 2 \cdot 10^7$  і тим більше  $10^7$  циклів вираз (2) може привести до небезпечного підвищення розрахункового ресурсу при напругах  $\sigma < \sigma_6$ .

Мета цієї праці показати, що лівий відрізок за виразом (1) і правий відрізок за виразом (2) дотикаються в точці з координатами  $N_6, \sigma_6$  (базовій точці) і в сукупності складають плавну криву корозійної втоми, що не має переломів, яка при  $N > N_6$  відхиляється вправо від кривої за виразом (1), продовженої нижче базової точки. Останню розглядали як єдину для всієї багатоциклової області [2,6-9]. При  $N_6 = 5 \cdot 10^7$  циклів вираз (2) якщо і приводить до деякого підвищення розрахункового ресурсу, то незначного в порівнянні з його зниженням за продовженням нижче  $N_6$  лівим відрізком.

Прийняття для опису правого відрізка кривої корозійної втоми дробово-лінійної функції (2) дозволило виявити граничну напругу  $\sigma_{lim}$ , при якій вплив механічного фактора на процес корозійно-втомного руйну-

вання можна вважати зневажливо малим. Дійсно, якщо знаменник у виразі (2) прийняти за нуль, то із отриманого рівняння знайдемо

$$\sigma_{lim} = \sigma_6 (1 - \lg N_6 / C), \quad (3)$$

де  $\lg N_6 / C$  – завжди правильний дріб.

При  $N_6 = 5 \cdot 10^7$  циклів напруга  $\sigma_{lim}$  відповідно до виразу (3) складає від 10 до 30 % базової напруги  $\sigma_6$  в залежності від числових значень параметрів  $m$  і  $C$ , тобто від положення лівого відрізка кривої корозійної втоми.

Синтезована у вказаний спосіб крива корозійної втоми є дволанковою, бо описується двома різними виразами. Її можна отримати шляхом випробовування однієї деталі при регулярному навантаженні [9,10], користуючись зв'язком  $C(m)$  з усередненими або окремими, віднесеними до конкретної забортної води коефіцієнтами [9]. Використання її для розрахунків ресурсу деталей при регулярному навантаженні не може викликати ускладнень: вона ділиться на відрізки базовою точкою, абсциса якої заздалегідь відома (задана) і відповідає звичайній базі, що приймається при проведенні відповідальних випробувань на корозійну втому [10]. За логікою подій ця крива має бути покладена в основу розрахунку ресурсу суднових деталей як при регулярному, так і нерегулярному навантаженнях. Проте якщо в першому випадку застосування її дає уточнення розрахункових оцінок, то в другому з метою їх уточнення можуть бути оправдані не очевидні на перший погляд відступи від неї.

Покажемо це на прикладі дискретного спектра напруг як зручної апроксимації дійсного експлуатаційного спектра. Хай число ступенів спектра, розташованого за убуваючим варіаційним рядом, буде  $k$ , так що напруга  $\sigma_1$  першого ступеня буде найбільшою, а напруга  $\sigma_k$  останнього ступеня – найменшою. Відношення напруги  $\sigma_i$ , де  $i = 1, 2 \dots k$ , до максимальної напруги  $\sigma_1$  позначимо  $\alpha_i$ . Отримаємо  $\alpha_1 = \sigma_1 / \sigma_1 = 1$ ,  $\alpha_2 = \sigma_2 / \sigma_1 \dots \alpha_i = \sigma_i / \sigma_1 \dots \alpha_k = \sigma_k / \sigma_1$ . Відношення тривалості  $n_i$  дії напруги  $\sigma_i$  (напрацювання при цій нарузі) за весь строк служби до підсумкового напрацювання  $N_\Sigma$  позначимо  $\beta_i$ :

$$\beta_1 = n_1 / N_\Sigma, \beta_2 = n_2 / N_\Sigma \dots \beta_i = n_i / N_\Sigma \dots \beta_k = n_k / N_\Sigma. \text{ Тоді } \sum_{i=1}^k \beta_i = 1.$$

Обчислюючи циклові відношення  $n_i / N_i$  за лівим відрізком кривої втоми, не обмеженій знизу, і приймаючи граничну їх суму за одиницю, шуканий ресурс знайдемо із виразу

$$N_{\Sigma 1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k (\beta_i / N_i)} = \frac{10^C}{\sigma^m \sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i)} \quad (4)$$

Якщо ж циклові відношення обчислювати виходячи із запропонованої дволанкової кривої корозійної втоми, тобто до напруги  $\sigma_6$  – на базі виразу (1), а нижче цієї напруги – на базі виразу (2), то шуканий ресурс буде

$$N_{\Sigma 2} = \frac{1}{\sum_{i=1}^q (\beta_i / N_i) + \sum_{j=q+1}^k (\beta_j / N_j)} \quad (5)$$

- де  $j$  – число ступенів верхньої частини спектра з напругами  $\sigma_i \geq \sigma_6$ ;  
 $N_i$  – довговічність при нарузі  $\sigma_i$  за лівим відрізком кривої втоми,  
 $i = 1, 2 \dots q$ ;  
 $N_j$  – довговічність при нарузі  $\sigma_j$  за правим відрізком кривої втоми,  
 $j = q + 1, q + 2 \dots k$ .

Із формули (5) видно, що оскільки довговічності  $N_j$  більші за довговічності при тих же напругах за лівим відрізком, то, зберігаючи граничне пошкодження  $a = 1$  і незмінними відношення  $\beta_i$  і  $\beta_j$ , одержимо збільшення розрахункового ресурсу  $N_{\Sigma 2}$  в порівнянні з ресурсом  $N_{\Sigma 1}$ . Це може виявитися небезпечним, остільки дослідні значення суми  $a_e$  при віднесенні її до єдиної кривої корозійної втоми згідно з виразом (1)

$$a_e = N_{\Sigma 1} \sum_{i=1}^k (\beta_i / N_i) = N_{\Sigma 1} N_1 \sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i) \quad (6)$$

як правило, близькі до одиниці, хоч і трохи менше за одиницю [6]. В формулі (6) під  $N_{\Sigma 1}$  мається на увазі одержане із досліду при нерегулярному навантаженні спектром з  $k$  ступенями підсумкове напрацювання (дослідний ресурс), а під  $N_1$  – довговічність при регулярному навантаженні, що відповідає нарузі  $\sigma_1$  спектра за виразом (1). Слід відмітити, що розрахунок циклових відношень по напрацюваннях  $n_i$  випробуваної конкретної деталі і довговічностях  $N_i$  для інших деталей з безумовно іншими властивостями, не можна вважати коректним. Справа в тому, що одну і ту ж деталь не можна випробовувати і при нерегулярному і при регулярному навантаженні. Тому напрацювання  $n_i$  приходить притягати з одного досліду, а довговічності  $N_i$  – з другого. Це призводить до того, що відношення  $n_i / N_i$  не характеризує властивостей ні однієї із



двох поєднаних у ньому деталей. Якби ці деталі були ідеально однакові, чого реально не може бути, то лише тоді підсумування пошкоджень за цикловими відношеннями  $n_i / N_i$  могло б вважатися коректним. Необхідність же підсумовувати втомні пошкодження, як зазначено, приводить до великого розсіювання сум  $a$  [1,2], які є випадковими величинами не тільки за своєю природою, але й за способом визначення.

Дослідження масивів експериментальних даних про суми  $a$  показали, що розподіл їх підпорядковується асиметричним законам, кращим із яких виявився закон Джонсона [3,4]. Сімейства розподілу Джонсона одержують шляхом перетворення нормованої нормально розподіленої величини

$$z = v + \eta \ln \left( \frac{a - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - a} \right),$$

де  $v, \eta, \lambda, \varepsilon$  – параметри, зі щільністю імовірності

$$f(a) = \frac{\eta}{\Sigma 2\pi} \cdot \frac{\lambda}{(a - \varepsilon)(\lambda - a + \varepsilon)} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ v + \eta \ln \left( \frac{a - \varepsilon}{\lambda - a + \varepsilon} \right) \right]^2 \right\},$$

$$\varepsilon \leq a \leq \varepsilon + \lambda; \quad \eta > 0; \quad -\infty < v < \infty; \quad \lambda > 0; \quad -\infty < \varepsilon < \infty.$$

Як відомо, для несиметричних розподілів показовішою характеристикою центра розподілу є мода, бо математичне сподівання чутливе до великих крайніх значень випадкової величини. Аналіз розсіювання сум  $a$  за законом Джонсона засвідчив, що середнє значення моди  $a_0$  складає приблизно 0,85. Тому якщо в формули (4) і (5) замість суми  $a = 1$  підставляти суму  $a = a_0 < 1$ , тобто використати модальне значення суми, то можна досягти уточнення розрахунку ресурсу.

Для імовірності оцінки довговічності  $N_\Sigma$  існують різні підходи. Відповідно до одного з них випадкову довговічність  $N_\Sigma$  можна подати як функцію випадкових аргументів  $N_i$ , що входять до складу формул (4) чи (5). Тоді для визначення математичного сподівання  $MN_\Sigma$  функцію (4) розкладають в багатомірний ряд Тейлора відносно точки, в якій випадкові величини мають значення своїх математичних сподівань  $MN_i$ . Обмежившись членами другого порядку, одержимо [3] математичне сподівання і дисперсію

$$MN_\Sigma = \frac{a_0 10^C}{\sigma_1^m \sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i)} - \frac{a_0 10^C}{\sigma_1^m \left[ \sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i) \right]^3} \cdot \sum_{i=1}^k \left\{ \alpha_i^m \beta_i \left[ \sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i) - \alpha_i^m \beta_i \right] \cdot V_i^2 \right\} \quad (7)$$

$$DN_{\Sigma} = \left\{ \frac{a_0 10^C}{\sigma_1^m \left[ \sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i) \right]^2} \right\}^2 \cdot \sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \cdot \beta_i \cdot V_i)^2, \quad (8)$$

де  $V_i$  – коефіцієнти варіації довговічностей  $N_i$ .

Із виразу (7) випливає, що математичне сподівання менше довговічності  $N_{\Sigma}$  за формулою (4) при будь-якому значенні суми  $a$ . Це з'ясовує той факт, що традиційні розрахунки, в яких використовується тільки перший член виразу (7), тобто, наприклад, формула (4) при  $a = 1$ , часто дають більшу довговічність порівняно з експериментальною.

Як вже було вказано, введення моди  $a_0$  в розрахункові формули підвищує точність оцінювання математичного сподівання довговічності  $N_{\Sigma}$ . Але для того, щоб з формули (7) вилучити від'ємник і разом з тим зберегти точність, треба додатково зменшити суму  $a$ . Це зменшення, як і від'ємник в формулі (7), залежить від розсіювання довговічностей  $N_i$ , режиму навантаження і положення кривої втоми [3,4].

Порівнюючи довговічності за формулами (4) і (7), можна підрахувати, яким має бути співмножник  $A$  як поправка до моди  $a_0$ , аби визначити розрахункове значення  $a_p$  суми  $a$  і скористатися ним при розрахунках. Йдеться про величину  $a = a_p = a \cdot A$  в формулі (4), при якій очікувана довговічність наблизиться до свого математичного сподівання. Це дозволить скористатися досить простими формулами, не порушуючи традиційний погляд на розрахунки ресурсу при нерегулярному навантаженні [3,4].

Варто зазначити, що формулами (7) і (8) легко скористатися при відомих законах розподілу довговічностей  $N_i$  і  $N_{\Sigma}$  (ці закони не слід отожднювати з законом розподілу сум  $a$ ). Можна вважати прийнятним, що довговічності  $N_i$  і  $N_{\Sigma}$  розподіляються за однаковим законом – логарифмічно нормальним. Тоді для визначення довговічності  $N_{\Sigma P}$  відповідно до заданої імовірності  $P$  руйнування будуть придатні відомі формули [3,4].

Важливе значення в імовірних розрахунках набуває вибір коефіцієнтів варіації  $V_i$ , що входять до складу формули (8) і поправки  $A$ . Цей вибір дещо складніший за вибір коефіцієнтів варіації границі витривалості [1], бо на нього може впливати рівень напруги. Якщо дисперсія довговічностей  $N_i$  статистично незначимо змінюється за зміною напруги, то для визначення коефіцієнтів  $V_i$  достатньо знайти один з них, наприклад  $V_1$ . Останні будуть  $V_i = V_1 \cdot \alpha_i^m$ . Відповідно до цього одержимо [4]

$$DN_{\Sigma} = \left[ \frac{\lg e V_1}{\sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i)} \right]^2 \cdot \sum_{i=1}^k (\alpha_i^{2m} \beta_i)^2,$$

$$A = 1 - \left[ \frac{V_1}{\sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i)} \right]^2 \cdot \sum_{i=1}^k \left\{ \alpha_i^{3m} \beta_i \left[ \sum_{i=1}^k (\alpha_i^m \beta_i) - \alpha_i^m \beta_i \right] \right\}.$$

В іншому менш показовому випадкові треба знати скедастичну залежність хоча б у першому наближенні.

Для випадку навантаження деталей в річній і в морській воді, розсіювання довговічностей в якій менше, ніж у сухому повітрі, поправку  $A$  можна приблизно прийняти близькою до моди  $a_0$ , тобто розрахункове значення суми циклових відношень – у першому наближенні  $a_p \approx a_0^2$ .

Але для того щоб виключити можливе підвищення математичного сподівання ресурсу відповідно до формули (5), тобто при використанні дійсної дволанкової кривої корозійної втоми, достатньо, приймаючи замість  $a = 1$  розрахункову суму  $a_p \approx a_0^2$ , збільшити другий доданок в знаменнику формули (5). Цього можна досягти, якщо і на ступенях спектра, що припадають на правий відрізок кривої втоми (їх  $k - g$ ), підсумування пошкоджень проводити за лівим відрізком кривої втоми, оскільки за точкою  $N_6$ ,  $\sigma_6 N_i < N_j$ . Це дозволить, по-перше, розрахунковий ресурс приймати за математичне сподівання і через те уточнювати розрахунки в імовірнісному аспекті, а по-друге, поліпшити співпадання результатів розрахунків і дослідів [3,6], в яких використовувався лише лівий відрізок кривої втоми. Отже, відходячи від дійсної кривої втоми в розрахунках довговічності при нерегулярному навантаженні, можна, попри сподівання, підвищити точність цих розрахунків, хоча витоки такого підвищення мають складну природу.

З огляду на викладене можна зауважити, що ефект наближення розрахункового ресурсу до його середнього експериментального значення забезпечується відхиленням суми  $a$  від одиниці. В одному випадку [1,2] вдаються до попереднього зменшення суми  $a$  з урахуванням площі під кривою, що віддзеркалює форму експлуатаційного спектра в відносних координатах, і нижньої границі пошкоджуючи напруг або до введення

складових від напруг, що не викликають пошкоджень, хоча і мають велику тривалість дії. У другому випадку [3-5] констатують, що зводячи до одного члена вираз для визначення середньоімовірнісного ресурсу і нехтуючи в ньому подальші члени, не можна при будь-яких реальних сумах  $a$  дістатися бажаного співпадання. В даному, третьому випадку поєднується і те, і друге. Розрахункові суми зменшено до  $a_p$  шляхом введення поправки  $A$ . Це компенсує роль знехтуваних членів. Але окрім того, зменшено і довговічності  $N_i$  завдяки обчисленню їх для нижньої частини спектра не по дійсному правому відрізьку кривої корозійної втоми, а по екстрапольованому лівому відрізьку, що рівносильно деякому попередньому зменшенню використовуваної суми  $a$  в розрахункових формулах.

**Висновки.** Таким чином, оцінювання ресурсу деталей, що обмиваються забортною водою, при циклічному нерегулярному навантаженні слід проводити за формулою (4) при  $a_p = a_0 \cdot A$ , аби виключити можливе небезпечне його підвищення. Разом з тим оцінювання ресурсу при циклічному регулярному навантаженні можна здійснити точніше на базі дійсної для всієї області багаточислової втоми дволанкової кривої з лівим відрізьком за виразом (1) і правим – за виразом (2). Підсумування пошкоджень треба поширювати на всі напруги спектра, якщо найменша з них не нижча за  $\sigma_{lim}$ , знайденої з формули (3). Напруги  $\sigma \leq \sigma_{lim}$  можна не приймати до уваги.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин.* – М.: Высшая школа, 1991. – 320 с.
2. *Олейник Н.В. Выносливость деталей машин.* – К.: Техніка, 1979. – 200 с.
3. *Олейник Н.В., Пахомова Н.И. Вероятностная оценка усталостной долговечности деталей строительных и дорожных машин при нерегулярном нагружении // Строительные и дорожные машины.* – 1987. – № 10. – С. 27-28.
4. *Олейник Н.В., Пахомова Н.И. Дифференцированный учет усталостных свойств деталей в оценке их долговечности при нерегулярном нагружении // Строительные и дорожные машины.* – 1988. – № 1. – С. 27-29.
5. *Расчет деталей машин на коррозионную усталость / Н.В.Олейник, А.В.Вольчев, С.В.Бершак, Н.Р.Васильев.* – К.: Техніка, 1990. – 152 с.

6. Олейник Н.В. Суммирование усталостных повреждений в элементах конструкций, эксплуатируемых в морской воде // *Современные проблемы судостроения и судоремонта: Сб. научных трудов ОИИМФ.* – М.: Мортехинформреклама, 1991. – С. 170-173.
7. Олейник Н.В., Вольчев А.В. О форме кривой коррозионной усталости деталей машин // *Детали машин: Респ. межвед. науч.-техн. сб.* – 1977. – Вып. 25. – С. 86-91.
8. Серенсен С.В., Харьков В.П. Накопление усталостных повреждений в материале лопаток компрессора ГТД в условиях воздействия коррозионных сред // *Машиноведение.* – 1978. – № 2. – С. 51-61.
9. Олейник Н.В., Сторожев В.П. Оценка циклической долговечности стальных деталей в морской воде // *Экспресс-информация: Серия «Судоремонт».* – М.: Мортехинформреклама, 1992. – Вып. 4 (647)-5(648). – 22 с.
10. Олейник Н.В., Скляр С.П. Прогнозирование ресурса стальных деталей при циклическом нагружении в коррозионной среде / *ОИИМФ.* – Одесса, 1994. – 16 с. – Деп. в ГНТБ Украины 10.01.94, № 89-Ук94.

Надійшла 22. 06. 05

УДК 536.7

А.А. Вассерман  
В.А. Цымарный

## ОИИМФ – КОЛЫБЕЛЬ ОДЕССКОЙ ШКОЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

*Рассмотрены основные этапы становления и развития одесской школы исследований теплофизических свойств веществ. Отражены роль профессора Я.З. Казавчинского как основателя этой школы и роль Одесского института инженеров морского флота, в стенах которого прошел первый этап создания школы. Упомянуты наиболее видные представители школы и организации, в которых они работают. Отмечены основные научные достижения кафедр и лабораторий одесских институтов в области исследований теплофизических свойств веществ.*

*Ключевые слова:* газы, жидкости, научная школа, теплофизические свойства, уравнения состояния.

Рождение, жизнь и успехи научной школы, как и рождение, жизнь и успехи человека – дело во многом загадочное и непредсказуемое. Многие обстоятельства влияют на этот процесс. Однако некоторые из них можно назвать, пожалуй, точно. Во-первых, должен появиться лидер, Учитель, Личность. Во-вторых, должна сложиться определенная общественная ситуация, должны появиться потребности в реализации научной идеи.

Одесский институт инженеров морского флота в середине 50-х годов прошлого века оказался тем местом, где два указанных фактора встретились. В итоге родилась, существовала и существует, успешно работая, мощная научная школа, связанная с исследованиями теплофизических свойств технически важных веществ и некоторыми родственными научными и техническими задачами. Её называют по-разному. Иногда кратко – одесской теплофизической школой. Такое название недостаточно строго, поскольку теплофизика – понятие широкое, затрагивающее не только свойства веществ, но и тепловые процессы. Более точно – это одесская школа исследований теплофизических свойств веществ, колыбелью которой стал в своё время Одесский институт инженеров морского флота (ОИИМФ).

---

© Вассерман А.А., Цымарный В.А., 2005

В научных кругах школу одесских теплофизиков не случайно называют школой Казавчинского. Яков Захарович Казавчинский – сын крестьян-земледельцев из небольшого села Одесской области – рано определил круг своих научных интересов и проявил невероятное упорство и целеустремленность в достижении научных успехов. В начале 20-х годов возможности сельского паренька вряд ли были достаточно велики. Однако Яков Захарович получает высшее инженерное образование, защищает кандидатскую диссертацию, а затем и докторскую.

Параллельно с восхождением по ступеням научной лестницы Яков Захарович ведет большую педагогическую работу и создает основы будущей огромной научной школы. С 1932 г. Яков Захарович начал работать в ОИИВТ (позже ОИИМФ) и вскоре после защиты кандидатской диссертации (1935 г.) занял должность доцента. В 1941 г., после некоторого перерыва, Я.З. Казавчинский вернулся на работу в эвакуированный в Самарканд ОИИВТ, и последующие 27 лет его работа и жизнь были связаны с родным ОИИМФом.

В начале своей научной деятельности он занимается теоретическими и экспериментальными исследованиями в области теплопередачи, холодильной и криогенной техники. В послевоенные годы, продолжая исследования термодинамического поведения веществ, Яков Захарович предложил перспективную форму уравнения состояния реальных газов, основанную на изучении конфигурации термодинамической поверхности, и разработал оригинальный метод составления такого уравнения.

Докторскую диссертацию Яков Захарович защищает дважды. О защите им докторской диссертации можно написать отдельную повесть. Яков Захарович вел напряженную борьбу за признание его научной работы. На тернистом пути встречались и принципиальные противники, и завистники. Но научная убежденность, высокий профессионализм и настойчивость привели к появлению сторонников, единомышленников и друзей, ставших на защиту строптивного одессита. Творческий по натуре человек, Яков Захарович не стал исправлять и дополнять текст первой диссертации, на защите которой в 1950 г. голоса членов Совета Киевского политехнического института разделились поровну, а написал совершенно новую, оригинальную работу, которую защитил в 1955 г. в Московском энергетическом институте.

После утверждения Я.З. Казавчинского в ученой степени доктора наук (1956 г.) и в звании профессора (1958 г.) в ОИИМФе была создана в 1958 г. кафедра термодинамики и общей теплотехники, которую возглавил Яков Захарович. С этого момента начался новый этап развития термодинамической науки в Одессе, фактически родилась новая научная школа, которой суждено было в течение более 40 лет занимать далеко не

последние позиции не только в Одессе, но и в Советском Союзе, да и в мире.

Результаты работы Якова Захаровича были новы и интересны с точки зрения фундаментальной науки и крайне актуальны для развивающихся энергетики, ракетной и криогенной техники, газовой и химической промышленности, нуждающихся в данных о свойствах веществ. Крупнейшие НИИ и КБ страны оценили возможности молодого провинциального коллектива и начали оплачивать исследования свойств важных для техники веществ. К этой работе Я.З. Казавчинский привлек многих молодых специалистов. Это была совершенно новая сфера деятельности для выпускников технических вузов, связанная не столько с инженерными, сколько с физическими исследованиями. Сразу же Яков Захарович заложил моральные основы теплофизической школы, её демократические принципы, высокую требовательность, огромное трудолюбие. Соратники Якова Захаровича, работавшие с ним в 50-60-х годах 20-го века, с чувством восхищения и гордости вспоминают царивший в коллективе энтузиазм, работу не «от звонка до звонка», а до получения результата.

Создавая в научном коллективе уникальный моральный климат и творческую атмосферу, Яков Захарович не боялся противостоять некоторым официальным требованиям. В те годы легко можно было прослыть идеальным работником, не имея, например, опозданий на 2-3 минуты. Отсутствие каких-либо научных или творческих успехов у сотрудника, являвшегося в институт строго к началу рабочего дня, могло не влиять на «авторитет» идеального служаки от науки. Но Яков Захарович говорил: «Не важно, когда и где решена задача, без 5 минут восемь или в 5 минут девятого, в трамвае или в туалете. Меня интересует результат».

Исследования теплофизических свойств реальных газов – основная задача научной школы – требовали выполнения большого объёма расчетов, что сегодня невозможно себе представить без использования мощной вычислительной техники. Но в 50-е годы пределом мечтаний исследователя являлся примитивный арифмометр, а чуть позже – чудо техники – арифмометр «Рейнметалл» с электроприводом. Тем не менее, не ждять будущих ЭВМ, которые пока существовали лишь в смелых проектах, а искать оригинальные эффективные и доступные способы решения поставленной задачи – такому принципу следовал коллектив, возглавляемый Я.З. Казавчинским. До совершенства были доведены трудоемкие методы графической обработки и согласования огромных массивов разрозненных экспериментальных данных различных авторов, без которых создание уравнения состояния (чисто теоретическими методами) было невозможно. Многочасовая и, как правило, сверхурочная работа всех



научных сотрудников требовала большого умственного и физического напряжения, и пример такой работы подавал руководитель коллектива.

В конце 50-х – начале 60-х годов на кафедре ТОТ работали активные последователи и соратники Якова Захаровича – О.И. Катхе, В.А. Загорученко, П.М. Кессельман, А.Г. Табачников, А.А. Вассерман, В.А. Загоруйко, В.А. Рабинович. Позже к ним присоединились А.М. Журавлев, В.И. Кудашев, В.И. Недоступ, А.Л. Цыкало, Л.С. Сердюк, А.Г. Слынько, В.Н. Таран. Все они развивали теоретические принципы составления уравнения состояния. Несмотря на сходство решаемых научных задач в коллективе царила творческая атмосфера. Вещества, для которых составлялись уравнения состояния, отличались сложностью термодинамического поведения, область параметров состояния – широтой. Применение общей методики в каждом конкретном случае требовало интуиции и индивидуального подхода. Все представители первого поколения одесских термодинамиков защитили кандидатские, а многие из них в дальнейшем – докторские диссертации.

В 1955-1965 гг. Я.З. Казавчинский и его сотрудники составили уточнённые уравнения состояния и таблицы термодинамических свойств ряда важных для техники газов: воды и водяного пара, тяжёлой воды, двуокиси углерода, аммиака, воздуха, азота, кислорода, аргона, водорода, дейтерия, фтора, многих предельных и непредельных углеводородов, ряда спиртов. Были разработаны методы составления уравнений состояния газовых смесей, диссоциирующих веществ. Серьезным успехом явилась реализация идеи о возможности составления единых для газовой и жидкой фаз уравнений состояния, совершенно по-новому использовались представления о термодинамическом подобии в поведении веществ. В эти годы были достигнуты первые успехи в разработке метода эффективного потенциала, основанного на представлениях о межмолекулярном взаимодействии. Именно в это время из множества веществ, в той либо иной степени исследованных, выделяется группа так называемых «технически важных», на последовательном изучении которых будет в дальнейшем сосредоточено внимание учёных.

Будучи по складу ума теоретиком, Яков Захарович понимал значение экспериментальных исследований и вскоре после создания кафедры ТОТ принял решение об организации экспериментальной лаборатории. И в этом случае, как всегда, Яков Захарович совершил неординарный поступок – он отдал для лаборатории свой кабинет, а сам перешел в комнату, где находились молодые «теоретики». Впрочем, он лучше чувствовал себя в контакте с учениками, которым можно было подарить идею, спорить с ними до хрипоты, убеждать или соглашаться.

Основы экспериментального направления исследований разрабатывали В.А.Елема (позже кандидат наук, сотрудник Краснодарского политехнического института и Новороссийского высшего инженерного

морского училища) и В.А. Цымарный. И здесь в центре внимания были важные для техники вещества (шестифтористая сера, четырехокись азота, воздух, углеводородные газы) и необычные параметры состояния (низкие температуры, большие давления). Несмотря на ограниченность приборного обеспечения в те годы по сравнению с современными возможностями, в лаборатории разрабатывались нестандартные методы исследования: для диссоциирующего вещества – четырехокси азота – потребовалось принципиально усовершенствовать сравнительно мало распространенный в те годы безбалластный метод, для исследований вязкости и теплопроводности были разработаны и использованы нестационарный метод зонда и метод вибрирующей нити. К «фундаторам» экспериментального направления в конце 60-х годов присоединились Е.А. Головский, В.В.Литовченко, Н.Ф. Потиеенко, Б.А. Аксельбанд, В.М. Палагута. Появились новые экспериментальные задачи и направления – исследование газообмена и разработка режимов и технологии инертизации танков судов-газовозов, методы и оборудование для получения инертной среды, совместимой с основным перевозимым грузом – аммиаком, исследование режимов испарения наливных грузов в трюмах и методы сокращения потерь таких грузов при морской перевозке.

Откликом на потребности общества стали исследования свойств гигроскопических грузов, перевозимых морскими судами, способов повышения сохранности плодоовощной продукции в инертных газовых средах и разработка изотермических контейнеров для транспортировки свежих фруктов и овощей. Эти работы на протяжении многих лет возглавляли В.А. Загоруйко и В.В. Стефанович.

По мере роста «критической массы» коллектива в нем возникла своеобразная «цепная реакция», когда опыт, накопленный сотрудниками с большим стажем работы, передавался вновь пришедшим, ускоряя выполнение ими исследований и позволяя успешнее решать новые задачи. С увеличением числа сотрудников Яков Захарович, естественно, не мог уже столь длительно работать с каждым из них, как в начальный период, но он по-прежнему генерировал новые идеи. Последнее обстоятельство и начавшиеся успешные защиты диссертаций учениками Я.З. Казавчинского создавали авторитет школы и привлекали в неё новых последователей. Позже появились представители других городов (С.М. Межеричкий из Ташкента) и других стран (аспиранты из Вьетнама, Кубы, Алжира).

До появления большого коллектива одесских теплофизиков в СССР, не считая отдельных видных ученых, существовала фактически одна научная московская школа, занимавшаяся исследованиями по родственной тематике, которую возглавляли лауреаты Ленинской премии профессор М.П. Вукалович, профессора (в будущем академики АН СССР) А.Е. Шейндлин и В.А. Кириллин (МЭИ). Близость тематики и в

некоторых случаях различие подходов порождали конкуренцию, однако эта конкуренция сослужила добрую службу обеим школам и привела в дальнейшем к их сотрудничеству и многолетней дружбе. Позже перспективность этого научного направления обусловила создание ряда творческих коллективов в Киеве, Баку, Ленинграде, Новосибирске, Махачкале и других городах и назрела необходимость координации их усилий.

В СССР первые шаги по координации исследований свойств веществ были предприняты в 1964 г. в рамках сотрудничества с Международным союзом по теоретической и прикладной химии (*IUPAC*) по созданию международных таблиц термодинамических свойств технически важных газов. Была организована Комиссия АН СССР по термодинамическим таблицам и созданы рабочие группы этой Комиссии по свойствам различных газов. В состав Комиссии и рабочих групп вошли многие представители Одесской термодинамической школы. По предложениям Комиссии Госкомитет по науке и технике в 1966 и в 1969 годах выделял ряду организаций, в том числе ОИИМФ, из своего резерва штатные единицы и фонд заработной платы для проведения целевых исследований свойств важнейших веществ. Это способствовало активизации исследований и разработке советских проектов международных таблиц.

Не преуменьшая большой научной и координирующей роли Комиссии АН СССР, следует заметить, что она всё-таки являлась общественной организацией. Поэтому важным этапом в разработке комплекса справочных данных о свойствах веществ стало создание в 1965 г. в системе Госстандарта СССР Государственной службы стандартных справочных данных (ГСССД). В головном институте Госстандарта СССР – Всесоюзном НИИ физико-технических и радиоизмерений (ВНИИФТРИ) в 1965 г. была создана структура, аналогичная той, которая руководила подобными работами в США. Это был отдел ГСССД, во главе которого стал В.А. Рабинович, что можно рассматривать как высокую оценку достижений одесской теплофизической школы. В дальнейшем многие представители этой школы были включены в состав ряда научных советов АН СССР, АН УССР и Госстандарта.

Для сохранения в ОИИМФ подготовленных им научных кадров и обеспечения стабильного финансирования проводимых фундаментальных исследований Я.З. Казавчинский при поддержке ряда ведущих НИИ добился в 1966 году решения Госкомитета по науке и технике и Минморфлота СССР об организации в институте проблемной лаборатории судовой холодильной техники и прикладной термодинамики. Лаборатория функционировала в ОИИМФ до ее перевода в 1987 г. в ЮжНИИМФ, созданный Минморфлотом на базе ЧЦПКБ. В лаборатории было выполнено большое количество исследований для нужд морского

морского флота и Комиссии АН СССР по таблицам термодинамических свойств технически важных газов.

Термодинамики ОИИМФ опубликовали около 900 научных работ, в том числе 22 монографии, выпущенные в свет издательствами «Наука», «Энергия», «Стандарты», «Транспорт», «Недра», «Наукова думка». Они участвовали в 60 международных и всесоюзных конференциях, где представили более 180 докладов. В последнее десятилетие их доклады были представлены, в частности, на 14, 15 и 16-ой Европейских конференциях по теплофизическим свойствам веществ (во Франции, Германии и Великобритании), на 12 и 13-м международных конгрессах по химической технике (в Чехии) и на 13, 14 и 15-м симпозиумах по теплофизическим свойствам (в США). Двенадцать монографий-справочников о теплофизических свойствах азота, кислорода, воздуха, метана, этана, пропана и ряда других технически важных газов переведены на английский язык и изданы в США издательством Hemisphere Publishing Corporation. Получены также 12 авторских свидетельств на изобретения в области экспериментальных исследований теплофизических свойств веществ и в области холодильной техники и 2 патента Украины в области энергетики.

После внедрения ЭВМ в практику термодинамических расчетов в проблемной лаборатории составлено много единых уравнений состояния для газов и жидкостей, использованных для расчета стандартных справочных данных для большого числа веществ и для подготовки упомянутой выше серии монографий. Они написаны А.А. Вассерманом и В.А. Цымарным в соавторстве с известными российскими учеными В.В. Сычевым, А.Д. Козловым и Г.А. Спиридоновым – представителями московской термодинамической школы. Эти монографии стали важной составной частью комплексной системы оперативного обеспечения народного хозяйства нормативно-справочными данными о теплофизических свойствах технически важных газов и жидкостей, за разработку которой А.А. Вассерман, В.А. Рабинович и В.А. Цымарный вместе с группой ведущих российских и украинских теплофизиков в 1987 г. удостоены премии Совета Министров СССР. Экономический эффект от внедрения этой системы превысил 10 млн. рублей в год.

Помимо научных монографий, следует особо упомянуть об изданной в 1970 г. великолепной книге Я.З. Казавчинского «Лекции по технической термодинамике», написанной во время работы в ОИИМФ и обобщившей опыт его многолетней педагогической деятельности. Книга отличается новизной трактовки и изложения ряда вопросов, относящихся к основам термодинамики. И сегодня в этом небольшом по объёму учебнике специалисты в области термодинамики находят полезные для себя сведения. Оригинальность, глубина содержания и строгость изложения способствовали тому, что книга в течение 35 лет используется преподавателями, аспирантами и студентами технических вузов.

ОИИМФ был колыбелью одесской теплофизической школы, но, как говорил К.Э. Циолковский, «нельзя же вечно жить в колыбели». Институт не мог трудоустроить большое число ученых-теплофизиков, тем более что численность кафедры ТОТ была небольшой, а подчиненность Министерству морского флота привела к уменьшению теплофизической тематики в планах НИСа и проблемной лаборатории. Рост квалификации научных сотрудников кафедры ТОТ ОИИМФ неизбежно приводил к тому, что их приглашали на работу в другие вузы и НИИ, в которых проявлялся интерес к организации исследований теплофизических свойств веществ. Поэтому многие ведущие сотрудники (П.М. Кессельман, В.А. Рабинович, А.Л. Цыкало, В.И. Недоступ и другие) ушли из ОИИМФ в другие институты. К тому же в 1968 г. и сам Я.З. Казавчинский перешел в ОТИХП из-за возникших разногласий между ним и руководством института по вопросу заведования кафедрой.

После перехода Якова Захаровича в ОТИХП созданную им в ОИИМФ кафедру в течение 20 лет возглавлял его ученик – профессор В.А. Загорученко. Он развивал метод составления уравнения состояния газовых смесей, предложенный им еще в докторской диссертации (1965 г.). Результаты исследований Владимира Александровича использованы многими организациями, в частности, Невским машиностроительным заводом при проектировании компрессоров для транспортирования природных газов по магистральным трубопроводам.

В 1989 г. руководителем кафедры стал профессор В.А. Загоруйко, который ещё в 70-х годах прошлого века создал своё научное направление в области исследований свойств гигроскопических материалов. Им и его учениками рассчитаны гигроскопические свойства более 100 грузов, перевозимых судами морского флота.

В 1996 году три кафедры судомеханического факультета, включая кафедру ТОТ, были объединены в одну кафедру судовых энергетических установок. Однако представители термодинамической школы, оставшиеся к тому времени в нашем вузе, несмотря на исчезновение координирующей их работу структуры, не снизили своей научной активности. Они продолжали исследования новых перспективных озонобезопасных хладагентов и их смесей, коэффициентов внутреннего массопереноса гигроскопических материалов, а также разработали автоматизированные информационные системы для расчета теплофизических свойств веществ. Результаты этих исследований отражены в двух монографиях, в ряде статей и в докладах на научных конференциях.

В ОТИХП Я.З. Казавчинский создал творческую группу, куда вошли Е.Н. Анисимов, В.А. Мазур, Г.Я. Рувинский, В.Н. Таран и другие. Особенностью нового направления была связь изучаемых свойств хладагентов с термодинамическими характеристиками холодильных машин, что позволило решать задачи подбора оптимальных хладагентов.



Мы приводим весьма далекое приближение к генеалогическому древу, которое должно было бы охватывать все поколения научных «детей» и «внуков» Якова Захаровича, и приносим извинения тем, кто в нашей схеме не упомянут. В ней указаны только те, кто вместе с основателем школы стоял у истоков научного направления и стал в дальнейшем доктором наук, а также доктора наук, относящиеся к молодому поколению школы. На схеме перечислены основные научные направления, которые развиваются в области теплофизики в соответствующих институтах. Значительный вклад в развитие теплофизики в ОТИ им. Ломоносова и ОТИХП внес один из первых учеников Я.З. Казавчинского – д.т.н., проф. П.М. Кессельман, подготовивший 25 кандидатов наук, пять из которых в последующем стали докторами.

В целом кафедры и лаборатории одесских институтов, в которых работали и работают ученики и последователи Я.З. Казавчинского, выполнили огромный объем теплофизических исследований прикладного характера. Были разработаны методы и программы расчета свойств веществ, составлены уравнения состояния и уравнения для расчета коэффициентов переноса, рассчитаны таблицы свойств и построены диаграммы состояния для многих сотен веществ. Сюда вошли окислители и топлива для ракетной техники, рабочие тела энергетических, холодильных и криогенных установок, продукты переработки нефти и газа и другие вещества, включая многие гигроскопические материалы. Развитие ряда важнейших отраслей техники, невозможное без данных о свойствах веществ, было обеспечено благодаря работам одесской теплофизической школы. Признание научных заслуг учеников Якова Захаровича выразилось в том, что многие из них были избраны членами либо членами-корреспондентами ряда отраслевых академий Украины и России.

Сегодня в Одесском национальном морском университете (бывшем ОИИМФ), Одесской государственной академии холода (бывшем ОТИХП), Физико-химическом институте им. А.В. Богатского НАН Украины продолжают трудиться непосредственные ученики Якова Захаровича – профессора А.А. Вассерман, В.А. Мазур, В.И. Недоступ, А.Л. Цыкало, В.А. Цымарный. В тех же и некоторых других организациях трудятся многие их ученики, а также ученики П.М. Кессельмана, из которых необходимо особо упомянуть докторов наук В.П. Железного, В.П. Онищенко, В.Б. Роганкова, вносящих существенный вклад в подготовку специалистов и в научные разработки ОГАХ. Общее число ученых, которых можно отнести к школе Я.З. Казавчинского, уже превысило 100 человек (среди которых 16 докторов наук). Число монографий, написанных ими, приближается к 50 (из них значительная часть издана либо переиздана в США), а число статей, вероятно, достигло 3000.

Большинство этих ученых даже в условиях нынешнего сложного положения отечественной науки старается поддерживать славные традиции школы. Они создают новые расчетно-теоретические методы, получают новые

экспериментальные и расчетные данные о свойствах веществ, пишут статьи, книги и диссертации. Эти люди гордятся тем, что принадлежат к замечательной научной школе, основатель которой около 40 лет проработал в Одесском институте инженеров морского флота.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Недоступ В.И. *Одесская школа ученых-теплофизиков, специалистов в области исследования свойств веществ: В книге «Очерки развития науки в Одессе».* – Одесса: Титул. – 1995. – С. 362-373.
2. Вассерман А.А., Недоступ В.И. *Профессор Яков Захарович Казавчинский – основоположник Одесской школы исследований теплофизических свойств веществ // Холодильная техника и технология.* – 1999. – № 62. – С. 44-51.
3. Вассерман А.А., Недоступ В.И. *Развитие комплекса справочных данных о теплофизических свойствах веществ и вклад в него профессора В. А. Рабиновича // Технические газы.* – 2002. – № 4. – С. 59-63.

Надійшла 16. 05. 05



## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПРОЕКТНЫХ МЕНЕДЖЕРОВ В ОБЛАСТИ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*В статье на основе анализа международного опыта и национальных традиций подготовки судовых специалистов предложена ступенчатая система подготовки кадров для водного транспорта.*

*Ключевые слова:* судовая энергетическая установка, проектный менеджмент, образовательно-квалификационные уровни, магистр.

Анализ развития судовой энергетики, выполненный в работе [1], показал наличие кризиса, который выражается в том, что в последние десятилетия отсутствуют новые конструкторские и технологические решения, которые позволили бы повысить эффективность использования судовых энергетических установок (СЭУ). Видимо проектировщиками и судостроительными фирмами достигнут определенный рубеж, преодолеть который в рамках использования современных материалов и технологий не представляется возможным. Следовательно, нужно изменить методологию исследований, отказавшись от идеи повышения эксплуатационной экономичности, как единственного критерия совершенствования СЭУ.

В этой же статье обоснована целесообразность использования методологии управления проектами в совершенствовании разработки и функционирования СЭУ на всех этапах их жизненного цикла, поскольку такая методология позволяет объединить в единую научно-практическую методологию многие технические, экономические, правовые и социально-психологические дисциплины и использовать этот конгломерат знаний для разработки новых методов и средств совершенствования системы.

В общей постановке проблема комплексного управления проектом разработки и функционирования СЭУ включает в себя следующие задачи:

- выбор вида тепловой схемы;
- оптимизация термодинамических, расходных, конструктивных и компоновочных параметров на этапе проектирования судна;
- проектирование технологии монтажа СЭУ и ее отдельных элементов на этапе строительства судна;

- определение оптимальных режимов работы установки в процессе эксплуатации;
- выбор стратегии технического обслуживания и ремонта механизмов и узлов СЭУ;
- оптимизация технологических процессов ремонта;
- определение сроков и технологии модернизации или утилизации СЭУ.

Проектный менеджмент, как самостоятельная отрасль науки, включает в себя следующие составляющие [2]:

- управление содержанием проекта;
- управление временем в проекте;
- управление стоимостью проекта;
- управление качеством проекта;
- управление трудовыми ресурсами;
- управление информационными связями;
- управление рисками;
- управление закупками.

Каждая из перечисленных задач выполняется на разных этапах жизненного цикла СЭУ различными специализированными предприятиями, преследующими определенные цели, которые далеко не всегда совпадают. Например, очевидна заинтересованность судоремонтного предприятия в максимально возможном продлении жизненного цикла технической системы, поскольку «старые» механизмы требуют больших затрат на проведение ремонтных работ. Однако такой подход к определению стратегии функционирования СЭУ вызовет негативную реакцию со стороны фирм, занимающихся проектированием и строительством новых судов. И хотя все конфликты между сторонами должны решаться в пользу потребителя (судовладельца), это не означает возможность игнорировать интересы других заинтересованных лиц. Решение проблемы управления трудовыми ресурсами проекта требует подготовки специалистов, способных решать задачи комплексной оптимизации СЭУ и их элементами на стадиях проектирования, производства, эксплуатации, ремонта, модернизации и утилизации установки.

Начиная с XVIII века, морское образование включало подготовку специалистов по одной специальности – «морской инженер», которые обеспечивали деятельность всего морехозяйственного комплекса, независимо от ведомств, направлений деятельности и места работы (на судах или на берегу). В 30-е годы прошлого века были созданы специализированные водные институты (Одесса, Ленинград, Горький), которые готовили весь необходимый спектр специальностей отрасли: судовых механиков и штурманов, кораблестроителей и эксплуатационников, ры-

баков и экономистов. В годы второй мировой войны создается ряд «полувоенных» средних и высших морских училищ, затем наметилась тенденция разделения морских учебных заведений по ведомственному принципу (морской флот, речной флот, рыбопромысловый флот и др.). В 60-е годы в Советском Союзе был провозглашен принцип, согласно которому мореходные училища готовят плавсостав, а институты – береговых специалистов. Такой подход существует и поныне, хотя последние десятилетия радикально изменили задачи и функции, которые приходится решать специалистам водного транспорта.

Ступенчатая система высшего образования, принятая в Украине, предусматривает, что название специальностей, по которым ведется подготовка специалистов и магистров, отображает объект, на который направлена деятельность выпускника, а в названиях специальностей образовательно-квалификационного уровня «младший специалист» отображается функция его деятельности [3]. В соответствии с классификатором профессий ДК 009-95 специализация по специальности отражает особенности деятельности выпускника, связанные с отличиями в использовании средств, предметов или условий труда.

Дополнительной особенностью морского образования является наличие международных требований к образованию и квалификации судовых механиков, изложенных в Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ 78/95) [4].

Конвенция предусматривает обеспечение безопасности судоходства за счет:

- четко разработанной системы требований к компетентности экипажа;
- обязательные требования к судовладельческим фирмам по организации обучения экипажа на судне;
- требований к организации несения вахты.

Центр тяжести в обучении и повышении квалификации плавсостава переносится с учебных заведений непосредственно на судно. Конвенцией введен термин «одобренный опыт работы», как необходимое условие профессионального роста моряка.

Несмотря на подписание Конвенции ПДНВ, Европейские страны сохранили свои традиции в вопросах подготовки кадров для работы на флоте. Рассмотрим основные особенности морского образования в Европейских странах и их политику в обеспечении его соответствия современным требованиям.

*Англия.* Великобритания следует за традиционным типом образования с разделением судоводителей и механиков, хотя одновременно предлагает возможность обучения поливалентных офицеров с возможностью использования как на палубе, так и в машине.

Традиционная система предусматривает, что кандидаты после окончания средней школы поступают на работу в судоходную компанию, где проходят обучение по одобренной программе в течение трех с половиной-четырёх лет, одновременно проходя короткие курсы в колледже во время нахождения на берегу, или, отработав в судоходной компании до достижения морского стажа, поступают в колледж.

Морской стаж, требуемый в обоих случаях, – не менее трех с половиной лет, включая несение вахты в течение не менее 6 месяцев за последний год.

Непосредственное обучение в колледже занимает около пяти месяцев, после чего кандидаты сдают устный экзамен в Морском агентстве безопасности (MSA) и получают Свидетельство о компетентности 4 класса, дающее право на самостоятельное несение вахты.

Дальнейшее продвижение происходит чередованием обучения на берегу и работы в море с последовательным получением классов 3, 2 и 1 Свидетельства о компетентности. Минимальная длительность морского стажа, требуемого для перехода на следующую ступень, 18 месяцев. Таким образом, достижение класса 1 Свидетельства о компетентности (капитан или старший механик) в лучшем случае занимает 10-12 лет. Образование для высших классов компетентности проходит на университетском уровне.

Качество британского морского обучения считается очень высоким, и владельцы Свидетельств о компетентности MSA Великобритании признаются во всем мире высококвалифицированными специалистами.

*Германия.* Морское образование в Германии полностью объединено в общей системе образования и обучения, которая называется «Duale Ausbildung» (двойное образование). Эта система подразумевает, что стажер работал три дня в неделю в компании (обычно в течение 2-3 лет), оставляя два дня для посещения школы, где он получает профессиональную теоретическую подготовку. В первой стадии каждый стажер для любой должности должен получить квалификацию механика «Schiffsmechaniker».

В морском образовании применяется та же самая система, что и для каждой наземной профессии, за исключением того, что кандидат в течение года имеет три блока по 2-3 месяца в школе, работая остаток времени на борту судна. После короткого курса по безопасности, борьбе с пожаром и выживанию, кандидат начинает обучение на судне, что позволяет ему получать мореходный опыт на ранней стадии образования. Продолжительность этого образования – обычно три года, но может быть уменьшена до двух с половиной лет, если кандидат окончил среднюю школу заранее на уровне, который позволяет поступление в университет.

Как только это обучение закончено, стажер может претендовать на место в одной из десяти торговых морских академий в Германии. Fachhochschule в Гамбурге предлагает только двойное образование (поливалентный офицер).

Hochschule Бремен – часть Университета Бремена, где требования для поступления выше, чем в других колледжах. Все другие школы предлагают отдельные палубные и машинные квалификации, хотя некоторые из них также предлагают двойные квалификации.

Федеральное Министерство транспорта определяет требования, которые изменяются согласно уровню дипломов, для которых они предназначены. Экзамены организованы школами под наблюдением министерства. Программы и правила экзаменов определяются правительством федеральной земли (Bundeslander). В зависимости от предыдущего уровня образования, кандидат имеет возможность достигнуть различных стадий в карьере офицера. В Германии система больше усложнена, чем в большинстве других государств – членов ЕС, из-за трех различных типов дипломов капитана или старшего механика. АК-диплом является самым низким дипломом капитана. Он позволяет занимать должность капитана на судах меньше чем 1600 регистровых тонн в «Mittlerer Fahrt». «Mittlere Fahrt» означает, что судно может плавать между всеми европейскими портами, неевропейскими портами Средиземного и Черного морей и портами Атлантического побережья Марокко. АМ-диплом позволяет занимать должность капитана на судах меньше чем 8000 регистровых тонн без ограничения района плавания. И, наконец, АГ-диплом позволяет занимать должность капитана на всех судах во всех районах мира за исключением некоторых специализированных судов, которые требуют дальнейшего образования.

*Голландия.* Подобно немецкой, голландская система морского образования относительно сложна, из-за того, что имеются три категории дипломов капитана или старшего механика. Первая категория не имеет ограничений, вторая позволяет занимать должность капитана на судах менее 6000 рег. тонн и старшего механика на судах с главным двигателем менее 6000 кВт и третья категория – для 3000 рег. тонн и 3000 кВт соответственно. Традиционное разделение на палубу и машинное отделение все еще в ходу на борту неавтоматизированных судов, и поэтому проводится раздельная подготовка наряду с подготовкой поливалентных офицеров.

Как и в других Европейских странах, морское обучение организовано в виде чередования периодов обучения в школе и морской практики. Для получения диплома неограниченной категории кандидат, окончивший среднюю школу (12 лет), обучается в мореходной школе в течение двух лет, проходит морскую практику в течение одного года, сно-

ва обучается в школе один год, после чего получает диплом помощника капитана. После четырех лет морского стажа в качестве помощника капитана и прохождения дополнительных курсов менеджмента в течение трех недель, кандидат получает право на неограниченный диплом капитана (старшего механика). На практике этот путь занимает более 10 лет. За несколько меньший срок возможно получить ограниченную категорию диплома, позволяющую работать на малотоннажных судах. Помимо описанной системы, имеются 35 мест в год в специальной программе для долгосрочных безработных (более девяти месяцев), которая финансируется компанией ESF. Эта программа ведет к ограниченному диплому морского офицера. Кандидаты должны пройти 8 месяцев очень интенсивного обучения и 12 месяцев морской практики. После других 2 месяцев в школе, 6 месяцев морской практики и последующих 2 месяцев обучения кандидаты сдают экзамен для получения вышеуказанного диплома. Кандидаты, участвующие в интенсивном обучении, отбираются специальным агентством занятости для мореплавателей, которое гарантирует, что кандидаты способны усвоить программу.

В связи с продуманной правительственной политикой, в отличие от других европейских стран, Голландский Регистр остается достаточно привлекательным для судовладельцев. В связи с этим из-за существующей нехватки квалифицированного персонала имеются планы разрешить владельцам ограниченных дипломов работать на борту судов более 6000 рег. тонн/6000 кВт. Эти планы рассматриваются со скептицизмом большинством экспертов, которые опасаются снижения традиционно высокого уровня морского образования и падения престижа морского офицера.

Обучение мореплавателей пребывает под юрисдикцией Министерств образования, транспорта и сельского хозяйства и рыбной ловли (для рыбаков). Преподаватели мореходных школ назначаются правительством и являются государственными служащими.

*Бельгия.* Бельгия следует за традиционным типом образования с разделением палубных и машинных специальностей. В то время как образование палубных офицеров проходит на уровне университета, образование судовых механиков достигает только полууниверситетского уровня. Образование палубных офицеров ведет к получению ученой степени в навигационных науках: в конце первых двух лет – кандидат в навигационных науках и полная степень после четырех лет с защитой дипломной работы. После получения этой академической степени, кандидат должен решить, начать ли морскую или береговую карьеру. В случае выбора морской профессии к его диплому выдается подтверждение, позволяющее занимать должность практиканта третьего

помощника офицера. После требуемых месяцев навигации, прохождения соответствующих экзаменов кандидат может получить диплом, выдаваемый Министерством транспорта согласно ПДНВ 78/95 инструкциям. После общего количества шестидесяти месяцев навигации и после прохождения экзаменов кандидат получает диплом капитана внешней торговли.

Образование для инженеров разделено на теоретическую и практическую части. После трех лет расширенного обучения кандидату присваивается академическая степень в индустриальной науке и технике, которая позволяет ему работать в должности практиканта механика.

После требуемых месяцев морской практики кандидат может получать различные лицензии, выпущенные Министерством транспорта. Диплом старшего механика может быть получен после 36 месяцев морского стажа и прохождения соответствующих экзаменов. Навигационная школа в Антверпене является единственным морским институтом в Бельгии. До 1995 года морское образование в этой школе проходило по принципу чередования практического и теоретического обучения, как это имеет место в английской системе. В связи с этим бельгийский опыт представляется чрезвычайно ценным для нашей страны, где давно идут дискуссии о реформе морского образования. Правительство Бельгии поддерживает близкие контакты с морской промышленностью и профсоюзами через Объединение мореплавателей. Контакт с академическим штатом поддерживается Правлением экспертизы навигационного института. Министерство социального обеспечения и Министерство труда представлено в объединении. В навигационной школе в Антверпене Правление экспертизы состоит из представителей судоходных компаний и Министерства коммуникаций. Правление объединения состоит из представителей от профсоюзов, судоходных компаний и Министерства коммуникаций, труда и социального обеспечения.

В то время как дипломы выдаются школами или правлениями, экспертизы с участием представителей Министерства коммуникаций и судоходных компаний, подтверждения к дипломам выдаются только Министерством транспорта.

Кроме института в Антверпене, имеется колледж, который специализируется в обучении и образовании для рыбаков, и колледж, который обеспечивает подготовку мореплавателей для прибрежной навигации. Морское образование свободно для кандидатов и финансируется государством.

*Дания.* Морское образование в Дании проходит по новым схемам, обеспечивая подготовку polyvalentных офицеров на эксплуатационном уровне с дальнейшим разделением на палубных и машинных специалис-

тов на управленческом уровне. После окончания средней школы кандидаты прослушивают полугодичный курс лекций в колледже, проходят морскую практику в течение полугода, занимаются в учебных мастерских в течение полугода, учатся в колледже 1 год, проходят практику 1 год, снова учатся 1 год в колледже и после полуторогодичной практики получают квалификацию младшего офицера (несение вахты в машинном отделении или на мостике). Дальнейшее обучение происходит раздельно для палубы или машинного отделения и включает полуторогодичный курс лекций в колледже, после чего, сдав экзамены, кандидат получает квалификацию офицера на уровне управления (старший помощник или второй механик).

Экзамены принимаются комиссией, включающей в себя специалистов как навигационного, так и инженерного профиля. Морские власти следят за соответствием требованиям STCW 78/95. Существуют исключительно хорошие отношения между морскими властями и обучающими институтами. Часть персонала морских властей составляют прежние преподаватели.

В системе морского образования Дании имеются государственные и частные школы. Подготовка судовых механиков ведется в 8 частных колледжах. Подготовка палубных офицеров ведется в 3 государственных колледжах и 1 частном. Оборудование школ является современным, широко используются тренажеры и имитирующие устройства различного уровня. Несмотря на это, морское образование в Дании имеет низкий престиж, что только усиливается по мере увеличения найма иностранных моряков на суда Датского Регистра. Сокращение численности студентов и привлечение достаточного числа кандидатов, способных окончить обучение, является самой большой проблемой для образовательных институтов в настоящее время.

*Ирландия.* Cork Regional Technical College является единственным колледжем, который предлагает морское обучение и образование в Ирландии. Образование построено по широко применяемому в европейской системе принципу чередования практического и теоретического обучения, представляя собой чередование обучения на берегу с морской практикой. При обучении палубных офицеров существует возможность совмещения работы матросом и последовательного повышения квалификации до помощника капитана. Подготовка поливалентных офицеров пока не нашла применения, и эксперты высказывают опасение, что понадобится удвоение сроков морского обучения для успешной подготовки таких моряков. Оценка полученной квалификации осуществляется на основе письменных и устных экзаменов, проводимых под контролем Отдела морских экзаменаторов.



*Швеция.* Швеция следует за традиционным типом образования с разделением судоводительских и судомеханических специальностей. Так называемым поливалентным офицерам разрешается работать на борту только очень малых судов. Для вступления в программу офицерской подготовки кандидаты должны сначала пройти так называемую «Energy program», которая представляет собой трехгодичную программу, включающую 16-месячную морскую практику и завершающуюся получением сертификата квалифицированного матроса (А.В.) Отработав 8 месяцев в должности А.В., мореплаватели получают возможность вступления в программу подготовки офицеров, которая занимает еще три года, включая три месяца морской практики. Кроме вышеописанного, существует альтернативный путь к достижению офицерского сертификата, согласно которому кандидат должен сначала получить трехлетнее теоретическое образование без мореходного опыта. После получения Свидетельства квалифицированного матроса следуют дальнейшие четыре года образования и обучения, включая 16 месяцев морской практики, четыре недели курса безопасности и дальнейшие 8 месяцев морской практики.

В Швеции имеются пять морских школ для рядовых, два морских института и один институт последипломного образования. Уровень морского образования в Швеции является достаточно высоким, лекции на английском языке читаются для всех профессий, включая рядовых. Объем образования для рядовых является, очевидно, избыточным и сравним с образованием младших офицеров в других странах.

В Украине избыточным является объем образования для младших офицеров в случае их подготовки в академиях, поскольку к исполнению обязанностей на первичных должностях командного плавсостава они приступают лишь через 5,5 лет учебы, что вдвое превышает требования международных соглашений. Документы, дополняющие ПДНВ 78/95, устанавливают минимальный срок обучения офицеров флота в течение 30 месяцев, что соответствует необходимому времени обучения в Украине для получения образовательно-квалификационного уровня «младший специалист». Следовательно, видится целесообразным рассматривать подготовку судовых механиков в виде одной из ступеней морского инженерного образования, а не как самостоятельную специальность.

В соответствии с перечнем направлений и специальностей, по которым производится подготовка специалистов в высших учебных заведениях Украины [5], по крайней мере на десяти специальностях в пяти различных направлениях студенты получают знания, необходимые для проектирования и обслуживания СЭУ. Это:

- «Двигатели внутреннего сгорания» и «Судовые машины и механизмы» направления «Инженерная механика»;

- «Атомная энергетика», «Котлы и реакторы», «Турбины», «Судовые энергетические установки и оборудование» направления «Энергетика»;
- «Эксплуатация судовых энергетических установок» в бакалаврате «Корабли и океанотехника»;
- «Автоматизированное управление технологическими процессами» и «Автоматика и автоматизация на транспорте» направления «Автоматизация и компьютерно-ориентированные технологии»;
- «Организация перевозок и управление на транспорте» направления «Транспортные технологии».

При этом необходимо отметить, что ни одна из этих специальностей не удовлетворяет в полной мере потребностей отрасли. С другой стороны Украина имеет опыт отраслевого принципа построения направлений подготовки специалистов для работы на транспорте. Так, Перечень [5] содержит такие направления, как «Авиация и космонавтика» и «Железные дороги и железнодорожный транспорт». По нашему мнению необходимо пересмотреть перечень направлений и специальностей, собрав все морские специальности в один бакалаврат «Водный транспорт», а судовую энергетику – в специальность «Судовые энергетические установки», предусмотрев при этом переход с одного образовательно-квалификационного уровня на другой, с одной должности – на другую, с берега – в море и обратно.

Подготовку наиболее квалифицированных специалистов, составляющих основу команды проектных менеджеров, обеспечивающих управление проектами по разработке и функционированию судовых энергетических установок, целесообразно осуществлять путем создания специализированных магистерских курсов, например «Управление функционированием СЭУ», «Организация технического обслуживания и ремонта судовых технических средств» и др. Такая модель системы морского образования полностью коррелируется с европейским опытом и отвечает требованиям Болонской декларации, к которой Украина присоединилась в мае этого года.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шахов А.В. *Методология проектного менеджмента в совершенствовании судовых энергетических установок // Проблемы техники. № 2. – 2005. С. 142-149.*
2. *Керівництво з питань Проектного Менеджменту // Пер. з англ. / Під ред. С.Д.Бушуєва, 2-е вид., перероб. – К.: Делова Україна, 2000. – 198 с.*

3. *Приказ № 285 Министерства образования Украины от 31 июля 1998 г.*
4. *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978, as amended / International Maritime Organization, London, 1996. (Україна приєдналась до цієї Конвенції у 1996 році. Закон України від 1 листопада 1996 року № 464/96-ВР «Про приєднання України до Міжнародної конвенції про підготовку і дипломування моряків та несення вахти 1978 року»).*

Надійшла 15.07.05

УДК 340 (075,8)

В.М. Иванов

## О ПОДГОТОВКЕ МОРСКИХ ЮРИСТОВ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРАВА НА ЖИЗНЬ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

*В подготовке морских юристов определяющее место отводится овладению ими знаниями и навыками, способствующими качественному обеспечению правовых отношений в функционировании морехозяйственного комплекса, основу которого составляют жизнеобеспечивающие факторы, в особой мере гарантирующие безопасность жизни и здоровью человека, его защищенности от насилия, разбойных нападений, террористических актов. Достижение данной цели – в комплексном специализированном учебно-методическом процессе, основанном на уровне современных оценок и требований.*

*Ключевые слова:* Конституция, жизнь, здоровье, программирование, методология, профессионализм, деонтология, аттестация, экспертиза, профилактика.

Актуальность проблемы определяется особой сложностью юридической работы в сфере морехозяйственного комплекса, включающей в себя регулирование правоотношений, связанных как со строительством, ремонтом и эксплуатацией морского транспорта, так и выполнением договорных обязательств по перевозкам различных видов грузов и пассажиров. Будущий морской юрист уже в процессе учебы должен осознавать трудности, с правовым разрешением которых ему будет справиться весьма сложно. В поле правового решения могут входить вопросы просроченности сроков эксплуатации морских судов и портового оборудования, нарушения грузоподъемности, использования морских перевозок с нарушением установленных правил, состояния жизнеобеспечивающих средств, условия быта и санитарного состояния, контрабанда и др.

В конечном итоге в результате этих и других нарушений могут быть катастрофические последствия с человеческими жертвами, о чем свидетельствуют многочисленные факты, особенно в последние десятилетия.

В этой связи в учебном процессе морских юристов программные материалы должны содержать положения, раскрывающие суть конституционно-правового статуса человека и гражданина, место его права на

жизнь и охрану здоровья, на обеспечение гарантий этого права, на роль государства в создание условий для здорового образа жизни человека.

История учит, а реальность подтверждает, что государство, будучи творением человека, призвано служить ему, подчинив этой цели весь свой механизм власти и управления. По существу все функции государства в конечном итоге связаны с судьбами его народа, с обеспечением гарантий прав и свобод человека, с выполнением обязанностей перед гражданами страны. Такое судьбоносное положение государства трансформировалось в конституционно-правовом институте гражданства, означающего устойчивую политико-правовую связь физического лица с государством, возлагающего на них права и обязанности.

Для студента-юриста важно уяснение того непреложного факта, что повышение роли государства в обеспечении прав и свобод человека обусловлено тем, что в них изначально заложены важные ценностные ориентиры общественного развития, нормативно формулируются условия и способы жизнедеятельности людей, которые являются объективно необходимыми для общественного прогресса, для гармоничного взаимодействия индивида, общества, государства и природной среды.

Об этом четко сформулировано в статье 3 Конституции Украины: «Человек, его жизнь и здоровье, честь и достоинство, неприкосновенность и безопасность признаются в Украине наивысшей социальной ценностью».

Права и свободы человека и их гарантии определяют содержание и направленность деятельности государства. Государство отвечает перед человеком за свою деятельность. Утверждение и обеспечение прав и свобод человека является главной обязанностью государства».

Как мы уже подчеркивали, применительно к данной проблеме каждая отрасль законодательства имеет определенную специфику в закреплении механизма охраны жизни граждан, что отражается в содержании охранительного механизма, его формах и методах [1].

Однако преподаватель, будучи правдивым перед студентами-юристами, не должен уходить от реального состояния и разъяснять им, что несмотря на столь точно определенные конституционные и отраслевые нормы права Украины, России, Грузии, Молдовы, Венгрии, Болгарии и других стран, жизнь человека находится в опасности. И международное, и национальное право в новых условиях не обеспечиваются надлежащими гарантиями в области прав человека вообще и безопасности его жизни в особенности.

В результате общество находится как бы в состоянии постоянной боевой тревоги, приближенной к фронтовым условиям, где жизни людей – мирных граждан, жаждущих нормально прожить день, противостоит до зубов вооруженный самым современным оружием вражеский отряд преступников – убийц. В этой обстановке происходит привыкание

людей к жертвам и лишению человека жизни, его убийство уже не является чрезвычайным событием, как это было в недалеком прошлом.

Теперь трудно выделить виды совершенных преступлений без лишений человеческой жизни.

Экономические споры, не успев возникнуть, быстро решаются киллером. В политических спорах нередко дискуссии также сокращаются киллером. «Зачем долго тянуть время?».

Домашние кражи начинаются с жертв женщин и детей, а потом уже с поисков ценностей, неважно какой стоимости, может 5-10 рублей. Семейные споры также набирают моду заканчиваться трагедией.

Приняли массовый характер разбои, вооруженные нападения, грабежи.

В целом проблема насилия стала глобальной и настолько серьезной, что превратилась в угрозу существованию человечества. Количество убийств в разных странах на каждые сто тысяч жителей составляет: в Колумбии – 89,6; Бразилия – 20,2; США – 10,4; Дании – 6; Узбекистане – 3,9; Италии – 2,9; Новой Зеландии – 2,4; Израиле – 2; Японии – 0,6 [2].

Нарастающим идет процесс лишения жизни в России, Молдове, Украине и др. странах СНГ, да и не только [3].

Террористический акт, совершенный 11 марта 2004 г. унесший более 200 жизней и оставивший искалеченными тысячи людей, потряс весь мир. Повсеместно имеют место разбойные нападения, происходит отстрел депутатов и полицейских, потерпевших казнят, гладят горячим утюгом. Беспредел преступности настолько велик, что самая тщательная статистика уже неспособна отразить объективно происходящее.

Чтобы убедиться в этом, достаточно прочесть заголовки статей 2-3-х номеров одесских газет «Факты» или «Сегодня» которые изобилуют данными о разбоях, грабежах, убийствах и т.п. [4]

В этом аспекте целесообразно акцентировать внимание будущих юристов и на то, что в условиях разгула преступности, обесценивания человеческой жизни настораживают информационные, электронные технологии, имеющие глобальное распространение в мире и проникающие во все сферы деятельности человека, влияющие на его физическое и психическое состояние, угрожающее самой жизни, причем не только отдельной индивидуальности, но и массовым поражением людей. Результативность достигается безудержными сценами насилия, садизма, безнравственности, экономическими диверсиями, шпионажем, другими формами, пронизывающими все информационное сообщество и угрожающими здоровью и жизнедеятельности людей.

Безудержный рост преступности, лишение жизни и здоровья человека во многом обуславливается коррупцией, пронизывающей общество. Этом подробно изложено в фундаментальном труде академи-

ка Л.В. Багрий-Шахматова [5]. Приводятся, в частности, данные социологического опроса о том, что рост экономической преступности обусловлен моральным состоянием общества. В качестве основных причин юристы называют следующие: разложение административно-бюрократического аппарата и рост коррупции – 85,5% опрошенных; двойная мораль – 79%; участие в преступной деятельности высших эшелонов власти – 74,9%; двойная законность, то есть отсутствие реального равенства перед законом рядового гражданина и руководителя – 74,8%; отсутствие реальной заинтересованности в результатах труда и сохранении государственной собственности – 58,9%.

Конечно же государством принимаются соответствующие посильные меры по предотвращению преступных действий, но правоохранительные органы, несмотря на некоторые подвижки в раскрываемости преступлений, не в силах сдерживать вооруженных «до зубов» преступников, и нуждаются в более совершенном техническом оснащении.

Нам представляется, что настало время, когда борьбу с преступностью, коррупцией и терроризмом, наносящим непоправимый ущерб жизни людей, надо выделить в **четко выраженную, самостоятельную функцию государства** со всеми вытекающими отсюда конкретными задачами, организационно-правовыми формами и средствами их решения.

Результаты борьбы с разгулом преступности, коррупции, терроризма и должностными преступлениями должны стать основными критериями в оценке деятельности всего **государственного механизма** - от президента, парламента и правительства страны до местных органов самоуправления, должностных лиц министерств, департаментов, управлений. При этом особое внимание должно быть уделено профилактике правонарушений, предотвращению условий, способствующих ущемлению прав человека, особенно права на жизнь, свободу и неприкосновенность.

Исходя из изложенного, нам представляется целесообразным:

**во-первых**, наполнить программы по подготовке морских юристов положениями о правах человека на жизнь, здоровье и неприкосновенность;

**во-вторых**, в учебный процесс ввести спецкурсы:

- «Государство и личность»
- «Организация и методика правового воспитания специалистов морехозяйственного комплекса».

Со стороны государств, особенно развивающихся, в т.ч. СНГ, необходимо проведение правовой политики относительно роста престижа юридической профессии:

- утверждение верховенства права;
- принятие качественных законов, характеризующихся согласованностью всех содержащихся в них предписаний;
- подготовка высококвалифицированных кадров;
- создание необходимых специальных условий для правового обслуживания населения, осуществления правовых процедур в процессе правоприменительной деятельности;
- упреждение нарушений законности и правопорядка в государстве.

**Престиж юридической профессии зависит от соответствия деятельности юриста профессиональным стандартам, соблюдения деонтологических нормативов его культуры:**

- выполнение профессиональных обязанностей должно иметь приоритетное значение над иными занятиями юриста;
- юрист не вправе причинять ущерб своей профессии в угоду личным интересам или интересам других лиц;
- в любой ситуации юрист должен действовать профессионально, сохранять личное достоинство, заботиться о своей чести, избегать всего, что могло бы причинить ущерб его репутации и поставить под сомнение его объективность и компетентность;
- юрист обязан осуществлять самоконтроль в целях предупреждения нарушений деонтологических правил поведения.

**Государственный стандарт** подготовки юриста-специалиста устанавливается в определенных нормативных и учебно-методических документах. В Украине завершена разработка Государственного стандарта высшего юридического образования. Подготовка юриста должна вестись в соответствии с таким стандартом, чтобы обеспечить присоединение Украины к Лиссабонской конвенции о признании квалификаций по высшему образованию в Европе.

Каждый юридический вуз в зависимости от его специализации и ведомственной подчиненности может разработать свой вариант квалификационной характеристики специалиста данного направления. Однако за основу следует брать общие нормативы Государственного стандарта. Подготовка юристов должна иметь фундаментальный характер. Следование упрощенной модели требований к юридической профессии способно привести к выхолащиванию ее содержания и утрате ответственной социокультурной роли. Государственный стандарт, с одной стороны, задает вузам ориентиры минимума знаний, которые должен получить студент (курсант), а с другой - дает возможность создавать авторские курсы.

*Соответствие подготовки юриста-специалиста государственному стандарту конкретизируется в его квалификационном паспорте, закрепляющем стандарт качества профессиональной юридической подготовки [6].*



**Квалификационный паспорт** содержит общую характеристику юриста-специалиста как социальной индивидуальности. Этот стандарт одинаково обязателен для всех учреждений образования *по данной специальности*.

Чрезвычайно важно произвести правильный профессиональный отбор абитуриентов, выявить их способности и подготовленность к овладению системой знаний, умений и навыков, необходимых для усвоения учебных дисциплин в вузе, а также соответствие их психологических качеств избранной профессии. Умения – это знания в их практическом применении, то есть приобретенная юристом-студентом (курсантом, слушателем) способность целеустремленно и творчески пользоваться своими специальными знаниями в процессе практической юридической деятельности.

*Таблица 1*

*Квалификационный паспорт юриста-специалиста*

<b>Общие требования</b>	<b>Система знаний</b>	<b>Система умений</b>
Наличие юридического мышления, общей эрудиции, способности к критической самооценке, самоконтролю, профессиональному и морально-психологическому совершенствованию	Упорядоченный комплексный набор общих и специальных знаний, получаемых в результате углубленного изучения учебных дисциплин, первичные сведения о которых давались в общих средних школах, колледжах, техникумах и других учреждениях образования среднего уровня подготовки, а также постижение новых учебных курсов, соответственно, <u>специальности</u>	Упорядоченный набор умений, получаемых в результате овладения учебными и практическими дисциплинами профессионального профиля и применения приобретенной системы знаний в процессе прохождения практики

**Система знаний студента (курсанта, слушателя)** приобретается в процессе выполнения утвержденной учебным заведением учебной программы: посещения курсов лекций, участия в семинарских и практи-

ческих занятиях, самообразования, сдаче зачетов и экзаменов (в том числе выпускных) по определенному количеству учебных дисциплин за годы обучения. Этот упорядоченный набор знаний составляет нормативное содержание профессиональной образовательной программы (система знаний, перечень учебных дисциплин, государственная аттестация) и определяется системой умений, содержащихся в квалификационном паспорте юриста-специалиста. Основами образования можно считать такие: **учиться, чтобы знать; учиться, чтобы делать; учиться, чтобы жить вместе с другими; учиться, чтобы быть.**

**От юриста-выпускника требуются такие профессионально-правовые умения:**

- толковать и применять законы и другие нормативные правовые акты;
- обеспечивать соблюдение законодательства в деятельности государственных органов, физических и юридических лиц;
- юридически правильно квалифицировать факты и обстоятельства;
- разрабатывать документы правового характера; осуществлять правовую экспертизу нормативных правовых актов; давать квалифицированные юридические заключения и консультации;
- принимать правовые решения и совершать иные юридические действия в точном соответствии с действующим законодательством;
- вскрывать и устанавливать факты правонарушений; определять меры ответственности и наказания виновных; предпринимать необходимые меры к восстановлению нарушенных прав;
- систематически повышать свою профессиональную квалификацию, изучать законодательство и практику его применения, ориентироваться в специальной литературе;

Выпускник, получая высшее юридическое образование, должен соответствовать следующим деонтологическим нормативам:

- руководствоваться принципом верховенства права, знать и уважать законы, нетерпимо относиться к любому их нарушению в собственной профессиональной деятельности;
- уметь организовывать свою деятельность, самокритично оценить ее результаты, быть убежденным в необходимости постоянного профессионального самосовершенствования, уметь аккумулировать и применять на практике новую информацию;
- быть справедливым и гуманным, уважать нравственные ценности, быть способным к сопереживанию и милосердию, нести ответственность за судьбы людей;
- уважать чужое мнение, в случае глубокой убежденности в правоте уметь отстаивать собственное мнение, проявлять твердость мора-

льных и идейных убеждений, культивировать в коллективе плюрализм мнений, дискуссию, инициативу;

- обладать чувством долга и ответственности за порученное дело, необходимой волей и настойчивостью в исполнении принятых решений, уметь создать команду единомышленников;

- быть собранным и уравновешенным, способным концентрировать и быстро переключать свое внимание.

Только высокая правовая квалификация, психологические, моральные, политические и эстетические нормативы культуры юристов создают надежные профессиональные основы, необходимые для построения демократического социально-правового государства в Украине [7].

Учитывая все вышеизложенное, основные задачи, стоящие перед морскими высшими учебными заведениями, имеющими высокий научный и методический потенциал, проф. Ю.Л. Воробьев [8] формулирует следующим образом:

1. Необходимо усилить **правовую подготовку выпускаемых специалистов** в области международного права и, в частности, по проблеме предотвращения террористических актов. Глубокое понимание ответственности и необходимости четко выполнять все требования стандартов, изложенных в национальном законодательстве и международных договорах, должно войти в плоть и кровь, как преподавателей, так и студентов учебных заведений.

2. Следует обратить особое внимание на технические новинки в этом вопросе и научить будущих специалистов эффективному их использованию и применению.

3. Профессорско-преподавательский состав, обладающий богатым научным потенциалом, должен обязательно участвовать в разработке средств и организационных процедур по борьбе с терроризмом на водном транспорте.

4. Надо в самое ближайшее время разработать и внедрить дифференцированные программы подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов всех предприятий отрасли, обеспечив, в том числе, и подготовку офицеров охраны судов, компаний и портов.

Не дожидаясь окончательных решений на международном уровне, Одесский национальный морской университет, осуществляющий подготовку практически всего спектра специалистов для морского транспорта, начиная с нынешнего учебного года, приступил к практическому решению поставленных сложных и крайне важных задач.

Главное – это вопрос профилактики и предупреждения «угрожающих безопасности ситуаций».

Термин «угрожающая безопасности ситуация» – это обстановка,

сложившаяся на конкретном объекте (месте) в результате преднамеренных действий преступных элементов и являющаяся благоприятной для ее перерастания в опасную, экстремальную или чрезвычайную ситуацию.

«Угрожающая безопасности ситуация» содержит в себе два вида угроз безопасности людей и объектов с учетом специфики водного транспорта. Это:

1. Явные угрозы: к ним относятся конкретные действия преступных элементов по созданию условий, угрожающих нормальному функционированию объектов водного транспорта, которые могут быть своевременно выявлены и предотвращены работниками транспорта при непосредственном участии правоохранительных органов.

2. Скрытые угрозы: это скрытые действия преступных элементов или вражеской агентуры по изучению обстановки на объекте террористического воздействия, выявление которых возможно в ходе оперативной деятельности правоохранительных органов.

При разработке программы, следует учесть следующие факторы [9]:

- разный уровень личной ответственности руководителей и специалистов, то есть полное понимание того, что снижение степени угроз – это область работы не только силовых структур;

- разный уровень специальной подготовки руководителей, специалистов, служащих и рабочих;

- отсутствие надлежащей нормативной и учебной базы для отработки вопросов профилактики явных угроз с учетом специфики водного транспорта.

К проведению занятий должны привлекаться только специалисты:

- имеющие практический опыт организации и управления защитой людей и объектов от преступных посягательств, в т.ч. террористического характера;

- знающие тактику практических действий всех категорий правонарушителей (внутренних и внешних) и методику совершения ими преступлений террористического характера по видам явных угроз;

- способные проводить занятия с учетом категорий обучаемых - как рядовых работников, так и руководителей и специалистов, умеющих организовать и осуществлять управление защитой людей и важных объектов.

Программа антитеррористической подготовки и переподготовки должна быть условно разделена на 2 части:

- для руководителей и специалистов – с уклоном в методику управления процессом;

- для работников массовых профессий – с уклоном в повышение организованности и бдительности, активного содействия правоохранительным органам, готовности персонала объекта к практическим действиям при возникновении угрожающей безопасности ситуации.

Главная особенность программы – ее направленность на конкретные практические задачи с учетом специфики воднохозяйственного транспортного комплекса и категории обучаемых.

Содержание занятий для первой категории работников должно обеспечить не только информационное получение суммы общих знаний о терроризме, которые не применишь на всем предприятии или объекте, но прежде всего с уклоном в методику организации обучения подчиненных в условиях особенностей трудовой деятельности каждой группы работников.

Программа должна обеспечить решение таких задач, как:

- раскрытие общих основ организации и управления защитой людей и важнейших объектов;
- состояние оперативной обстановки в районе расположения важнейших объектов, в т.ч. на объектах с массовым расположением людей;
- вопросы организации содействия правоохранительным органам и другим структурам, непосредственно осуществляющим борьбу с терроризмом в пределах своей компетенции;
- требования к организации технического, инженерного и информационного обеспечения защиты объектов [10].

Один из самых проблемных вопросов организации системы подготовки и переподготовки специалистов – формирование учебной базы. Возложить эту проблему на плечи отдельных предприятий нецелесообразно ввиду резкого увеличения потребных затрат. По мнению Л.В. Багрий-Шахматова и др. ученых следует создать единый Центр антитеррористического обучения специалистов воднотранспортной отрасли, которому поручить разработку учебных планов, программ для проведения занятий, объектовых тренировок, семинаров с руководителями и специалистами, оформление стендов, макетов, наглядных пособий и т.д. Такой Центр может быть основан и успешно функционировать только на базе учебного заведения, в качестве которого готов выступить Одесский национальный морской университет – крупнейшее в Украине учебное заведение по подготовке специалистов морехозяйственного комплекса.

Предлагается также:

- ученым-специалистам морского права ОНМУ, ОНМА, ОНЮА разработать типовые схемы по каждой конкретной службе морского и

речного транспорта, предприятий и учреждений морехозяйственного комплекса для последующего получения соответствующих сертификатов;

- учитывая, что большинство студентов-выпускников Одесского национального морского университета, Одесской национальной морской академии будут должностными лицами на морских и речных судах, сотрудниками учреждений и предприятий морехозяйственного комплекса, в течение двухгодичной военной подготовки по линии военных кафедр этих вузов обеспечить введение спецкурсов по антитеррористической деятельности;

- расширить подготовку всего личного состава, прежде всего из числа офицеров, в области антитеррористической деятельности;

- решить вопрос о возможности присвоения отдельным выпускникам Одесского национального морского университета и Одесской национальной морской академии, прошедшим военную подготовку по спецкурсу антитеррористической деятельности, воинского звания «Лейтенант запаса СБ Украины» [11].

Затронутая в данных положениях проблема выходит далеко за пределы Украины. Вопрос о профессии юриста оказался в центре внимания многих зарубежных стран. Опыт Европы приходится целесообразно изучать, извлекая из него все полезное и применимое в конкретных условиях отечественного морехозяйственного комплекса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Гриншпун Э.И., Иванов В.М., Татар Г.В. Право человека на жизнь. Кишинев: УЛИМ, 1999. – С. 84.*
2. *Ежегодный статистический справочник ООН // Закон и жизнь. 1992. – № 2. – С. 4-10.*
3. *Факты. – 2005. – 6, 12, 14, 15 февраля;*
4. *Вечерние вести. – 2002. – 15 февраля.*
5. *Сегодня. – 2002. – 6, 14, 15 февраля.*
6. *Сегодня. – 2005. – 11 мая, 18 мая.*
7. *Факты. – 2005. – 17 апреля.*
8. *Багрий-Шахматов Л.В. Уголовно-правовые и криминологические проблемы коррупции, теневой экономики и борьбы с ними. – Одесса: Латстар, 2001. – С. 354.*
9. *Скакун О.Ф. Юридическая деонтология. Харьков: Эспада, 2002. С. 37, 84, 87, 88.*
10. *Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования (специальность 021100 – юриспруденция, квалификация – юрист) // Юридическое образование и наука. – 2000. – № 1. – С. 2-3.*

11. Воробьев Ю.Л. Роль высших учебных заведений в предотвращении актов терроризма против судоходства // Вісник Одеського інституту внутрішніх справ. Спец. випуск, 2002. – С. 17.
12. Шахов А.В. Разработка системы подготовки специалистов морехозяйственного комплекса по вопросам предупреждения терроризма // Вісник Одеського інституту внутрішніх справ. Спец. випуск, 2002. – С. 23.
13. Акимов В.В., Самойлов Н.Г., Влас И.И. Проблемы подготовки специалистов высокой классификации по борьбе с терроризмом // Вісник Одеського інституту внутрішніх справ. Спец. Випуск, 2002. – С. 17-21.
14. Рекомендации международной научно-практической конференции «Проблемы теории и практики предупреждения терроризма на водном транспорте и предприятиях морехозяйственного комплекса» // Вісник Одеського інституту внутрішніх справ. Спец. випуск, 2002 (извлечение). – С. 146-147.

Надійшла 16. 05. 05

## СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ В СИСТЕМЕ ЗНАНИЙ ОНМУ

*Дана оценка современного состояния обучения в ОНМУ по специальности «Управление проектами», тематики диссертационных исследований и магистерских работ данного профиля.*

*Ключевые слова: проект, управление, ресурсы, риски, магистерские работы.*

В процессе развития рыночных отношений в Украине особое значение приобретают современные рыночные концепции управления в различных сферах практической деятельности, к числу которых относится управление проектами.

Концепция управления проектами давно испытана в странах с традиционно рыночной экономикой. Ее основу составляет взгляд на проект как на управляемое изменение исходного состояния предприятия, группы предприятий и даже отрасли в целом, связанное с затратами денег и времени [1]. А процесс этих изменений, осуществляемых по заранее разработанным правилам в рамках определенных ресурсных и временных ограничений, – это управление проектами.

Как видно, под приведенное определение попадает огромное количество видов человеческой деятельности от организации загородной прогулки до исследования космического пространства [2]. Можно сказать также, что проекты начали осуществлять с тех пор, как существует человечество, достаточно вспомнить такие исторически знаменитые проекты, как строительство египетских пирамид или Великой китайской стены.

Любой проект проходит ряд этапов от момента, когда проекта еще нет, до момента, когда проекта уже нет. Для того чтобы провести проект через все эти этапы, им нужно как-то управлять, в том числе анализировать как текущее состояние, так и ожидаемые перспективы [3]. Конечно, выдвинуть идею улучшения характера производства или развития своего предприятия можно, основываясь лишь на знаниях его специфики или доверяя собственной интуиции. Можно заказать разработку бизнес-плана инвестиционного проекта консалтинговой фирме, не участвующей в его реализации. Результатом будет пакет документов, в



лучшем случае обосновывающих задуманное мероприятие только с экономической точки зрения, но не указывающих, кто и как его реализует. Гарантированный успех обеспечивает разработка и реализация проекта одной командой проектных менеджеров-профессионалов, способных обосновать и обеспечить успешную реализацию проекта с получением реальной выгоды, достойной самой перспективной идеи.

Сегодня управление проектами имеет статус самостоятельного научно-практического направления со сферой профессиональной деятельности, предметом которой являются проекты во всех возможных видах – от аэрокосмических до экологических.

Управление проектами как отрасль знаний, методов, средств и технологий в последнее время переживает фазу активного развития. Существует большое количество определений понятия «управление проектами». В широком смысле – это профессиональная творческая деятельность, основанная на использовании современных научных знаний, методов, средств, технологий и ориентированная на получение эффективных результатов в созидательной деятельности путем успешного осуществления проектов как целенаправленных изменений. С другой стороны, управление проектами можно определить как искусство управления изменениями при помощи определенных законов, принципов и правил. Искусство неотделимо от личности, и оно формируется в процессе ее творческой, инновационной, практической деятельности.

В рамках направления «Управление проектами» выделяют:

1. Управление интеграцией в проекте – описывает разные действия, необходимые для того, чтобы основной процесс был скоординирован правильно. Это разработка плана проекта, его выполнение и общий контроль за изменениями.

2. Управление содержанием проекта – описывает процессы, необходимые для обеспечения того, чтобы проект включал именно те работы, которые необходимы для успешного его завершения. Это инициализация, планирование содержания, определение содержания, проверка содержания и контроль за изменениями содержания.

3. Управление временем проекта – описывает процессы, необходимые для обеспечения того, чтобы проект завершился вовремя. Это выявление видов работ, задание их последовательности, оценка продолжительности работ, разработка календарного плана, контроль за его исполнением.

4. Управление стоимостью проекта – описывает процессы, необходимые для обеспечения того, чтобы проект не вышел за рамки принятого бюджета. Это планирование ресурсов, оценка стоимости, определение бюджета и контроль стоимости.

5. Управление качеством проекта – описывает процессы, необходимые для обеспечения того, чтобы проект удовлетворял тем

потребностям, для которых он разработан. Это планирование качества, его обеспечение и контроль за ним.

6. Управление трудовыми ресурсами проекта – описывает процессы, необходимые для обеспечения эффективного использования лиц, привлеченных к проекту. Это организационное планирование, комплектование штата, работа с командой.

7. Управление информационными связями в проекте – описывает процессы, необходимые для обеспечения своевременного получения, сбора, расширения, сохранения и конечного размещения проектной информации. Это планирование информационных связей, отчетность о выполнении проекта и административное закрытие проекта.

8. Управление риском в проекте – описывает процессы, связанные с определением видов риска, анализом, развитием реакции на риск. Это идентификация риска, его количественная оценка риска, развитие реакции на риск и контроль за ее выполнением.

9. Управление закупками в проекте – описывает процессы, необходимые для закупки товаров и услуг за пределами организации. Это планирование закупок, выбор источника, администрирование контракта и его закрытие.

Управление проектами, несмотря на свою молодость, породило ряд уникальных методов. Это, в частности, метод сетевого планирования и управления, без которого не обходится практически ни одна разработка, и метод построения так называемых WBS – структур (Work Breakdown Structure), наименование которого можно перевести как метод структуризации проекта [3].

Развитие рыночных отношений, а также их внедрение в хозяйственную деятельность и производство способствовало активному развитию проектного менеджмента в Украине. В 1993 году была организована Украинская Ассоциация Управления Проектами (Ukrainian Project Management Association – UPMA), которая является членом Международной ассоциации управления проектами (International Project Management Association – IPMA), объединяющей 29 стран. Основной деятельностью UPMA является предоставление профессиональных услуг, относящихся к сфере управления проектами, а также подготовка высоко-профессиональных специалистов в этой области [4]. Именно благодаря усилиям UPMA в перечень специальностей высших учебных заведений введена специальность «Управление проектами», а в состав научных специальностей ВАК Украины – специальность «Управление проектами и программами».

В настоящее время осуществляется подготовка специалистов такого профиля в высших учебных заведениях страны, например, в г. Киеве, Донецке, Луганске, Львове, Николаеве, Одессе, Харькове и др. Это позволяет управлять проектами, на какой бы части территории Украины они не реализовывались.

Практическое значение управления проектами кадров (проектных менеджеров) обуславливает заинтересованность широкого круга специалистов, которые связаны с управлением и организацией производства, в подготовке соответствующих кадров (проектных менеджеров).

Проектный менеджер как раз способен «провести» проект в жизнь, обеспечить достойную отдачу от вложения в новое дело денежных средств, интеллектуальных и физических сил исполнителей. Он должен уметь анализировать, оценивать и прогнозировать эффективность работы предприятия; разрабатывать концепцию его реконструкции или расширения; обосновывать варианты инвестирования; составлять бизнес-план с учетом факторов риска; системно планировать проект, разрабатывать его смету и бюджет; подбирать команду проекта и управлять возможными конфликтными ситуациями; организовывать оптимальные процедуры закупок и заключать контакты на снабжение; обеспечивать качество проекта и его информационное обеспечение.

Знания по управлению проектами пересекаются с другими управленческими областями знаний. Они включают общую теорию управления, используют экономико-математическое моделирование, статистику, теорию вероятностей, логистику, компьютерные технологии и, конечно же, как общую методологическую базу, – системный анализ. Эти знания неотъемлемы и от знания прикладных сфер для категорий проектов, которые содержат общие элементы, важные для одних проектов и отсутствующие в других (судостроение и судоремонт, строительство гидротехнических сооружений, гражданское строительство).

С 2002 года в Одесском национальном морском университете (ОНМУ) осуществляется подготовка специалистов с присвоением образовательно-профессионального уровня магистра по специальности 8.000003 «Управление проектами». Подготовка предусматривает обязательное наличие полного высшего образования уровней «специалист» или «магистр» любого профиля и может рассматриваться как универсальная надстройка знаний на любую профессиональную базу. Обучение производится как в очной, так и в заочной формах в течение одного учебного года. Также осуществляется подготовка научно-педагогических кадров высшей квалификации по данной специальности путем обучения в аспирантуре и докторантуре. Успешно функционирует специализированный ученый совет с правом принятия к защите докторских и кандидатских диссертаций.

Таким образом, в ОНМУ действует ступенчатая система подготовки специалистов в сфере управления проектами, которая включает подготовку специалистов с высшим образованием образовательно-квалификационного уровня магистр, а также подготовку научных кадров, в числе которых – практики по управлению проектами, сертифицированные UPMA в соответствии с программами международной сертификации.

Научно-методическая база данной специальности подготовлена на кафедре «Системный анализ и логистика» ОНМУ на основе опыта чтения следующих дисциплин: системный анализ; информационные технологии и системы; исследование операций; проектный анализ; основы менеджмента; стратегический менеджмент; управление риском при разработке и реализации проектов; управление персоналом и пр.

Научно-педагогические кадры кафедры «Системный анализ и логистика» ОНМУ, обеспечивающие подготовку по специальности, представлены следующим составом: 3 доктора наук, профессора; 8 кандидатов наук, доцентов. Кроме того, в ОНМУ трудятся 8 специалистов по проектному менеджменту, сертифицированных по международному стандарту. Из них 5 докторов наук и 3 кандидата наук.

Спрос на качественное образование в этой научно-практической области неуклонно растет, о чем свидетельствует значительное увеличение набора ОНМУ на данную специальность в 2004-2005 учебном году. В настоящее время в стенах нашего университета, который в этом году отметит свой 75-тилетний юбилей, по специальности «Управление проектами» обучается 25 студентов на дневном и заочном отделениях.

Особо следует отметить широкий спектр тематики работ магистров, которая затрагивает как узко специализированные направления, так и универсальные практические области. Так, например, ведется разработка следующих традиционных для морского университета направлений, но с применением современных методов управления проектами:

- проектный анализ перспектив создания нефтеналивного флота Украины;
- разработка проекта развития мощностей контейнерного терминала Ильичевского морского торгового порта;
- проект ввода в эксплуатацию производственных площадей Одесского морского торгового порта;
- совершенствование экспедиторского обслуживания навалочно-насыпных транзитных грузов в Измаильском порту;
- совершенствование технологических линий по перегрузке металлопродукции Севастопольским морским рыбным портом;
- проектное обоснование модернизации производства ГАХК «Черноморский судостроительный завод»;
- проект системы оперативного управления работой подразделения ремонтного цеха Одесского припортового завода.

Учитывая универсальность квалификации проектного менеджера, проектирование осуществляется также в следующих направлениях:

- разработка основных положений проекта регионального развития компании-оператора связи;
- разработка проекта реструктуризации автотранспортного

- предприятия;
- разработка проекта распределительного центра водоизмерительной продукции;
- разработка методики обоснования инвестиционного проекта предприятия;
- обоснование проекта реконструкции торгово-складского комплекса;
- проект реструктуризации торгового предприятия путем диверсификации деятельности;
- обоснование направлений повышения эффективности работы предприятия на рынке;
- проект разработки новой торговой марки;
- разработка проекта создания консалтинговой фирмы.

Опыт, высокая профессиональная квалификация и мастерство сертифицированных специалистов ОНМУ позволяют им руководить диссертационными исследованиями в области управления проектами, которые в настоящее время охватывают следующие направления:

- разработка системы мониторинга ресурсного обеспечения проекта развития судоходной компании;
- разработка системы моделей анализа риска проекта развития транспортного предприятия;
- обоснование принципов формирования и средств реализации стратегий в морском бизнесе;
- методические основы управления проектами организации смешанных перевозок.

Украинской ассоциацией управления проектами поставлена задача сформировать критическую массу профессиональных проектных менеджеров на уровне 20000-25000 профессионалов, что, безусловно, оправдано современной потребностью рынка в специалистах такого уровня [4]. Многолетний опыт подготовки высококлассных специалистов различных специальностей, квалифицированный профессорско-преподавательский состав, современная научно-методическая и лабораторная база явились основанием сформированного в Одесском национальном морском университете мощного потенциала для дальнейшего развития специальности управления проектами как в научной, так и в образовательной сферах, так и в сфере консультационных услуг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Лапкина И.А. Управление проектами – базовый инструмент развития морской индустрии // Судоходство. – № 11-12. – 2002. – С.21-23.*

2. Бушуев С.Д., Морозов В.В. *Управление закупками в проектах: В 2 т. / Украинская ассоциация управления проектами, УкРИНТЭИ. – К.: УкРИНТЭИ, 1999. – Т.1 – 188 с.; Т.2 – 196 с.*
3. Воевудский Е.Н., Лапкина И.А., Морозова И.В. *Современные направления научных исследований проблем управления развитием транспортных систем // Методы та засоби розвитку транспортних систем / Зб. наук. праць. – Одеса: ОДМУ, 2001. – Вип.1. – С. 3-18.*
4. *Официальный сайт Украинской ассоциации управления проектами «УКРНЕТ» – [www.црта.kiev.ua](http://www.црта.kiev.ua)*

Надійшла 20. 05. 05

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДООХРАННЫМИ ПРОЕКТАМИ

*Определяется целевая функция управления природоохранными проектами на макроуровне. Введен критерий оптимизации управления природоохранными проектами.*

*Ключевые слова: управление проектами, целевая функция, природоохранный проект, критерий оптимизации, экологический риск.*

В сложной системе «человек – машина – среда обитания» реализуются существенные воздействия техногенных объектов на состояние окружающей среды и, соответственно, на здоровье населения, а также людей, занятых в производственных процессах. При современных возрастающих требованиях к качеству среды обитания и множественности факторов воздействия на нее важное значение для практики и выработки эффективной стратегии управления устойчивым развитием региональными эколого-экономическими комплексами приобретают методы управления природоохранными проектами, которые предполагают по отношению к преобразуемой экологической системе и ее частям решение управленческих задач трех уровней.

1. Макроуровень (метауправление) включает в себя решение проблем самоорганизации системы управления, направленное на формализацию цели проекта, стратегии развития системы управления в целом, определение ее структуры, функций подсистем, кадровой политики высшего менеджмента и т.п. Цели проекта формируются вне объекта, но зависят от его свойств.

2. Технологическое управление характеризуется эффективностью взаимодействия субъекта и объекта управления, выполнением общих функций управления по отношению к реально поставленным целям.

3. Управление деятельностью конкретных подсистем управления для достижения целей, управление конкретными процессами, которые относятся к более низким уровням дерева целей.

Целеполагание, относящееся к уровню метауправления, формирует стратегию, методы и алгоритмы последующих уровней. При этом должны быть определены: цель проекта, целевая функция и критерий эффективного управления проектом.

Цель природоохранного проекта: восстановление экологического равновесия, уменьшение негативного воздействия на природную среду и население. Цель отображает идеологию проекта и представляет собой вербальную постановку задачи управления.

Целевая функция – уровень безопасности преобразуемой территории, зависящий от стратегии управления проектом

$$B = \langle S, T, R, A, TE, G, I \rangle,$$

где $S$	–	множество состояний;
$T$	–	множество операций;
$R$	–	множество реакций объекта;
$A = QUF$	–	множество условий;
$Q$	–	множество входных внешних установок;
$F$	–	множество реализаций процессов;
$TE$	–	структура управления;
$G: \begin{cases} S \rightarrow T \\ S \times A \rightarrow T \end{cases}$	–	операционная модель управления;
$I: \begin{cases} S \rightarrow R \\ S \times A \rightarrow R \end{cases}$	–	информационная модель управления.

Критерий эффективного управления проектом – достижение области приемлемого уровня экологического риска, можно представить в форме ограничения:  $R \leq p$ , где  $p$  – установленный для данной территории уровень приемлемого риска.

Как известно, экологический риск определяется как вероятность проявления опасности при заданных условиях природной среды и может выражаться в процентах или в случаях на 10000 жителей. Создаваемый риск уменьшается при выполнении природоохранных проектов (кривая 1 на рис. 1).

Линия 2 на рис. 1 отображает зависимость общественно-необходимых издержек на ликвидацию последствий от проявления риска: чем больше риск, тем больше издержки. Суммарная кривая 3 получается путем сложения затрат 1 и 2.

Положение кривой 1 отражает существующую функциональную связь: состояние объекта (выбросы) – окружающая среда (уровень загрязнения) – человек (доза) – риск (эффект последствий). А положение линии 2 зависит от социально-экономических условий и ограничений, в которых функционирует данный объект. Увеличивая финансовую ответственность производителя за выбросы, общество тем самым смещает оптимум суммарных издержек в сторону меньшего риска. Это первая



стратегия управления риском с помощью административных воздействий. При этом смещается положение экстремума, но не уменьшается уровень риска, который зависит только от величины вложенных ресурсов в экологический проект.

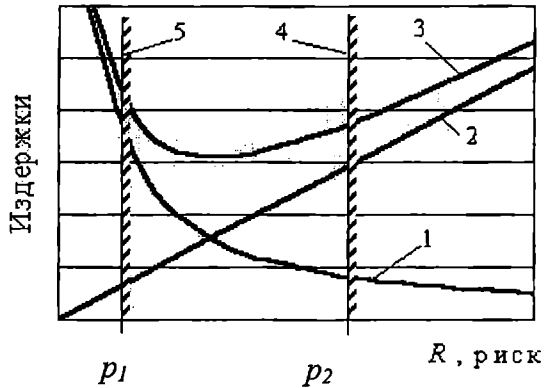


Рис. 1. Зависимость «затраты – риск»

Вторая стратегия заключается в осуществлении природоохранных проектов для достижения состояния, удовлетворяющего критерию оптимизации. При этом, как следует из рис.1, возможны два состояния системы в зависимости от положения экстремума относительно критерия оптимизации управления проектом. Для первого варианта, когда экстремум находится в области больших значений экологического риска, необходимо осуществлять такое управление проектом, чтобы выполнялось условие  $R \leq p_1$ . То есть в отличие от традиционных проектов [1], в которых требуется, как правило, минимизировать издержки, в экологических проектах и программах необходимо достичь заданного качества окружающей среды, которое и является продуктом проекта. Это, однако, не исключает возможности решения задач и минимизации издержек, которая должна решаться, если экстремум суммарных издержек расположен слева от критериальных ограничений  $R_{ext} \leq p_2$ . Поэтому в общем случае критерий оптимизации управления природоохранными проектами определяется из условий

$$R_{opt} = \begin{cases} p_i, & \text{если } R_{ext} \geq p_i \\ R_{ext}, & \text{если } R_{ext} \leq p_i \end{cases}$$

где  $R_{ext}$  – значение экологического риска в точке экстремума, соответствующего минимуму издержек проекта;

$p_i$  – установленный приемлемый уровень риска.

Это и есть корректная постановка задачи управления экологическими проектами. Такой подход позволяет на научной основе реализовать на практике требования известного принципа ALARA: уровень риска должен быть настолько низким, насколько это возможно по экономическим и социальным условиям.

В Украине и странах СНГ оценки экологической безопасности окружающей среды основаны на нормативном подходе, устанавливающем пороги воздействия и предельно допустимые уровни воздействия. Фактически такой подход не позволяет оценить существующий риск, а вместо его оценки используется утверждение: ниже допустимого уровня – хорошо; выше допустимого уровня – плохо. Поэтому определяющим условием успешного осуществления природоохранных проектов и программ является разработка теоретических основ определения величины экологического риска.

Одним из основных законов восприятия человеком факторов среды обитания является психофизиологический закон Вебера-Фехнера: ощущение от приращения воздействия пропорционально относительному приращению раздражителя

$$\frac{dF}{F} = k \cdot dL,$$

где  $F$  – значение фактора-раздражителя;

$L$  – ощущение или уровень восприятия, соответствующий уровню экологического риска;

$k$  – коэффициент пропорциональности.

Интегрируя приведенную зависимость, получим

$$\int_{F_0}^F \frac{dF}{F} = k \int_{L_0}^L dL; L = L_0 + \frac{1}{k} \ln \frac{F}{F_0},$$

где  $F_0$  – пороговое значение фактора, при котором уровень риска является приемлемым ( $L_0 = 10^{-6}$ ).

Факторами, определяющими уровень потенциальной опасности среды обитания, могут быть: химические загрязнения, акустические и электромагнитные колебания, ионизирующие излучения. Ощущения уровня указанных воздействий воспринимаются по зрительным, вкусовым, обонятельным, тактильным и слуховым каналам. Вместе с тем

малые уровни радиационного и электромагнитного излучений могут не давать определенной реакции организма в виде ощущений, хотя риск их негативного воздействия будет отличен от нулевого значения.

В таблице приведены формулы для расчета величины потенциального риска при воздействии факторов разной природы. Точкой отсчета риска является величина приемлемого риска, равная  $10^{-6}$ , создаваемая вредным фактором при уровне воздействия, соответствующего допустимому нормативу. В качестве такого норматива, например, при химическом загрязнении окружающей среды, принимается величина предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе населенных мест.

*Таблица 1*

*Расчетные зависимости для определения величины экологического риска*

Параметры качества среды	Единицы измерения	Норматив приемлемого уровня	Чрезмерный уровень	Формула для расчета риска
Химические вещества, $C$ - концентрация	мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>м.р.</sub> , зависит от вещества	ЛК <sub>50</sub>	$r = 10^{-6} + b \cdot \lg \frac{C}{ПДК}$
Шум, $I$ - интенсивность звука, Вт/м <sup>2</sup>	дБА	ПДУ	130 дБА	$r = 10^{-6} + 0,038 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$
Ионизирующие излучения, $D$ - доза излучения, мзв/год	мзв*год <sup>-1</sup>	лимит дозы ПДУ=20	>50	$r = 10^{-6} + 0,358 \cdot \lg \frac{D_E}{ПДУ}$
Электромагнитные колебания, $E$ - электромагнитная энергия	В/м	ПДЭЭ, зависит от частоты	>50	$r = 10^{-6} + k \cdot \lg \frac{E}{ПДЭЭ}$

Коэффициенты  $b$  определяются для каждого действующего вещества, а коэффициенты  $k$  для соответствующего интервала частот электромагнитных колебаний. Если значение фактора меньше приемлемого нормативного значения, то величина риска рассчитывается из предположения линейного изменения величины риска от значения фактора

$$r_i = \alpha \cdot F,$$

где  $\alpha = 10^{-6}/ПДУ$ ;  $F$  - величина фактора,  $F < ПДУ$ .

Принцип нормирования электромагнитных излучений зависит от частоты излучения. Согласно ГОСТ 12.1.006-84 в диапазоне частот 60 кГц ...300 МГц нормируются напряженность электрической и магнитной составляющей (табл. 2), а в диапазоне 300 МГц...300 ГГц – плотность потока энергии (ППЭ), которая рассчитывается по формуле

$$ППЭ_{пду} = ЭН_{пду} / t$$

где ППЭ<sub>пду</sub> – предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/м<sup>2</sup>;

ЭН<sub>пду</sub> – нормативная энергетическая нагрузки равна 2 (Вт\*ч)/м<sup>2</sup>, в общем случае, и 20 (Вт\*ч) / м<sup>2</sup> при облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц;

t – время пребывания в зоне облучения, ч.

Максимальное значение ППЭ<sub>пду</sub> не должно превышать 10 Вт/м<sup>2</sup>.

*Таблица 2*

*Предельно допустимые напряженности электрических и магнитных полей*

Частота ЭМИ	Допустимая напряженность поля	
	электрического E, В/м	магнитного H, А/м
60 кГц...1,5 МГц	50	5
1,5 МГц...3,0 МГц	50	-
3,0 МГц...30 МГц	20	-
30 МГц...50 МГц	10	0,3
50 МГц...300 МГц	5	-

В связи с развитием радиовещания, телевидения, радиосвязи, сотовой телефонной связи, радиолокации расширяется возможность воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ), которое зависит от мощности передатчика, конструкции и установки антенн, рельефа местности. Предельно допустимые уровни параметров ЭМИ для населенных мест представлены в табл. 3

Расчет суммарного риска при воздействии факторов различной природы выполняется в следующей последовательности [2]. Вначале рассчитываются значения величины риска для каждого экологического

фактора  $r_i$ , а затем вычисляется величина суммарного риска

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_i),$$

где  $n$  – количество факторов.

*Таблица 3*

*Предельно допустимая электромагнитная энергия на территории жилой застройки*

Диапазон радиоволн	Диапазон частот	Предельно допустимая электромагнитная энергия
Длинные	30...3000 кГц (10...1 км)	20 В/м
Средние	0,3...3 МГц (1...0,1 км)	10 В/м
Короткие	3...30 МГц (100...10 м)	4 В/м
Ультракороткие	30...300 МГц (10...1 м)	2 В/м
Микроволны	300 МГц...3000 ГГц (1м...1 мм)	5 мкВт/см <sup>2</sup>

Единый подход к расчету риска весьма удобен: нет необходимости вводить множество шкал для характеристики качества среды. Использование оценки в виде отношения двух величин эквивалентно переходу от интенсивностей к экстенсивной характеристике воздействия – дозе, которая, как известно, является интегральной величиной и определяется с учетом времени воздействия.

Цель управления проектами – стремление к достижению максимально возможного уровня благосостояния общества. Однако риск для населения и окружающей среды не должен превышать предельно-допустимых уровней (ограничения 4 и 5 на рис. 1). Поэтому тактика управления проектами должна строиться исходя из условий уменьшения риска, что ведет к увеличению среднестатистической ожидаемой продолжительности предстоящей жизни в обществе (СОПДЖ).

При таком подходе следует выразить риск для персонала предприятия в виде сокращения СОПДЖ, а выгоду в виде продления СОПДЖ.

Сопоставление этих показателей позволит оценить величину и характер изменения уровня безопасности от внедрения предлагаемых технологий или видов деятельности, а также природоохранных проектов.

### Литература

1. *Словник-довідник з питань управління проектами / С.Д. Бушуєв Українська асоціація управління проектами. – К.: Видавничий дім «Деловая Украина», 2001. – 640 с.*
2. *Руденко С.В.: Определение экологического риска при совместном воздействии разнородных факторов / С.В. Руденко, Е.В. Рышя, В.Д. Гогунский // Моделир. в прикл. научн. исследованиях: Материалы 12 семинара. – Одесса: ОНПУ, 2005. – С. 29-30.*

Надійшла 22. 07. 05

## РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МОРСКОГО ПОРТА

*В статье рассматриваются методические рекомендации по разработке стратегии экономического развития морского порта для проведения жизнеспособных и хорошо рассчитанных преобразований в портовой сфере. Эти рекомендации связаны с внешним и внутренним анализом среды морского порта, разработкой миссии и целей морского порта, разработкой базовых и функциональных стратегий, формированием системы стратегического планирования.*

*Ключевые слова:* морской порт, международная торговля, прогнозирование, стратегический анализ, стратегическое планирование, стратегия.

Современные тенденции развития мировой экономики характеризуются постоянным расширением хозяйственных связей и международной экономической кооперации. Поэтому приоритетным направлением в политике развитых стран стали интеграционные процессы, которые предусматривают создание условий для свободного перемещения товаров, услуг, капиталов, рабочей силы. Это обуславливает постоянное возрастание национальных и транснациональных потоков грузов.

Выгодное географическое положение Украины на пути основных грузовых потоков между Европой и Азией, наличие незамерзающих черноморских портов, развитые сети железных дорог, автомобильных дорог, трубопроводов в широтных и меридианальных направлениях создают все необходимые предпосылки для увеличения объемов перевалки международных грузов через порты Украины.

В связи с предстоящим присоединением Украины к Всемирной торговой организации обеспечение свободного движения международных грузов и их рост будут оказывать содействие повышению эффективности внешней торговли, равноправному вхождению Украины в систему международного разделения труда, созданию стабильного источника валютных поступлений в бюджет. На современном этапе рост объемов международных перевозок через порты Украины может стать важным фактором стабилизации и структурной перестройки ее экономики. При этом следует учитывать, что транзит как вид экспорта транспортных услуг является одним из наиболее эффективных, а инвестиции в эту сферу транспортной деятельности дают быструю отдачу [1].

Как свидетельствует международная практика, эффективное функционирование портовой системы зависит от национального законодательства, которое отвечает общепринятым международным нормам, его стабильности, оптимальной тарифно-ценовой и налоговой политики в этой сфере, развитой транспортной инфраструктуры, использования прогрессивных, построенных на логистических принципах, технологий перевозок и переработки грузов, современных систем организации документооборота, расчетов, информационного обеспечения.

Все это говорит об актуальности задач экономического развития морских портов. В связи с этим цель статьи состоит в том, чтобы рассмотреть теоретические положения разработки стратегии экономического развития морского порта.

Направление исследований теоретических основ разработки стратегии экономического развития морского порта раскрывается через:

- анализ среды морского порта, который связан с внешним анализом (анализом состояния международной торговли и анализом сферы портовых услуг, анализом возможностей и угроз внешней среды) и внутренним анализом (анализом экономического потенциала порта, его сильных и слабых сторон);
- формирование стратегии экономического развития морского порта, которая связана с целями и задачами развития морского порта, прогнозной оценкой грузопотоков морского порта, прогнозной оценкой ресурсов морского порта, базовыми и функциональными стратегиями развития морского порта с учетом целей и прогнозов спроса и предложения порта;
- реализацию стратегии экономического развития морского порта, которая связана с организационными и экономическими механизмами стратегического управления экономическим развитием морского порта.

В основе анализа мировых экономических связей лежит исследование внешней торговли отдельных стран или регионов, их роли в мировой торговле (показатели оборота внешней торговли на душу населения, экспортные квоты, структурные отличия внешней торговли). Это исследование позволяет определить значение внешней торговли для экономики страны, ее влияние на развитие и размещение хозяйства. Особенно важен анализ направлений внешней торговли или предоставления услуг с главными зарубежными партнерами, структурных отличий экспортных и импортных потоков.

Динамика изменения товарных потоков характеризуется следующими среднегодовыми темпами прироста за 1990-2003 годы: сельскохозяйственные товары – 3,4%, минеральные продукты – 5,2%, промышленные товары – 8,1% .



На основании изложенного возникает задача выявления тенденций развития мировой торговли в среднесрочной перспективе, определение того насколько эти тенденции будут касаться Украины. Для решения этой задачи привлекаются экономико-статистические модели. Среди множества этих моделей выделяются гравитационные и балансовые модели [2].

Научно-технический прогресс вносит существенные изменения в географическое разделение труда и особенно в характер международной торговли, вызывая наряду со структурными сдвигами в товарных потоках обострение проблем сбыта и транспортного обеспечения.

Характерным результатом НТП на мировых транспортных рынках являются постоянный рост конкурентоспособности различных видов транспорта, усиление потенциальной возможности их взаимозаменяемости, развитие смешанных (интермодальных) сообщений. Наиболее острой конкуренции подвержены внутриконтинентальные виды транспорта, особенно тогда, когда они обеспечивают доставку грузов до морских портов. Транспортные системы по своему техническому уровню, масштабам, организационным формам и качеству освоения транспортных потоков адаптируются к новым требованиям клиентуры.

Все эти факторы ведут к сдвигам в структуре перевозок, к совершенствованию международных транспортных коммуникаций, ускорению оборачиваемости транспортных средств, интенсивному развитию смешанных сообщений, специализации транспортных средств и услуг, образованию крупных специализированных транспортно-распределительных центров международного значения.

Украина обладает мощным портовым потенциалом. На побережье Черного и Азовского морей находится 20 морских торговых портов. Для создания условий эффективного развития и управления государственными морскими портами создано Государственное объединение «Укрморпорт».

Пропускная возможность портов составляет около 147 млн. тонн, в том числе по наливным 42 млн. тонн, по сухогрузам около 105 млн. тонн.

Подъем экономики Украины в последние годы способствовал дальнейшему росту грузооборота портов. Сегодня морские порты Украины являются одними из наиболее благополучных в экономическом отношении предприятий страны. Вместе с тем морские порты имеют значительный резерв мощностей. Рост объемов внешней торговли Украины пока ограничен.

Свои надежды морские торговые порты возлагают на рост транзита, чему способствует очень выгодное расположение Украины, прежде всего для грузопотоков из таких стран, как Россия, Белоруссия, Казахстан.

В настоящее время Украина оказалась в принципиально новом положении в части формирования концепции портовой политики, а также реализации и защиты своих интересов в мировом экономическом пространстве.

Целью концепции является комплексное решение проблем повышения уровня конкурентоспособности морских портов в интересах экономического развития и обеспечения безопасности страны. Основные направления концепции предусматривают:

- повышение уровня научно-технического развития и качества всех видов работ и услуг морских портов;
- совершенствование системы управления морскими портами для обеспечения эффективного функционирования и наиболее полного удовлетворения потребностей народного хозяйства и клиентуры в соответствующих видах работ и услуг;
- повышение уровня экономической эффективности всех видов работ и услуг морских портов;
- повышение уровня социального обеспечения в морских портах.

Для выявления тенденции роста перевалки грузов по номенклатуре через порты Украины требуется рассмотреть динамику межрегиональной торговли Центральной / Восточной Европы, Балтии и СНГ.

Взаимосвязь объема перевалки грузов через порты Украины и объема торговли в стоимостной форме всех регионов мира с Центральной и Восточной Европой, Балтией и СНГ может быть представлена уравнением регрессии  $Q_t = a_0 + a_1 * V_t$ , где  $Q_t$  – объем перевалки грузов через порты Украины по годам  $t$ ,  $V_t$  – объем торговли в стоимостной форме регионов мира с Центральной и Восточной Европой, Балтией и СНГ по годам  $t$ .

Иерархическая система регрессионных уравнений прогноза грузопотоков по номенклатуре грузов в целом и через отдельные морские порты представлена в таблице 1.

Проведенные расчеты показывают, что прирост объема наливных грузов к 2012 году составит 72,8%,. Это говорит о высоких темпах роста этих грузопотоков через порты Украины. Прирост объема навалочных грузов к 2012 году составит 83,5%. Прирост объема генеральных грузов к 2012 году составит около 17,5%.

Из внешнего анализа можно выделить следующие возможности и угрозы для украинских портов на рынке стивидорных услуг.

*Возможности* связаны с ростом мировой и региональной экономики, ростом объемов грузопотоков, формированием региональных группировок, возникновением глобальных систем транспорта и развитием транспортных коридоров, расширением международного сотрудничества в различных формах; расширением международных потоков капитала в

форме прямых инвестиций в порты, развитием инновационных технологий и смешанных (интермодальных) сообщений, развитием системы менеджмента, консультирования и обучения, развитием рыночных преобразований в Украине и др.

*Таблица 1*

*Иерархическая система регрессионных уравнений прогноза грузопотоков через морские порты Украины*

<b>Расчетные показатели</b>	<b>Формулы</b>
<b>Всего, в т.ч.</b>	$Q(t) = a_0 + a_1 * V(t)$
Наливные грузы	$Q_{нал.} = a_{0нал.} + a_{1нал.} Q(t)$
Навалочные грузы	$Q_{нав.} = a_{0нав.} + a_{1нав.} Q(t)$
Генеральные грузы	$Q_{ген.} = a_{0ген.} + a_{1ген.} Q(t)$
<b>Всего по порту (i)</b>	$Q_i(t) = a_{0i} + a_{1i} Q(t)$

*Угрозы* связаны с неэффективной транспортной политикой государства, сокращением транзитных грузов, отставанием в развитии материально-технической базы всех видов транспорта, нестабильностью и несовершенством экономического законодательства, сохранением устаревших методов управления внутренними, внешнеторговыми и транзитными перевозками, несовершенством правовой базы, регламентирующей взаимоотношения участников международных и внутренних перевозок, изменением потребностей и требований грузоотправителей (усиливающаяся дифференциация отправок, стремление к повышению эффективности перевозок, повышение уровня сохранности и скорости переработки грузов и др.), изменением в структуре производства и экономических связей, ростом числа приобретений и слияний предприятий, ростом конкуренции между портами и различными видами транспорта, замедлением рыночных преобразований, государственной монополизацией и регулированием, отсутствием свободной и честной конкуренции, отставанием интеграции Украины в европейскую и мировую транспортные системы и, как следствие, переориентация транзитных грузопотоков через другие государства.

*Внутренний (управленческий) анализ* – это процесс комплексного анализа внутренних ресурсов и возможностей предприятия, направленный на оценку его текущего состояния, его сильных и слабых сторон, выявление стратегических проблем.

Для проведения внутреннего анализа составляется общая схема системы анализа, устанавливаются ее главные компоненты, взаимосвязи, формулируются функции подсистем анализа, показываются взаимосвязи и взаимозависимости всех элементов.

Знание факторов производства, их взаимосвязей, умение определить их влияние на отдельные показатели производственной деятельности позволяют воздействовать на уровень показателей посредством управления факторами.

Отметим, что внутренняя среда оказывает постоянное и самое непосредственное воздействие на функционирование порта. Выделяются следующие срезы внутренней среды: организационный, кадровый, производственный, финансовый и др.

В результате проведенного анализа выявлены сильные и слабые стороны морского порта, на примере порта Одесса.

*Сильные стороны* определяются компетентностью и квалификацией в менеджменте, лидерством на рынке стивидорных работ, значительными производственными фондами, стремлением к инновационным технологиям и новым инвестициям, хорошими финансовыми ресурсами, экономией от масштаба, подходящими технологиями, низкими издержками и др.

*Слабые стороны* определяются устаревшими организационными структурами управления, слабо развитыми рыночными механизмами во взаимодействии различных предприятий порта, слабым учетом интересов заинтересованных лиц (грузоотправителей, акционеров, государства, профсоюзов, общественности, кредиторов, поставщиков, посредников и др.), уязвимостью конкурентному давлению, отставанием в области стратегических, маркетинговых и др. исследований, высокой долей устаревшего оборудования, устаревших технологий, слабыми информационными технологиями, наличием ситуационных и социокультурных проблем, слабым уровнем государственной поддержки и др.

На основании внешнего и внутреннего анализа формулируются цели развития морского порта. Генеральная цель развития морского порта – обеспечить развитие, упрочение и функционирование морского торгового порта для удовлетворения потребностей отечественной и зарубежной клиентуры в переработке грузов в данном географическом регионе. Генеральная цель развития и функционирования порта будет реализовываться путем осуществления целенаправленной деятельности в следующих областях: научно-технической, основной производственной, финансово-экономической, социальной, безопасности мореходства и предотвращения загрязнения окружающей среды.

Оценка осуществимости целей связана с оценкой ресурсов морского порта. Для этого разрабатывается прогноз грузопотоков через порт и прогноз его материальных ресурсов. Для детального расчета прогноза грузопотоков через морской торговый порт формулируется иерархическая система регрессионных уравнений (табл.2).

Прогнозная оценка ресурсов морского порта рассматривается для реализации миссии и основных целей порта. Анализ соответствия ресур-

сов порта целям его развития рассматривается с помощью двух сценариев экономического развития порта: эволюционного роста и концентрированного роста.

Таблица 2

*Иерархическая система регрессионных уравнений прогноза грузопотоков через морские порты, тыс. тонн*

Расчетные показатели	Формулы
Всего, в т.ч.	$Q(t) = a_0 + a_1 \cdot V(t)$
Порт (i)	
Всего, в т.ч.	$Q_i(t) = a_{0i} + a_{1i} \cdot Q(t)$
Наливные грузы	$Q_{нал.i}(t) = a_{0i} + a_{1i} \cdot Q_i(t)$
Навалочные грузы	$Q_{нав.i}(t) = b_{0i} + b_{1i} \cdot Q_i(t)$
Генеральные грузы	$Q_{ген.i}(t) = c_{0i} + c_{1i} \cdot Q_i(t)$
Стивидорные компании порта (j)	$Q_{ij}(t) = a_{0ij} + a_{1ij} \cdot Q_i(t)$

Процесс выбора стратегии включает в себя следующие основные шаги:

- уяснение текущей стратегии;
- проведение анализа портфеля бизнесов;
- выбор стратегии порта и оценка выбранной стратегии.

При анализе портфеля грузопотоков требуется выполнить [3]: классификацию конкурентной позиции портов по объемам рынка грузопотоков; классификацию привлекательности грузопотоков для украинских портов по объемам дохода; составить матрицу позиционирования грузопотоков (рис.1 – на примере порта Одесса).

Основной вывод, который следует сделать, состоит в том, что сбалансированный портфель должен иметь в своем составе в основном бизнесы, находящиеся в квадратах «Успех», немного бизнесов, находящихся в квадрате «Вопросительный знак», и строго определенное число бизнесов, находящихся в квадрате «Доходный бизнес». Их количество должно быть достаточным для того, чтобы обеспечивать поддержание «успешных» бизнесов и «вопросительных знаков».

Выбор стратегий порта осуществляется на основе анализа ключевых факторов, характеризующих состояние порта, с учетом результатов анализа портфеля бизнесов, а также характера и сущности реализуемых стратегий.

Для выбора базовых стратегий порта используется матрица выбора стратегии в зависимости от динамики роста рынка на услуги (эквива-

лент росту грузопотока) и конкурентной позиции порта, которую предложили Томпсон и Стрикланд (рис.2) [4].

		Конкурентная позиция		
		Хорошая	Средняя	Плохая
		<i>Успех</i>	<i>Успех</i>	<i>Вопрос?</i>
<b>Привлекательность грузопотока</b>	Высокая	Нефть и нефтепродукты Сахар Хлебные Черные металлы Контейнеры		
		<i>Успех</i>	<i>Средний бизнес</i>	<i>Поражение</i>
	Средняя		Химические и прочие наливные Руда	Химические грузы и удобрения
	Низкая	<i>Доходный бизнес</i>	<i>Поражение</i>	<i>Поражение</i>

*Рис. 1. Матрица «Привлекательность грузопотока – конкурентная позиция»*

Для развития бизнеса по грузопотокам, входящим в квадрат «Успех» (нефть и нефтепродукты, сахар, хлебные, черные металлы, контейнеры), по которым наблюдается быстрый рост рынка и сильная конкурентная позиция порта рекомендуются следующие стратегии:

1. Стратегия концентрированного роста в виде стратегии усиления позиции на рынке, при которой порт делает все, чтобы с данной услугой на данном рынке завоевать лучшие позиции.
2. Стратегии интегрированного роста, включая стратегии обратной вертикальной интеграции и стратегии вперед идущей вертикальной интеграции.
3. Стратегии диверсифицированного роста, основной из которых является стратегия центрированной диверсификации.



*Рис. 2. Матрица Томпсона и Стрикленда*

Для развития бизнеса по грузопотоку, входящим в квадрат «Средний бизнес» (химические и прочие наливные, руда), по которым наблюдается средний рост рынка и средняя конкурентная позиция порта рекомендуются следующие стратегии:

1. Пересмотр стратегии концентрированного роста, что связано с отказом от стратегии усиления позиции на рынке.
2. Стратегия горизонтальной интеграции с отраслевыми портами, стремление получить своих конкурентов в собственность или под контроль.
3. Стратегия сокращения расходов, которая связана со снижением производственных затрат, повышением производительности, сокращением найма рабочих и др.

В заключение следует отметить, что выбранные стратегии соответствуют целям порта с учетом состояния и требований окружения, а также потенциалу и возможностям порта. Для обеспечения реализации

выбранных стратегий экономического развития порта служат функциональные стратегии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Основы организации транспортного обеспечения внешне-торговых связей Украины / Цветов Ю.М., Един А.О., Макаренко М.В. и др. / Под ред. Ю.М. Цветов. – К.: ОАО «ИКТП-Центр», 2000. – 582 с.*
2. *Степанов О.М. Тенденції світових торгових перевезень // Економіка і прогнозування. – 2002. – №3. – С. 91 - 101*
3. *Виханский О.С. Стратегическое управление. – М.: Гардарики, 1999. - 296 с.*
4. *Томпсон А., Стрикленд А. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2002. – 928 с.*

Надійшла 17. 06. 05



## ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕНОВОГО ПРЕИМУЩЕСТВА МОРСКОГО ТОРГОВОГО ПОРТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*В статье исследован процесс управления ценами в сфере портовой деятельности. Рассмотрены особенности ценового преимущества морских портов. Обоснованы элементы механизма формирования ценового преимущества морских торговых портов.*

*Ключевые слова:* морские торговые порты, портовая деятельность, ценовое преимущество, ценовая архитектура.

Важной задачей любого морского торгового порта в современных условиях является обеспечение его конкурентоспособности. Для этого необходимо исследовать конкурентные позиции и формировать конкурентное преимущество порта. Среди конкурентных преимуществ наиболее важным является ценовое. Однако его формирование затруднено в отношении украинских портов, для которых характерна высокая степень государственного вмешательства в вопросы формирования и реализации ценовых решений. Государство вмешивается в процесс ценообразования, как в плане критериев и порядка принятия тарифов, так и определения уровня платы. Однако рыночные условия требуют изменения подходов к формированию цен за счет более гибкого использования механизмов ценового преимущества.

Вопросы формирования конкурентных преимуществ исследовали Г.Л.Азоев, М. Портер, Р.А.Фатхутдинов, Г. Хамел, К. Прахланд, Дж. О'Шонесси, М.В. Марн, С.И. Дугина, А.Н. Цацулин и другие [1; 2; 5; 7; 8]. В последнее время ученые активно исследуют вопросы обеспечения конкурентоспособности транспортных предприятий, в том числе и портов – В.И. Чекаловец, А.Л.Колодин, Е.В. Меркт и другие [10]. Названные авторы рассматривают различные аспекты формирования конкурентной стратегии портов.

В то же время порты и стивидорные компании сталкиваются со специфическими проявлениями общеэкономических законов. В этой области ценообразования существуют только отдельные исследования. Вопросы ценообразования широко обсуждаются зарубежными специалистами и учеными, публикации которых [11-12], позволяют оценить существующие проблемы и изучить мировой опыт по данному

вопросу с целью его адаптации к условиям деятельности украинских портов.

Целью данной статьи является обоснование отдельных элементов механизма формирования ценового преимущества в сфере деятельности морских торговых портов.

Несмотря на новые тенденции, фактор ценообразования остается важным, а часто и определяющим в процессе выбора предприятия, оказывающего различные портовые услуги. Формирование цены на портовую продукцию – одно из важнейших решений, которые принимаются в сфере портовой деятельности.

Система портового ценообразования на практике включает разнообразные элементы. Они могут быть разделены на портовые сборы, которые являются платой за использование портовых сооружений в целом, и специфические портовые тарифы, которые являются платой судовладельцев, грузовладельцев или других клиентов за определенные услуги. Разнообразие цен оказывает существенное влияние на формирование системы управления ценами в портах.

В условиях портовой деятельности механизм управления ценовым преимуществом проявляется через динамику цены, которая формируется под влиянием стратегического и тактического факторов. Первый является фактором долгосрочного действия. В его основу положены особенности формирования рыночной цены с учетом спроса на работы и услуги порта. Тактический фактор имеет краткосрочное действие и его влияние на цену тесно связано с динамикой конъюнктурных изменений на рынке портовых услуг. Однако даже те ценовые решения, которые на первый взгляд кажутся чисто тактическими, часто имеют стратегические последствия, так как могут оказывать влияние на другие портовые цены и цены конкурентов.

Для поддержания жизнеспособного развития эффективная система портового ценообразования должна способствовать достижению главных целей:

- возмещение затрат по производству портовой продукции;
- формирование финансовых ресурсов и резервов;
- эффективное использование факторов производства порта;
- справедливое распределение выгод между клиентами в рамках экономической системы.

Портовые цены могут способствовать достижению этих целей тремя способами [4,12]:

1) регулируя совокупный спрос и общественную доходность по каждому виду портовой продукции; это позволяет определить, гарантирует ли эффективный спрос сохранение, расширение или сокращение услуг порта и предприятий сервисного обслуживания;

2) поощряя использование избыточных мощностей и нормируя мощности, когда существует избыточный спрос;

3) информационно обеспечивая координацию долгосрочных и краткосрочных управленческих решений так, чтобы полные затраты портовой системы были минимизированы, а прибыль максимизирована.

Главное ограничение при формировании ценового преимущества порта – необходимость возмещения через доходы определенной части затрат. Это ограничение может применяться на уровне порта в целом или на уровне конкретных портовых сооружений и услуг. Затраты могут быть определены с помощью различных методов. В условиях жесткой конкуренции часто невозможно возместить всю сумму затрат, например, когда существует избыток мощностей из-за неточных прогнозов спроса. В такой ситуации практический интерес представляют маргинальные подходы, для реализации которых необходимо сформировать систему управления ценами. Для этого целесообразно рассматривать три уровня управления [5], которые с учетом особенностей портовой деятельности представлены на рис. 1.

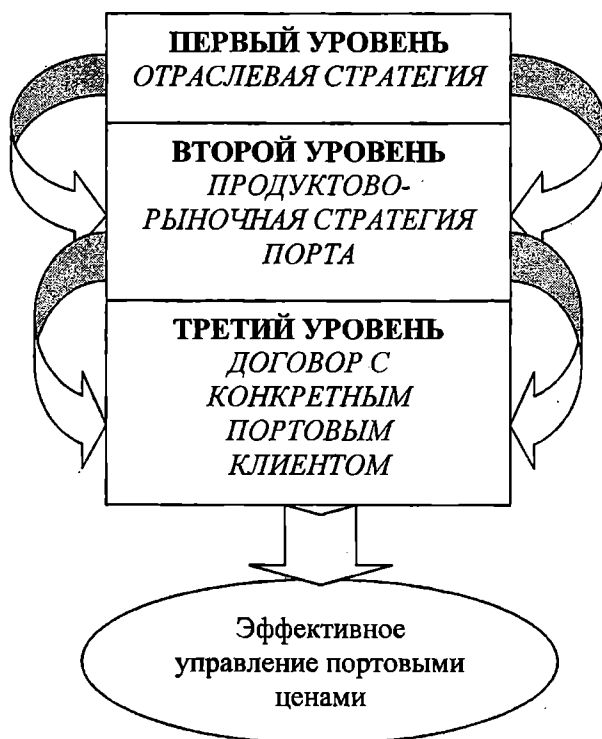


Рис. 1. Три уровня управления портовыми ценами

На первом уровне исследуются цены, которые сложились на рынке различных видов портовой продукции. При этом учитываются различные факторы: спрос, предложение, уровень, структура постоянных и переменных издержек производства различных видов портовой продукции, меры ценового регулирования отдельных государств и их объединений (Европейский Союз), межправительственных соглашений, портовые мощности, стратегии развития других предприятий, оказывающих портовые услуги.

Как считают специалисты [4; 5], превосходство в отраслевом ценообразовании требует не только глубокого знания своего предприятия, но и понимания того, как конкретные действия повлияют на рыночные цены и конкуренцию.

В результате проведенного исследования порт сможет прогнозировать тенденции формирования отраслевых цен и активно действовать. Наиболее крупные порты и портовые операторы даже смогут конструктивно влиять на динамику цен в отрасли.

На втором уровне управления ценами основной задачей является позиционирование цен относительно конкурентов, базирующееся на соотношении цены и преимуществ портовой продукции (работ, услуг). В результате определяется уровень цен, который дает оптимальное соотношение цены и преимуществ по сравнению с конкуренцией внутри каждого сегмента портового рынка без нарушения общей отраслевой этики ценообразования.

Ценообразование может осуществляться путем [8]:

- установления таких же цен, которые сформировали все конкуренты или конкретная их группа; если порт выбирает цену из середины диапазона, то речь идет о «безопасном» ценообразовании; в случае предпочтения цены из начала или конца диапазона, можно говорить об агрессивной политике ценообразования;
- приспособления цен к ценам конкретного конкурента на рынке портовой продукции; это может быть наиболее сильный или «средний» порт.

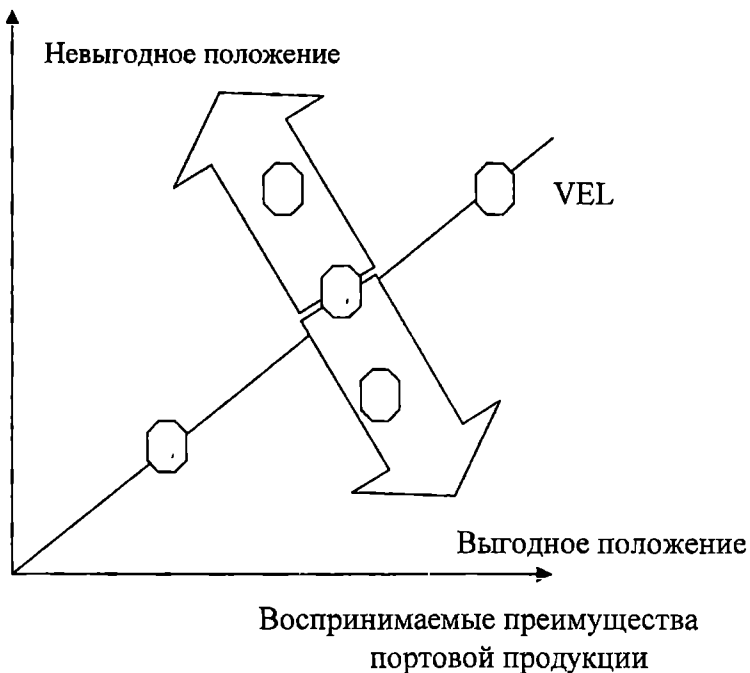
При использовании такого подхода серьезной опасностью является использование недостоверной информации.

Ценовые действия на втором уровне достаточно заметны клиентам и конкурентам. Значительное внимание должно уделяться оценке чувствительности клиентуры. Та цена, которую конечный покупатель готов заплатить за портовую продукцию (работы, услуги), является наилучшим ориентиром для оптимального ценообразования [8]. Следует отметить, что этот подход зарубежные специалисты признают наиболее трудным для практического использования из-за проблематичности получения информации о «ценовых намерениях» клиента. Однако ряд крупных портов Европы обладает соответствующим потенциалом

собственных знаний и опыта работы на конкретных сегментах портового рынка для установления цены с помощью названного метода путем экстраполирования по результатам маркетинговых исследований, эксперимента или переговоров с потенциальными клиентами. Это становится более реальным с учетом современных тенденций в судоходстве, когда в результате создания альянсов наблюдается концентрация спроса, и развития мультимодальных перевозок.

На рассматриваемом уровне полезно использовать карту стоимости сегмента рынка (рис. 2), которая представляет собой положение конкретной портовой продукции относительно конкурирующих предложений в этом сегменте.

Воспринимаемая цена




 – предложения отдельных портов или портовых операторов

Рис. 2. Карта стоимости для предложений портовой продукции

Под стоимостью понимается разница между воспринимаемыми преимуществами и воспринимаемой ценой портовой продукции (работ, услуг) [5]. Фактически карта стоимости показывает, как потребители воспринимают компромиссы между ценой и преимуществами предлагае-

мой им портовой продукции (работ, услуг). На карте линия VEL – линия эквивалентности стоимости. Другие порты, стивидорные компании или предприятия, оказывающие аналогичные услуги, могут изменять свои цены, преимущества и т.п., что меняет карту стоимости. Портовый рынок в настоящее время отличается динамизмом. Благодаря быстрому развитию процессов интеграции движение одного конкурента может быстро повлиять на то, как воспринимаются остальные. При этом обычно следует ответная реакция.

При переходе в сфере портовой деятельности на систему заключения контрактов с каждым конкретным клиентом или с их группами необходимо принимать решение о точной цене, оговаривая при этом условия оплаты, систему скидок и т.д. Для большинства предприятий это уровень ценообразования, требующий наибольших затрат времени и энергии. Здесь создается реальная цена и чистая выручка, которую получает порт.

Существует естественная иерархия трех уровней управления ценами [5]. Отраслевой уровень – наиболее общий, ориентированный на ценовые проблемы, оказывающие воздействие на всю портовую сферу. Уровень продуктово-рыночной стратегии подразумевает более узкую сферу, сфокусированную на установление цены по сегментам портового рынка. Уровень договора – это особенности отдельных договоров и ценовых решений по ним.

Создав ценовые и соответственно конкурентные преимущества, каждый порт должен их закрепить путем создания ценовой архитектуры. Данный вид архитектуры является одновременно элементом двух портовых архитектур: стратегической и финансовой.

В рамках финансовой архитектуры значительное внимание уделяется вопросам соотношения собственного и привлеченного капитала, их движению, формированию цен на различные работы и услуги и др.

Однако наиболее важной в современной ситуации является стратегическая архитектура. Это генеральный план разработки и реализации новых ценностей или «функциональностей», которые будут предложены потребителю транспортной продукции, план обретения новых или перемещения имеющихся компетенций и новая конфигурация системы взаимодействия с клиентами [4]. Стратегическая архитектура, не являясь подробным планом, намечает возможности, которые необходимо создать, но не указывает точного пути их создания. Стратегическая архитектура отражает то, что порты должны делать уже сегодня, чтобы эффективно функционировать в будущем. Вопросами стратегической архитектуры не являются, например, конкретные приемы максимизации доходов или получения доли на рынке портовых работ и услуг.

Элементами ценовой архитектуры являются уровни цен, компоненты скидок, конкретные политики и правила, применимые для

каждого из этих компонентов, единицы реализации портовой продукции и т.д.

Обобщая изложенный в статье материал, можно сделать следующие выводы. Все три уровня в сфере портового ценообразования тесно взаимосвязаны. Каждый порт должен стремиться создать ценовое преимущество на всех трех уровнях.

Решение добиваться ценового преимущества - это начало процесса преобразований в финансовой деятельности морских торговых портах или портовых операторов. Однако указанные процессы неизбежно затронут практически все направления портовой деятельности. Формирование ценового преимущества требует значительных усилий со стороны собственников, руководителей и всего коллектива предприятия. Добившись ценового преимущества, порт или портовый оператор не должны останавливаться. Необходимо создавать в рамках финансовой и стратегической архитектур ценовую архитектуру морских торговых портов или других предприятий, предлагающих различные виды портовой продукции.

В дальнейших исследованиях необходимо обратить пристальное внимание на создание ценовой архитектуры и обоснование ее взаимодействия с другими элементами портовой архитектуры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Азоев Г.Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика.* – М.: Центр экономики и маркетинга, 1996. – 208 с.
2. *О'Шонесси Дж. Конкурентный маркетинг: стратегический подход.* – СПб.: Питер, 2001. – 864 с.
3. *Дугіна С.І. Маркетингова цінова політика.* – К.: КНЕУ, 2002. – 360 с.
4. *Жихарева В.В., Кибик О.Н., Муссо Э., Карпането Л. Экономика морского транспорта: Учебное пособие.* – Одесса: Астропринт, 2004. – 258 с.
5. *Марн М. В. Ценовое преимущество / Марн М.В., Регнер Э.В., Завада К.К.* – М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. – 317 с.
6. *Портер М. Международная конкуренция / Пер. с англ.* – М.: Международные отношения, 1993. – 896 с.
7. *Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность организации в условиях кризиса: экономика, маркетинг, менеджмент.* – М.: Маркетинг, 2002. – 892 с.
8. *Финансовое планирование и контроль / Под ред. М.А. Поукока и А.Х.Тейлора.* – М.: ИНФРА-М, 1996. – 480 с.
9. *Цацулин А.Н. Цены и ценообразование в системе маркетинга: Учебное пособие. Издание 2-е.* – М.: Фининь, 1998. – 448 с.

10. Чекаловець В.І., Меркт О.В. Формування стратегії розвитку морських торговельних портів у конкурентному середовищі // Стратегія економічного розвитку України. № 4. – К.: КНЕУ, – 2001. – С. 134-140.
11. Gabor A. *Pricing: Principles and Practice*. – London: Heinemann educational books, 1977. – 425 p.
12. Haralambides H., Verbeke A., Musso E., Benacchio M. *Port financing and pricing in European Union: theory, politics and reality* // *International journal of maritime economics*. – 2001. – № 3. – P. 368-386.

Надійшла 20. 07. 05



УДК 627. 2

В. И. Снисаренко  
В. А. Гришин

## НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ РЕКОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЯ ОДЕССКОГО ОПЕРНОГО ТЕАТРА

*Рассматривается краткий анализ реконструкций фундаментов в 1902 г. и 1955-1956 гг., а также причины, вызвавшие их нестандартное перепроектирование и возведение в 1997-2001 г., приведшее к стабилизации здания театра.*

**Ключевые слова:** *реконструкция, возведение, театр, осадки, стабилизация.*

Уникальное здание Одесского оперного театра за свою многолетнюю историю (здание построено в 1883-1887 гг.) претерпело несколько крупных реконструкций. В 1902 году были укреплены, путем расширения подошв фундаментов, просевшие стены восточного фасада и отремонтированы деформировавшиеся от неравномерных осадок фермы купола зрительного зала. В 1925 году часть здания из-за пожара на сцене сгорела. В 1955-1956 гг. пытались, как показало время, практически безуспешно, укрепить основания фундаментов методом однорастворной силикатизации. В 1964 г. искали под зданием катакомбы, упорно не веря в несостоятельность выполненной силикатизации.

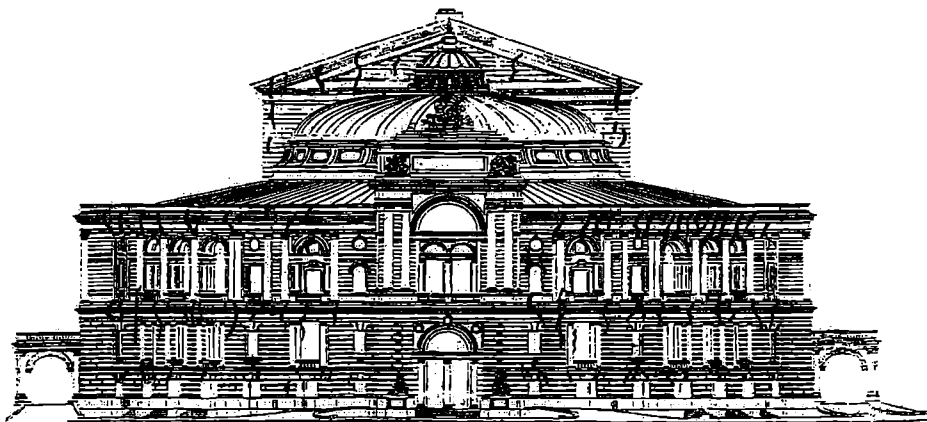
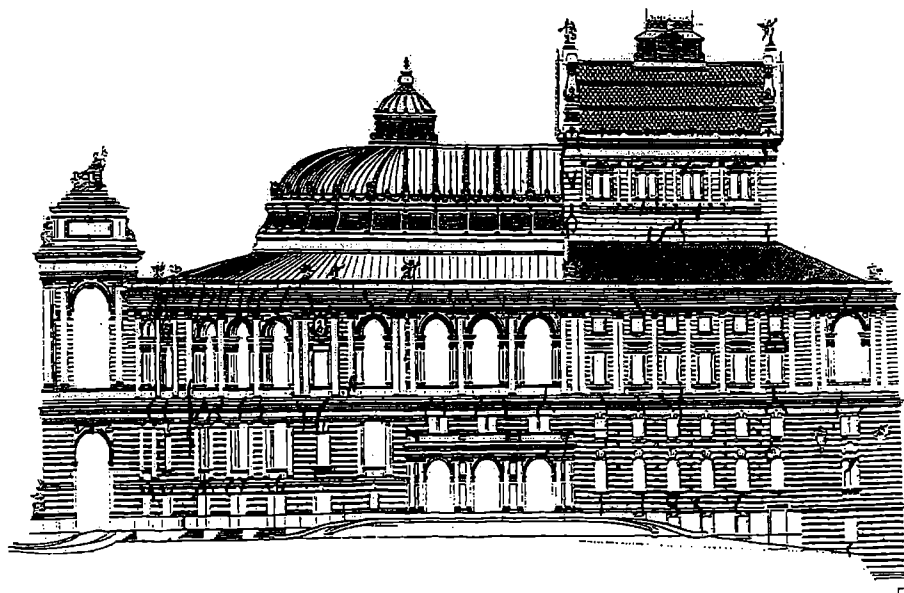


Рис. 1. Трещины на стенках театра (вид со стороны главного входа)



*Рис. 2. Трещины на стенах театра (вид на боковую сторону театра)*

Перед началом последней, ещё полностью не законченной, реконструкции, начавшейся в 1997 году, уникальное здание находилось на грани гибели. Более 1,5 тысяч трещин общей длиной свыше 3,2 км насчитывали его внутренние и внешние стены.

Наиболее крупные из них делили коробку здания на несколько отдельно перемещающихся отсеков. Неравномерные осадки стен, а также внутренних перекрытий составляли десятки сантиметров. Авторитетные комиссии предлагали немедленно прекратить эксплуатацию театра. К обсуждению технических проблем театра его дирекция привлекала ведущих отечественных и зарубежных специалистов.

Авторы настоящей статьи приняли непосредственное участие в выработке и реализации концепции спасения театрального здания. В период 1997-2001 гг. отделу гидротехнического и специального строительства (заведующий В.И.Снисаренко) научно-исследовательского института строительного производства Госстроя Украины было поручено на субподрядных началах у института «Гипроград» осуществлять: изыскания, проектирование, научное сопровождение, а также контроль качества строительных работ при реконструкции фундаментной системы здания театра. Активное участие в этой большой работе приняла кафедра «Сопротивление материалов» Одесского национального морского университета (ОНМУ) (заведующий В.А. Гришин).

Сегодня с того момента, когда губернатор Одесской области утвердил акт о приемке конструкций усиления фундаментной части здания театра, прошло более трех с половиной лет. Данные геодезического мониторинга свидетельствуют, что здание стабилизировалось на новых фундаментах. Можно подвести некоторые итоги, а заодно и вспомнить, как вырабатывались и реализовывались во многом нестандартные технические и организационные решения. Надеемся, что такая информация будет полезной как для начинающих, так и для уже практикующих инженеров.

Выбор методов стабилизации здания не протекал гладко. Отдельные научные школы и их представители выдвигали различные версии об основных причинах непрекращающихся деформаций остова здания. Исходя из причин, естественно, выдвигались и методы лечения. В качестве основных причин разрушения здания выдвигались: оползневые смещения, тектонические подвижки в четвертичных отложениях, реологические процессы в меотических глинах и другие. Под впечатлением от многочисленных публикаций об успешности работ по силикатизации лессового основания театра в 1955-1956 гг., у многих специалистов как-то отошло на задний план понимание того факта, что здание стоит на толще просадочных грунтов и деформируется, благодаря постоянным утечкам из обычных водонесущих систем.

Хотя просадочная природа деформаций здания была во многом очевидна и об этом убедительно свидетельствовала вся история его эксплуатации, тем не менее, нельзя было без дополнительного тщательного анализа отметить любые другие версии, поскольку инженерно-геологические условия площадки в действительности далеко не простые.

Здание театра имеет габаритные размеры в плане 78x64 м и максимальную высоту около 45 м. Строительный объем здания более 100 тыс. м<sup>3</sup>. Его общая масса составляет около 60 тыс. тонн. Оно расположено на приморской части лессового плато. До строительства города и порта участок представлял собой водораздельную часть плато с высотными отметками 39 – 43 м, вычлененную с запада и востока оврагами. Сегодня естественный рельеф изменен планировкой. Изменился также характер экзогенных процессов, выражавшихся ранее, до строительства порта и города, в виде оползневых и абразивных разрушений берега. Портовые сооружения исключили размыв берегов и остановили развитие оползней. Кроме того, здание театра находится за пределами оползнеопасной зоны. Сейсмичность площадки составляет 6 баллов с приращением бальности по местным условиям (просадочные грунты, обводненность) до 1 балла. В геологическом разрезе участка от уровня моря до дневной поверхности в пределах пятна здания залегают: меотические глины, понтические известняки (мощность 9,4-13,7 м), плотные краснобурые глины (мощность 0,3-2 м), плотные краснобурые суглинки (мощность 0,6-3 м),

супеси и суглинки лессовые просадочные (мощность 8,2-11,1 м), насыпной грунт (мощность 0,5-4 м). Устойчивый поток подземных вод наблюдается в подошве известняков. Его мощность 2,2-2,5 м. Подъём этого водоносного горизонта не наблюдается ввиду наличия на небольшом расстоянии зоны его разгрузки.

Для выработки концепции фундирования театра генпроектировщиком (институт «Гипроград») было решено, прежде всего, проверить версию о возможных подвижках территории и их влиянии на повреждения театра. Уникальные высокоточные измерения по поручению «Гипрограда» были выполнены силами специалистов «Укринжгеодезии» с использованием спутниковой сети GPS.

Для указанных целей на участке театра и на конструкциях его здания были созданы высокоточные плановая и высотная сети, включающие: пункты GPS, пункты полигонометрии 4 класса и 1 разряда, реперы нивелирования I и II разрядов, контрольные марки. В течение 1997 года было осуществлено два цикла линейно-угловых и четыре цикла высотных измерений.

Определение координат пунктов GPS производилось при помощи спутниковой геодезической системы. Сеть GPS использовалась для определения подвижек локальной территории вокруг театра радиусом 150-200 м и перемещений точек здания театра по отношению к удаленным от него на 1-3 км девяти пунктам сети.

Среднеквадратические погрешности сети пунктов GPS и полигонометрии 4 класса по результатам уравнивания составили: при измерении линий  $\pm 1$  мм и при измерении углов  $\pm 1,6''$ . При этом абсолютная погрешность координат контрольных марок на здании и территории составила  $\pm 1,9$  мм. Средние квадратические погрешности нивелирования I и II разрядов на 1 км хода по результатам уравнивания составили соответственно  $\pm 0,5$  мм и  $\pm 0,8$  мм.

Анализ проведенных измерений показал, что за один год средняя осадка здания составила 2,5 мм. При этом максимальные осадки произошли в южной части (у главного входа) и были равны 12-14 мм. Относительная разность осадок в этом месте достигла 0,0015, что было близко к предельному значению по условиям целостности конструкций.

Также были выявлены существенные горизонтальные, разнонаправленные перемещения двух пунктов GPS, расположенных на крыше здания. Точка крыши над центральным входом переместилась на 7,3 мм в южном направлении, а точка над правым задним фасадом переместилась на 7,2 мм в юго-восточном направлении. Остальные три точки GPS на крыше здания остались неподвижными. Это лишнее подтвердило предположение о том, что здание крупными трещинами разделено на отдельные блоки, которые деформируются практически независимо друг от друга.

Подвижка локальной территории вокруг театра не была выявлена, так как изменения координат грунтовых марок и реперов носили знакопеременный характер и находились в пределах точности измерений сети.

Таким образом, стало очевидным, что здание интенсивно и неравномерно садится. Отдельные его блоки получают существенные крены. При этом если и происходят какие-то подвижки территории, то в масштабе реального времени ими можно пренебречь.

Вопрос о том, что основные нагрузки от театра необходимо передать на пласт известняка, для специалистов, которые вплотную занимались проблемами театра, за небольшим исключением (был вариант подведения плиты), был очевиден. Ведь известняк находится на технологически достигаемой глубине. Проблема состояла в том, каким образом это лучше сделать под эксплуатируемым зданием и сможет ли понтический известняк служить достаточно надежным несущим пластом.

Первые сомнения посеяла основная изыскательская организация «Укрстройизыскания», заявив, что по их данным понтический известняк под пятном здания полностью деградировал и превратился в так называемый «известняк-рухляк», который не может служить надежным основанием для свайных фундаментов. В подтверждение этого мощная буровая установка изыскателей в переулке Чайковского легко и быстро пробурила всю толщу известняка. При этом не удалось отобрать ни одного неразрушившегося керна.

Собранные, ранее полученные материалы по одесскому известняку говорили об обратном. Действительно известняк неоднороден по глубине залегания и в плане простираения. Его разности колеблются от перекристаллизованных прочных слоев до выветрелой дресвы. Но в целом его качество позволяет опирать на него свайные фундаменты. Такие примеры известны.

Структуру известняка под зданием можно было также четко проследить в глубоком колодце, расположенном непосредственно под зданием театра, в самом глубоком из его подвалов. Этот колодец диаметром около 1 м был пройден в 1964 г. Тогда с его помощью проверяли наличие под театром катакомб. Идея такой проверки возникла потому, что, несмотря на масштабную силикатизацию основания, здание продолжало интенсивно деформироваться. Заказчик и авторы проекта по очереди побывали в этом колодце и воочию убедились, что, несмотря на известные особенности, известняк под театром может служить надежным основанием.

Инструментально перепроверить это предположение взялись специалисты Одесской строительной академии. По заданию генпроектировщика они организовали на известняке вблизи театра штамповые испытания и неожиданно получили крайне противоречивые данные о модуле деформации этой породы. По их измерениям модуль

деформации известняков в непосредственной близости от здания по данным трех опытов составил (при давлении под штампом 1-1,5 МПа) от 162 до 1400 МПа. Полученные результаты озадачили. Дело в том, что ранее этой актуальной для Одессы проблемой занимались несколько организаций. По данным «Укрюжстройизыскания» модуль деформации понтических известняков колеблется от 11 до 48 МПа. По данным «Центра инженерных изысканий» (со ссылкой на исследования Одесского госуниверситета им. И.И. Мечникова) модуль деформации известняков изменяется от 100 до 200 МПа. Таким образом, диапазон варьирования модуля деформации основного несущего пласта по данным разных исследований колебался от 11 до 1400 МПа, то есть отличался на два порядка.

Наш анализ собранных результатов и методик их получения, проведенный с участием кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Киевского университета, показал, что к полученным результатам необходимо относиться с определенной осторожностью. Было установлено, что рассматриваемые значения во многом зависят от существенной неоднородности свойств рассматриваемого инженерно-геологического элемента, а также от несовершенства существующих методик, а порой и от некорректных способов их использования. Строго говоря (т.е. если исходить из требований ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний»), понтические известняки не могут быть представлены как один инженерно-геологический элемент и их надо членить на несколько элементов.

Для практического и однозначного решения вопроса об основном несущем пласте необходимо было использовать метод прямых измерений, который предполагал испытания грунтов сваями непосредственно под пятном здания. Однако был еще неясен вопрос о возможном негативном трении свай. Споры по этому поводу велось достаточно много, единого мнения не было. Просадочные свойства лессовой толщи вокруг театра интересовали инженеров практически весь период существования театра. По архивам известно, что буровые работы на площадке театра велись в 1928, 1930, 1938, 1951, 1953, 1963, 1991, 1995, 1997 годах. В общей сложности было пробурено около 100 скважин глубиной от 8 до 30 м с суммарной длиной проходки более 1100 м, пройдено несколько дудок и десятки шурфов вблизи фундаментных лент. Казалось все должно быть известно: грунты просадочные и это необходимо учитывать.

Основная изыскательская организация «Укрстройизыскания» выполнила для трех точек площадки, где были пройдены шурфы-дудки (глубиной 9, 7 и 12,5 м), лабораторные испытания и расчет просадки грунта от собственного веса. Получила для всех интервалов относительную просадочность при бытовом давлении грунта от 0,014 до 0,052 и абсолютные просадки 21, 8 и 13 см.

Специалисты строительной академии (ОГАСА) решили перепроверить эти данные методом штамповых испытаний. Основной вывод этих испытаний состоял в том, что площадка находится «по сути на границе между I и II типом грунтовых условий по просадочности». Это мало проясняло ситуацию. К тому же экспертиза материалов исследований выполненная кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии Киевского университета показала, что такой вывод не в полной мере соответствует материалам экспериментальных данных, в которых величина начального просадочного давления на глубинах 6–8 м завышена в 1,7–2,1 раза. Разнотчению экспериментальных данных способствовала путаница в нормативных документах: в некоторых из них при штамповых испытаниях начальное просадочное давление определяется, как предел пропорциональной зависимости на графике осадка штампа – нагрузка, а в ГОСТ 20276 эта же величина «соответствует точке перегиба» такого же графика, при этом неизвестно, как найти точку перегиба на участке графика, где кривизна имеет один знак.

Много споров велось вокруг типа грунтовых условий по просадочности. При этом не учитывался тот очевидный факт, что при силикатизации в 1955-1956 гг. лессы в активной зоне фундаментов были частично закреплены. А в некоторых местах, если и не закреплены, то замочены и обжаты весом здания (под отдельными фундаментными лентами давление достигало 0,6 МПа). Вообще, грунтовые условия под зданием совсем перестали отвечать условиям вокруг него, где можно было провести какие-то эксперименты с целью определения типа грунтовых условий по просадочности. Такой показатель существует и широко используется. Однако при реконструкции уже обжатых и тем более техногенно преобразованных оснований, его прямое использование вызвало много дискуссий. Точку в спорах поставила секция научно-технического совета Госстроя Украины, которая отметила, что нагружающее трение на сваи в рассматриваемых грунтовых условиях будет иметь место.

Параллельно предпринимались меры по изучению свойств засиликатизированных в 1955-1956 гг. разностях лессовых грунтов. Уже в 1964 г. геологи Одесской экспедиции «УкрГИИНТИЗ» отмечали, что образцы грунтов, отобранные из-под фундаментов сохранили значительную просадочность при всех нагрузках. Например, относительная просадочность при давлении  $3 \text{ кгс/см}^2$  составила до 0,065. За прошедшее время также изменились в сторону уменьшения, как содержание силиката, так и предел прочности на сжатие образцов засиликатизированного грунта. Изыскатели в 1997 (АП «Укрстройизыскания») отмечали, «что закономерность в степени силикатизации грунтов основания по периметру здания отсутствует. Рядом встречаются участки с грунтами 5–7 категорий по трудности разработки и с грунтами вообще не силикатизированными».

Конец легенде об успешной силикатизации, которую долгие годы поддерживали одесские и московские специалисты, положили проведенные в НИИСП простые опыты. Наиболее прочные образцы засиликатизированного в основании театра грунта были подвергнуты в лабораторных условиях фильтрационному воздействию с градиентом напора равным 1. Через 24 часа образцы деградировали полностью. Со всей очевидностью аналогичные явления протекают и в основании здания.

Таким образом, в итоге многочисленных изысканий и исследований стало ясно, что:

- основной несущий пласт, представленный известняком-ракушечником, существенно неоднороден по простиранию и мощности, в нем могут быть трещины, малопрочные зоны различных размеров, его прочностные и деформационные характеристикам изменяются в большом диапазоне, при этом отметки кровли в пределах пятна здания колеблются на 2-3 м;

- просадочные пласты грунта изменяются от закрепленных силикатизацией (имеют прочность на сжатие до 1 МПа) до резко просадочных (относительная просадочность до 0,05 и более), их мощность под фундаментами изменяется от 10 до 4 м;

- какая-либо закономерность в расположении засиликатизированных грунтов отсутствует, они постепенно деградируют под воздействием атмосферных и техногенных вод.

Окончательное решение о несущей способности предполагаемых свайных фундаментов можно было получить только путем постановки натурных испытаний грунтов сваями. Такие испытания были запроектированы и проведены Научно-исследовательским институтом строительного производства Госстроя Украины (НИИСП) с привлечением других организаций. Отличительная особенность организации испытаний состояла в том, что сваи (за исключением одного испытания, выполненного ОГАСА совместно с ОАО «Черноморгидрострой» в стороне, на расстоянии 8 м от здания) изготавливались и испытывались непосредственно у наружных стен или внутри здания с строгим соблюдением предполагаемой технологии их изготовления при реконструкции фундаментов, а также с планированием возможности их последующего использования при реконструкции. Для выполнения работ по изготовлению опытных и анкерных свай у стен здания были привлечены: Днепровское ЗАО «Днепроспецстрой» (г.Вышгород), «Основа-Солсиф» (г.Киев), а внутри здания – ОАО «Укрспецстройпроект» (г.Днепропетровск). Первые две организации устраивали по технологии, разработанной НИИСП, буроинъекционные сваи диаметром 150, 200 и 250 мм и длиной от 9,5 до 19,6 м. «Укрспецстройпроект» устраивал сборные многосекционные задавливаемые сваи собственной конструкции диаметром 152 мм. Всего у наружных стен и внутри здания



было изготовлено 30 свай, из них 14 опытных и 16 анкерных. Было выполнено 16 статических испытаний свай, в том числе НИИСП – 11 испытаний, «Укрспецстройпроект» – 4 испытания, ОГАСА – 1 испытание.

Проведенные испытания позволили с высокой степенью достоверности оценить несущую способность свай в условиях театра, а также технологические возможности потенциальных исполнителей. Анализ результатов испытаний буроинъекционных свай на вдавливание показал, что сваи, заведенные в понтический известняк, независимо от диаметра и оборудования для бурения, имеют высокую удельную несущую способность в расчете на  $1 \text{ м}^3$  объема сваи. Этот показатель составил в среднем 1740 кН или 1640 кН с обеспеченностью 95 %. При этом осадки составляли не более 4 мм.

Вместе с тем, вероятность значительного влияния негативного трения, как показали испытания в просадочных слоях свай на выдергивание, оказалась очень высокой. Удельное трение по боковой поверхности в пределах просадочной толщи составило в среднем 0,06 МПа. При этом боковое трение реализовывалось практически полностью уже при перемещениях свай в 20 мм. Это обстоятельство стимулировало поиск инженерных решений по его снижению. Специально для рассматриваемого случая были разработаны и реализованы на предприятии «Дельта» (г. Ровно) технические условия на производство труб диаметром 210 мм, с толщиной стенки 5 мм из полиэтилена низкого давления. Для проверки эффективности использования таких труб для снижения бокового трения специалистами НИИСП были проведены дополнительные испытания двух свай у стен театра. Испытания показали, что предложенное мероприятие снижает трение по боковой поверхности свай не менее, чем в три раза, т.е. до 0,02 МПа. К слову, защитная полиэтиленовая оболочка выполняет и другие полезные функции: повышает трещиностойкость свай, защищает её от блуждающих токов и т. п.

По итогам полевых испытаний грунтов сваями у стен здания и внутри его были сделаны следующие основные выводы:

1. Инженерно-геологические условия площадки позволяют при реконструкции фундаментов театра эффективно применить для их усиления сваи, заведенные в понтические известняки. При этом целесообразно предусмотреть в пределах просадочной толщи антифрикционное покрытие боковых поверхностей для снижения возможного негативного трения и увеличения той части нагрузки, которая передается на вполне надежные пласты грунта;

2. Исходя из конструктивно-технологических соображений (сейсмические нагрузки, производительность бурового оборудования, качество сопряжения свай с несущим пластом), целесообразно максимально использовать буроинъекционные сваи диаметром 220 мм (размер с учетом инъекционного расширения ствола). Сборные

секционные задавливаемые сваи можно применять только в исключительных случаях, когда нельзя создать вертикальные габариты фронта работ более 1,5 м, при этом диаметр задавливаемых свай следует увеличить до 182 мм.

Неожиданные трудности возникли при выработке концепции сопряжения свай с ленточными фундаментами. Последние сложены из пильного и тесаного известняка-ракушечника. Прочность этой кладки была неизвестна. Её по заданию генпроектировщика определил Научно-исследовательский институт строительных конструкций (НИИСК), используя стандартную методику (ГОСТ 4001-84, ГОСТ 8462-85, СНиП II 22-81). По его заключению расчетное сопротивление сжатию кладки составило не более 0,6 МПа. Это было достаточно неожиданно, поскольку фактически среднее давление под подошвой фундаментов составляет 0,4 МПа, а в отдельных местах даже доходит до 0,7 МПа, но признаков разрушения от перенапряжения кладки нигде не наблюдалось. Оставалось предположить, что несмотря на стандартность, использованный в данном случае метод раздельного определения прочности камня и раствора неточен.

По совету профессора А.С. Файвусовича авторы этой статьи впервые в нашей стране реализовали и усовершенствовали теоретически более безупречный способ определения прочности каменной кладки, как из правильных камней, так и из бута. Суть его состоит в том, что из конструкции выбуриваются в горизонтальном направлении керны диаметром не менее 160 мм и длиной не менее 240 мм. Соблюдая ориентацию, керны испытываются на сжатие с использованием жестких штампов, которые охватывают два противоположных сектора поперечного сечения керна величиной в 60°. Эпюра распределения напряжений в разрушаемом поперечнике вычисляется методом конечных элементов по программе «Пластика». Для повышения точности вычислений предварительно для испытываемого материала определялась, используемая в расчетах по программе «Пластика» зависимость «напряжения – деформации». Всего по созданной методике было испытано более 300 кернов. Средняя прочность кладки составила более 3 МПа. Минимальное значение прочности составило 1,3 МПа. Было принято решение проектирование сопряжения свай с фундаментами вести, исходя из расчетной прочности кладки 1 МПа. Кроме того, отказались от ранее планировавшихся мероприятий по укреплению кладки в объеме более 1000 м<sup>3</sup>.

Технологические трудности устройства под эксплуатируемым зданием свайного поля заключались в том, что сваи длиной от 10 до 18 м необходимо было выполнять в крайне стесненных условиях. По наружному периметру здания они устраивались в пазухах фундаментов, глубина которых достигала 4 м. Под помещениями восточной и западной парадных лестниц и под главным вестибюлем подвалы отсутствовали, и

их необходимо было создать. В существующих подвалах размещены: трансформаторная подстанция, щитовая, аккумуляторная, машинный зал, насосные станции (противопожарная и холодного водоснабжения), устройства для трансформации сцены, склад декораций и т.п. Все подвальные помещения соединены между собой техническими каналами различного назначения: вентиляционными, сантехническими, электро-техническими, слаботочными. Высота многих подвалов составляет всего 1,5–2 м. Встречаются не только проходы, но и целые помещения шириной 0,8–1 м. Таким образом, пути движения строительных ресурсов изобилуют узостями, поворотами, вертикальными перепадами, а расстояния транспорта материалов внутри здания достигают 75 м. Опыта работы в подобных условиях отечественные подрядчики не имели.

Проектирование усиления фундаментов театра велось в две стадии. На стадии рабочего проекта расчетным путем были определены основные параметры свайного поля и конструктивных элементов его сопряжения с ленточными фундаментами, а также вопросы организации строительства и контроля качества работ.

Полезная нагрузка на одну буроинъекционную сваю диаметром 200 мм принята на основании данных статических испытаний и расчетов несущей способности материала ствола в размере 300 кН. С учетом коэффициентов перегрузки (без учета особых воздействий) суммарная нагрузка от здания на фундаменты составляет около 618 тыс. кН. Вследствие устройства ростверков площадь подошвы фундаментов примерно удваивается. Распределение нагрузки между свайным полем и подошвой фундаментов, как показали расчеты на вертикальную жесткость фундаментной системы, при неблагоприятных условиях (грунт под подошвой замочен), происходит в соотношении 77:23. Таким образом, суммарная нагрузка на свайное поле составит 475 тыс. кН, а с учетом веса вновь проектируемых конструкций 552 тыс. кН. При принятой полезной нагрузке на сваю в 300 кН общее количество свай составило 1840 штук.

В соответствии с проведенными расчетами системы «фундаменты-свай-грунтовая среда» на воздействие горизонтальной сейсмической нагрузки в 202 тыс. кН по теории предельного состояния и по методам деформационных теорий установлено, что около 60% нагрузки воспринимает грунтовая среда и около 40 % свайное поле. Исходя из этого, горизонтальная нагрузка на одну сваю не может превысить 6 кН, что, как показали расчеты, вполне допустимо.

Детальные расчеты наиболее сложных узлов сопряжения свай с ростверком, а также наиболее опасных сечений (прежде всего тех, где имеются большие перепады в отметках заложения фундаментов) выполнены по программе «Пластика». Они показали, что сваи воспринимают эксплуатационные и особые нагрузки при допустимых горизонтальных и вертикальных перемещениях. Максимальное горизон-

тальное перемещение свай в сечении их заделки составило 0,34 мм, а максимальная расчетная осадка свай – 3,4 мм. Максимальные напряжения были существенно ниже допустимых и по абсолютной величине равнялись: в теле свай – 1,7 МПа, в теле ростверка – 2,1 МПа. Контрольные измерения в ходе строительства и наблюдения при дальнейшей эксплуатации показали высокую сходимость полученных при расчете результатов.

Вопрос допустимых осадок свайных фундаментов для рассматриваемого здания был одним из ключевых. Действующие нормы (СНиП 3.02.02) содержат требования ограничения осадок зданий по архитектурным соображениям, однако не формализуют их. Архитекторы генпроектировщика не смогли сформулировать свои требования. Наш опыт изучения повреждений фасадных систем некоторых уникальных зданий говорил о том, что видимые силовые повреждения монолитных фасадных покрытий часто наступают гораздо раньше, чем несущие конструкции (включая фундаменты) достигают предельных состояний. Поэтому к назначению осадок необходимо было подойти очень осторожно. Наши расчеты и результаты испытаний показывали, что реально можно достичь в рассматриваемых условиях осадку в 4 мм. По данным института строительных конструкций, который параллельно с нами провел большую работу по расчету всего здания на программном комплексе «Лира», прогнозная осадка составляла от 23 до 84 мм. В действительности такой прогноз не подтвердился. Наиболее вероятная причина этого в неадекватности расчетной модели.

В этой ситуации было принято решение разработку рабочих чертежей и строительство вести поузловым методом, наряду с детальными расчетами сложных узлов, максимально использовать принцип натуральных экспериментов и непосредственных измерений несущей способности свай и других конструктивных элементов системы усиления фундаментов. Такой принцип в строительной практике используется. Принципиально новым стали масштабы его использования при свайных работах.

Был разработан следующий конструктивно-технологический порядок «пересадки» здания на свайные фундаменты. Сначала вдоль фундаментных лент, по поперечным балкам, пропущенным сквозь фундаментные стены, устраивались ростверки. Их площадь позволяла практически вдвое снизить давление фундаментов на грунт. Через специальные отверстия, которые оставались в ростверках, бурились и армировались скважины. Забой скважин тщательно зачищался. Методом напорного бетонирования, снизу-вверх, полости скважин заполнялись специальным мелкозернистым литым бетоном с водоцементным отношением 0,38. До начала схватывания бетон опрессовывался сжатым воздухом давлением 0,2 МПа, что обеспечивало заполнение возможных трещин в известняке-ракушечнике, а также плотное примыкание обсад-

ных полиэтиленовых труб к окружающему грунту.

Забетонированные сваи выдерживались до приобретения проектной прочности. Затем каждая свая при помощи домкрата обжималась пробной нагрузкой до 500 кН, по ступеням. После стабилизации и измерений осадок, свая также ступенями разгружалась. При этом фиксировалась пластическая составляющая осадки. Цель такого технологического приема состояла в том, чтобы:

- настроить всех исполнителей свайных работ (их было на площадке б) на тщательное соблюдение проектного технологического регламента;

- выбраковать сваи, осадка которых при нагрузке в 500 кН превышает 4 мм;

- проверить фактическую несущую способность каждой сваи, определить параметры её жесткости;

- выбрать основную часть возможных пластических деформаций свай;

- составить индивидуальный паспорт каждой сваи.

Последнее было важно также и потому, что сваи продавались меценатам, и каждый из них получал исчерпывающую информацию о принадлежащей ему свае.

После процедуры обжатия свая включалась в работу путем омоноличивания её головы в ростверке. Часть свай в порядке контроля (в среднем по одной на конструктивно-технологический узел) испытывалась по полной программе в соответствии с ГОСТ 5686.

Всего было обжато пробной нагрузкой и испытано около 80% всех свай. Из них только одна свая (№Зв-14) была забракована и переустроенна. Некоторые сваи не были испытаны либо обжаты по причинам большой стесненности фронта работ, либо по другим технологическим причинам. Анализ результатов пробных обжатий показал, что буройнъекционные сваи при расчетной нагрузке в 300 кН имеют осадку менее 1мм с обеспеченностью этой величины 97,6 %. Стоимость контрольных испытаний составила менее 3 % от общей стоимости реконструкции фундаментов.

Максимальный темп устройства свай, который был достигнут на площадке, составлял 100 свай в месяц при двухсменной работе, т.е. все свайное поле можно было выполнить за 18 месяцев. Фактически из-за перерывов в финансировании эта работа затянулась на 36 месяцев. Первая свая была изготовлена в августе 1998 г., а последняя в сентябре 2001 г. Всего по рабочим чертежам было изготовлено 1837 свай, из них 1818 буройнъекционных и 19 сборных задавливаемых.

В течение всего периода устройства свай и после его окончания велись тщательные геодезические наблюдения за осадками здания. Нивелирование выполняла специализированная организация «Укрюжстройизыскания» с соблюдением всех требований, предъявляемых к нивелированию II класса.

## Организации-исполнители

Организации-исполнители	Количество свай	Процентное соотношение
«Веракангнум – Одесса»	976	53,1
«Черноморгидрострой» (Одесса)	342	18,6
«Антарес» (Одесса)	319	17,4
«Основа – Солсиф» (Киев)	94	5,1
«Стикон» (Одесса)	87	4,7
«Укрспецстройпроект» (Днепропетровск)	19	1,1

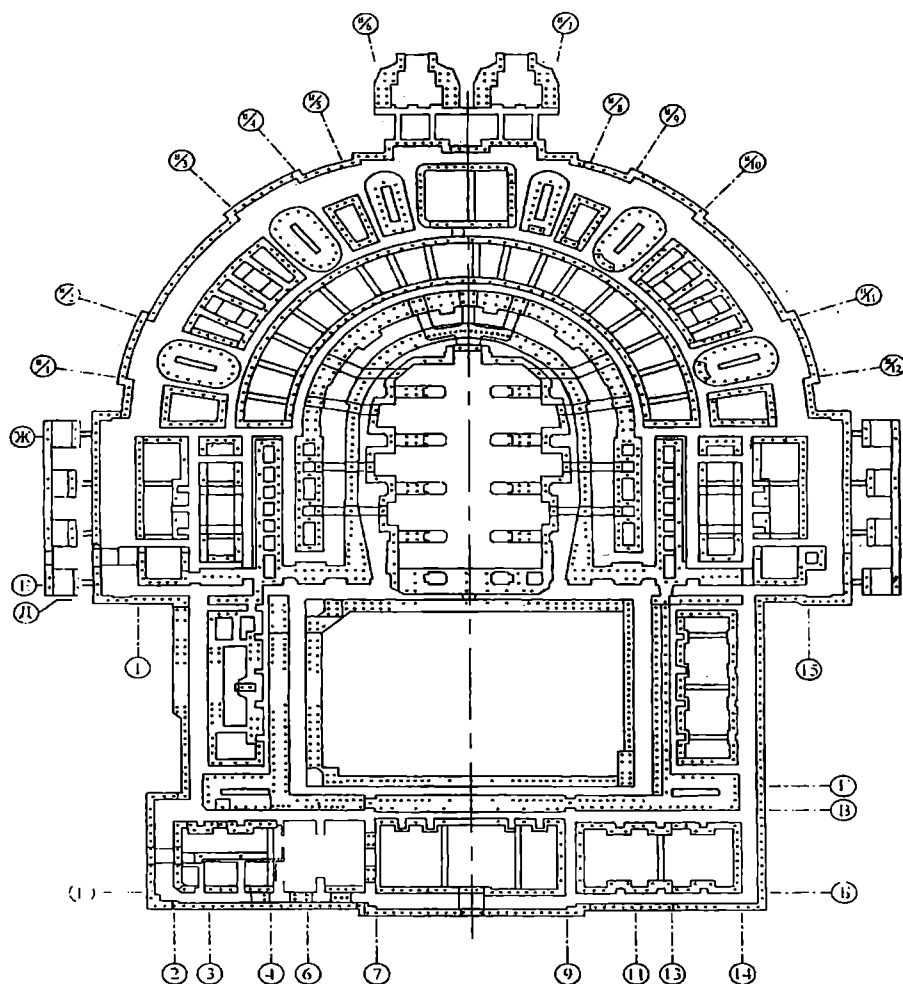


Рис. 3. План театра (точками указано свайное поле)

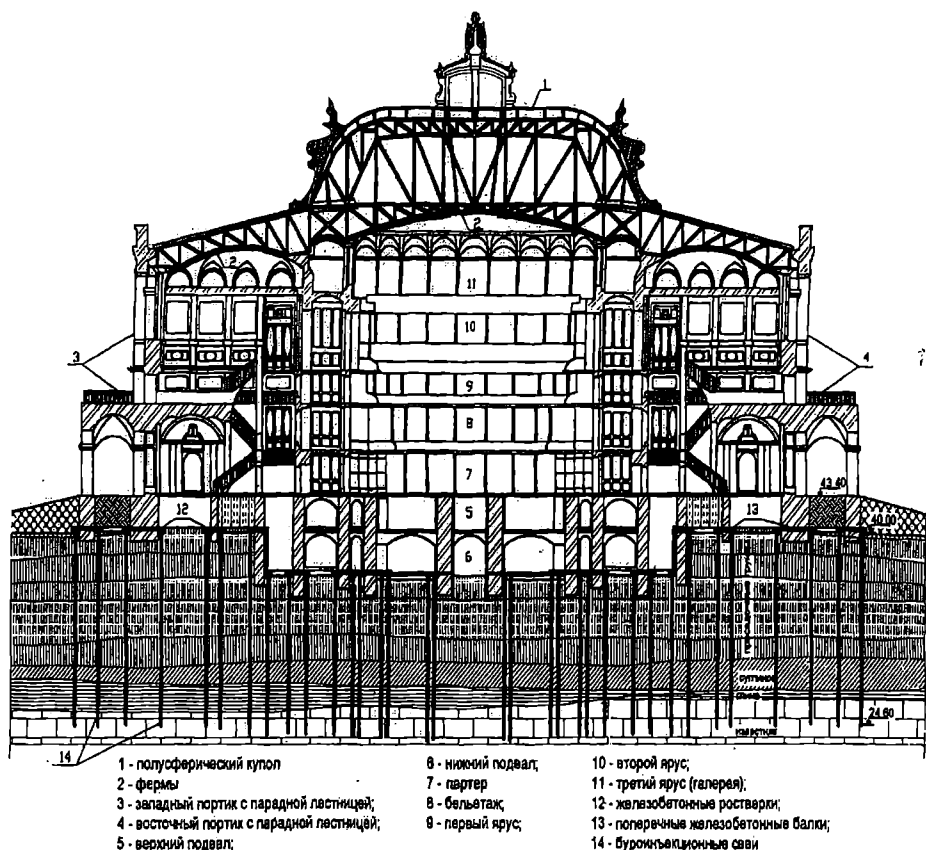


Рис. 4. Разрез театра с указанием свайных фундаментов

На здании было установлено 80 осадочных марок, из них: 20 на фасаде, 10 в подвальной части, 50 внутри здания, включая его ярусы. Привязка осуществлялась к двум глубинным реперам и одному настенному реперу. Исходя из схемы измерений, длины нивелирных ходов и количества станций, ожидаемая точность измерений составила  $\pm 2$  мм. Тщательный анализ полученных результатов геодезических измерений по годам показал, что 99% всех перемещений находятся в пределах точности проводимых измерений. Можно констатировать, что здание практически неподвижно относительно тех глубинных реперов, от которых ведется отсчет.

Таким образом, данные инструментальных измерений подтверждают эффективность выработанных проектных решений и высокое качество их реализации.

Надійшла 19. 08. 05

## ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗВИТКУ ТОРГОВЕЛЬНОГО МОРЕПЛАВАННЯ УКРАЇНИ

*Розглянуто визначення сум втомного пошкодження деталей в морській воді при нерегулярному навантаженні. Запропоновано ці суми визначати за допомогою розподілу Джонсона, а максимальне їх значення розглядати як моду розподілу і вважати, що воно у середньому на 10-15 % менше за одиницю. Оцінювання ресурсу деталей в морській воді при циклічному навантаженні доцільно проводити на базі дволанкової кривої втоми з лівим відрізком за степеневою і правим відрізком за дробово-лінійною функціями.*

**Ключові слова:** крива корозійної втоми, нерегулярне навантаження, підсумування втомних пошкоджень, розрахунки ресурсу.

Нормальний рівень розвитку національного морського торговельного судноплавства, з урахуванням особливостей прояву зовнішньоекономічних факторів, повинний установлюватися за критеріями забезпечення фрахтової незалежності зовнішньої торгівлі й ефективної участі в перевезеннях вантажів світового фрахтового ринку. Україна ж експортує великі обсяги продукції, однак судна українських судноплавних компаній фактично не можуть впливати на рівень фрахтових ставок морського перевезення навіть на чорноморському сегменті фрахтового ринку. Превалюючи в Україні, схема продажу експортного товару (ФОБ) не вигідна для держави, бо призводить до втрат фрахтових надходжень, які тільки на різниці фрахтових ставок суден вантажопідйомністю 10 і 60 тис. т. можуть досягати до 40 доларів на тону вантажу. Це обумовлює відповідні втрати українських експортерів на рівні приблизно від 1,0 до 1,5 млрд. доларів США за рік.

Одночасно, торговельне мореплавання – це та сфера економіки, яка забезпечує кожну державу товарами, виробництво яких неможливе або економічно не вигідне на даній території, дозволяє повніше реалізувати експортний потенціал кожної країни, сприяє зростанню конкурентоспроможності її товарів на світовому ринку.

Торговельне мореплавання суттєво впливає на розвиток таких галузей як суднобудування, судноремонт, сталеливарна промисловість, приладобудування та інших. Завдяки розвитку торговельного мореплавання України, для чого є достатні ресурси і ноу-хау, з'явиться можливість швидко скоротити 6-ти кратне відставання від країн ОЕСР за таким показ-



ником як ВВП, виробленим на душу населення, суттєво підвищити питому вагу машинобудування, приладобудування в структурі продукції української промисловості, забезпечити прискореними темпами розвиток комп'ютерних технологій, робототехніки та інших виробництв, що охоплюють 5-й технологічний уклад та створюють передумови для впровадження виробництв 6-го технологічного укладу відтворювальної структури промисловості. Це складає передумови значного поповнення державного бюджету, основним стримуючим фактором чого є відсутність економічного механізму розвитку торговельного мореплавання адекватного сучасним вимогам і можливостям країни.

Одночасно, торговельне мореплавання само може стати суттєвим джерелом надходжень до державного бюджету. Існують країни, наприклад, Норвегія, Греція, для яких експорт послуг з морського перевезення вантажів є однією з основних статей надходження іноземної валюти в державу. Як спадкоємниця СРСР, Україна одержала в спадок достатній і могутній потенціал у цій сфері діяльності, і мала можливість стати третьою країною, де державний бюджет формується в основному за рахунок надходжень від перевезення вантажів морем, але швидко втратила його в результаті економічно невдалих дій з реорганізації його діяльності.

Традиційний економічний механізм розвитку торговельного мореплавання, який використовувався всіма країнами світу в минулому тисячолітті, зараз вже не підтримується провідними морськими державами, перш за все, США, і країнами ЄС. Це не дозволяє Україні повною мірою використовувати заходи державної підтримки розвитку торговельного мореплавання і вимушує шукати шляхи рішення цієї важливої державної задачі, які будуть позитивно сприйняті світовою спільнотою [9].

Відсутність ефективного механізму функціонування і розвитку торговельного мореплавання породжує проблеми фрахтової залежності, які істотно знижують можливості країн, що не володіють достатнім флотом, з розширення їх участі в міжнародних торговельних зв'язках для забезпечення високих темпів економічного розвитку. В результаті нееквівалентного обміну в системі зовнішньоторговельного обороту вантажовласники з неморських держав щорічно виплачують понад 50 млрд. доларів фрахтових платежів, що складає більше шостої частини всіх річних фрахтових платежів світової спільноти. В цих країнах частка фрахтових платежів в ціні товару складає 15% і більше [3].

Не зважаючи на детальний розгляд різних аспектів функціонування і розвитку торговельного мореплавання в наукових дослідженнях зарубіжних і вітчизняних учених, висновки і рекомендації комісій і комітетів ООН, ІМО та інших міжнародних організацій до теперішнього часу не містять єдиних поглядів щодо економічних механізмів

мів, які забезпечують стійкість процесів функціонування і розвитку цієї сфери людської діяльності. Навпаки, виконані в інституті дослідження показали, що економічні механізми розвитку світової економіки і торговельного мореплавання, які зараз використовуються, не призвели повною мірою до тих результатів, на які вони були розраховані. За даними IMF [2] за останні три роки у цілому в світовій економіці частка фрахту в ціні товару збільшилася до 6,88 відсотків в 2004 р. в порівнянні з 6,11 відсотків в 2001 р. Для розвинених країн з ринковою економікою ця величина досягла практично 6 відсотків, в порівнянні з 5,12 відсотками в 2001 році [1]. Серед країн, що розвиваються, в країнах Африканського континенту і Океанії фрахтова складова в ціні товару найбільш висока і перевищує 12 і 11 відсотків, відповідно. У свою чергу, найнижчий рівень фрахтової складової в ціні товару серед цих країн має місце в країнах Азії - приблизно 8,4 відсотки, при тому що розвиток цих країн йде найбільш високими темпами. Середній приріст експорту і імпорту по групі з 40 відібраних країн досяг на початок 2004 року 14,8 відсотків. Найвищий приріст експорту за даний період був зареєстрований в Кувейті (+40 відсотків), Лівані (+39 відсотків), Китаї (+35 відсотків) і Ємені (+ 26 відсотків). Найвищий приріст імпорту був досягнутий Азербайджаном (+58 відсотків), Китаєм (+40 відсотків), Катаром (+30 відсотків) і В'єтнамом (+26 відсотків) [4,5,6].

Звісно, що високий приріст товарообігу у значній мірі обумовлений високими темпами розвитку торговельного мореплавання цих країн. Азіатські країни сьогодні є одними з основних відправників і одержувачів вантажів, ці країни володіють [7] 35,8 відсотками суден-контейнеровозів, на їх частку припадає 45,7 відсотків всіх операторів контейнерних ліній, 60,4 відсотків плавскладу, що забезпечують контейнерні перевезення, 62,3 відсотки об'ємів перевалювання контейнерів в портах, 64,7 відсотків контейнерних операторів в портах, а також 83,2 відсотки будівництва контейнерних суден і 99 відсотків утилізації контейнерного тоннажу [6]. В цілому, за останні три роки, флот азіатських країн, що розвиваються, за дедвейтом щорічно зростає в середньому на 10%, що є найбільшим показником у світі. Доля дедвейту флоту цих країн складає сьогодні майже 25% від усього світового тоннажу, і це при тому, що 75% світового тоннажу складає тоннаж розвинених країн з ринковою економікою та країн відкритої реєстрації. У перші 35 найбільших морських країн, які володіють 97,5% всього світового тоннажу входять 12 країн Азії, а першу 10-ку складають 5 азіатських країн, що розвиваються [6].

На відміну від країн Азії, у цьому світовому таблиці Україна займає останнє 35 місце. За даними ЮНКТАД [8] її компанії володіють 389 транспортним судном загальним дедвейтом 2182573 т (0,28% загального світового тоннажу), з яких 91 судно загальним дедвейтом 1105126 т (тоб-

то більше половини всього дедвейту флоту країни) зареєстроване в країнах відкритої реєстрації. Слід також зазначити, що в національному реєстрі України ще числиться багато суден, які вже давно не експлуатуються, або знаходяться під арештом, чи вже продані за рішенням судів, і реально під національним прапором плаває 264 одиниці флоту загальним дедвейтом 949608 т., причому, протягом останніх років продовжується відтік тоннажу з-під українського прапору, що призводить до значного зменшення загального дедвейту флоту, середній вік якого становить понад 22 роки. Тенденції, що склалися, можуть призвести протягом наступних п'яти років до зменшення самохідного суховантажного транспортного флоту під національним прапором на 70% від обсягу теперішнього тоннажу. Звісно, що таке становище вельми суттєво гальмує розвиток національної економіки, бо значний економічний потенціал в сфері торговельного мореплавання, який є в країні, залишається невикористаним [9].

Світовий досвід свідчить, що сьогодні, для успішного просування своїх товарів на ринки збуту, необхідно мати ефективне транспортне забезпечення. Це обумовлене і значним зростанням цін на паливо і посиленням вимог до конструкцій транспортних засобів, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки та людського життя і загальним значним підвищенням рівня фрахтового ринку. Особливо це стосується сировини, виробів подальшої переробки та напівфабрикатів. За період з 2001 року Балтійський індекс суховантажів виріс більш ніж у 5 разів. Якщо у 2001 році фрахтова ставка за 1 т металу з Чорного моря на Південно-Східну Азію складала для handymax близько 20 доларів, то у 2004 р. вона переважила за 80 доларів, а це більше 15% у ціні товару. Тому, можна вважати, що у найближчому майбутньому пріоритет з економічного розвитку визначатимуть країни, які володіють тоннажем, достатнім для забезпечення фрахтової незалежності національної зовнішньої торгівлі, перш за все стратегічними вантажами. Особливо це стосується країн, що експортують сировину та продукцію незавершеного виробництва, бо значна фрахтова складова в ціні товару роблять цю товарну групу дуже чутливою до коливань світового фрахтового ринку. Для забезпечення фрахтової незалежності зовнішньої торгівлі України, з урахуванням її особливостей, необхідно мати національний тоннаж, який забезпечить можливість виконання 30-40 відсотків перевезень стратегічного експорту країни, тобто 14-15 млн. т вантажів. З урахуванням прогнозних даних про збільшення, починаючи з 2006 року, перевезень вантажів стратегічного експорту на ПСА і Китай і зменшення відповідних перевезень до Середземноморських країн, Центральної та Західної Європи, для виконання зазначеного обсягу перевезень буде додатково необхідно приблизно 2,5 млн. т дедвейту флоту. За такою структурою та обсягами перевезень середній дедвейт флоту складатиме приблизно 30 тис. т.

З загальної кількості суден, приблизно:

- суден дедвейтом до 20 тис. т – 30%
- суден дедвейтом 20-40 тис. т – 50 %
- суден дедвейтом 40-60 тис. т – 20%.

На сьогоднішній день у світі вартість однієї тисячі тонн дедвейту при будівництві флоту за такою структурою дорівнює приблизно \$ 0,6-0,7 млн. доларів США, вартість будівництва нового флоту складатиме приблизно \$ 1,7 млрд. доларів США, або близько 9 млрд. гривень

З урахуванням того, що в сучасних умовах кожні 6 суден дедвейтом близько 30 тис. т (після закінчення окупності у разі будівництва за рахунок кредиту) отримують прибуток, достатній для придбання кожні два роки ще одного такого ж нового судна, загальний обсяг необхідних сторонніх інвестицій для будівництва заданого дедвейту флоту протягом 10 років буде складати 1,1 млрд. доларів США, або 5,8 млрд. гривень. Ці кошти повинні бути вкладені в будівництво українського флоту протягом 2005-2010 років, що дозволить на кінець 2010 року досягти дедвейту національного флоту обсягом 1,1 - 1,25 млн. т.

З загального обсягу зазначених коштів:

- 2005-2006 рр. – 25%;
- 2007-2008 рр. – 35%;
- 2009-2010 рр. – 40%.

Будівництво флоту та судового устаткування повинно розглядатися як стратегічні інвестиції, що є чинником забезпечення стабільності і надійності транспортного обслуговування.

Таким чином, у країні назріла необхідність створення передумов для розвитку національного судноплавства за світовими стандартами, що забезпечить інвестиційну привабливість галузі перш за все для національних експортерів, які при наявності власного флоту підвищуватимуть конкурентоспроможність своїх товарів на основних ринках збуту.

Основними стримуючими факторами є відсутність попиту національної зовнішньої торгівлі на послуги з морського перевезення вантажів, недосконалість в країні інституційної діяльності з морського права, транспортної логістики, фрахтування суден, слабкість національної фінансово-кредитної системи, велике загальне податкове навантаження на судноплавний бізнес, поступова втрата суспільством морських традицій.

Вдосконалення саме цих макроекономічних умов і є тим ключовим чинником, який дозволить відродити національне судноплавство та ефективно реалізувати існуючий транспортний та транзитний потенціал країни.

Узагальнення світового досвіду розвитку торговельного мореплавства, критичний аналіз морської політики країн різних регіонів дозволили сформулювати такі основні принципи створення необхідних та достатніх умов розвитку торговельного мореплавства України [9]:

- **забезпечення конкурентного доступу до національної вантажної бази, заснованого винятково на досягненні найвищого економічного результату по всіх учасниках зовнішньоекономічної діяльності;**

- **реалізації національного режиму в судноплавстві, що надає режим найбільшого сприяння суднам під всіма без виключення прапорами, на які не розповсюджуються санкції міжнародного співтовариства, тобто режим тотожний тому, яким користуються судна під національним прапором;**

- **всесірної підтримки національного торгового мореплавання на недискримінаційній основі, яка дозволить національному тоннажу реалізовувати свої природні переваги, проте не буде, у принципі, позбавляти можливості реалізації таких переваг і будь-яке іноземне судно;**

- **відмови від прямого державного впливу на процеси розвитку і функціонування торговельного мореплавання України, а забезпечення державного регулювання цієї сфери діяльності винятково шляхом добровільної сертифікації суб'єктів господарювання на відповідність національним стандартам судноплавства, що розробляються, в технічній, технологічній, економічній і комерційній, соціальній областях;**

- **переважного перевезення експортних вантажів флотом, зафрахтованим українською стороною, торгового договору, тобто розповсюдження практики, коли при укладанні зовнішньоторгівельної угоди продавці і покупці оговорюють, яка кількість вантажу перевозиться флотом, що фрахтується українською стороною на умовах конкурентного доступу, безвідносно до встановлених транспортних умов (СІФ, ФОБ);**

- **рівних економічних можливостей на основі реалізації таких умов реєстрації національного тоннажу, які будуть схожі з тими, в яких працюють іноземні судовласники основних конкурентів при обов'язковому дотриманні високих вимог відносно всіх видів безпеки у судноплавстві, які встановлюються світовою спільнотою;**

- **типізації при проектуванні суден для забезпечення відповідності вимогам міжнародних стандартів судноплавства і забезпечення всіх видів безпеки з обов'язковим державним наглядом за подальшою зміною проектів і будівництвом суден, що дозволить зменшити будівельну вартість 1 т дедвейту флоту (досвід Совкомфлота);**

- **гарантованого дотримання міжнародних принципів, норм і правил в лінійному секторі торгового мореплавання України, що забезпечує рівень послуг, які надаються національним вантажовласникам, адекватний вимогам, що висувуються світовою спільнотою морським лінійним перевізникам на основі створення загальнодержавної системи нагляду.**

Виходячи з основних принципів створення необхідних та достатніх умов, обґрунтовано організаційно-економічний механізм роз-

витку торговельного мореплавання України, який охоплює:

- систему економіко-правових відносин по захисту майнових прав судновласників та фінансових інтересів інвесторів і кредиторів;
- систему економічних відносин між державою та судновласниками і операторами флоту щодо встановлення єдиного податку з тонни дедвейту замість існуючої в країні системи оподаткування;
- забезпечення економічної зацікавленості вкладання коштів у будівництво флоту, перш за все на українських верфях в результаті розвитку лізингової системи, пільг на оподаткування тієї частки прибутку, що інвестується у суднобудування та відновлення українського суднобудування перш за все шляхом розробки заходів по зниженню собівартості робіт на 15- 20% та підвищенню продуктивності праці до 40-50 т дедвейту за рік на одного працюючого (у Японії – 450, у Південній Кореї – 250);
- інституалізацію в країні логістичної, фрахтової діяльності та діяльності з морського права, сприяння створенню єдиних операторів мультимодальних перевезень, операторів контейнерних терміналів в середині країни;
- розвиток можливостей портової системи щодо підвищення дедвейту суден, які обробляються, пропускної спроможності митних терміналів, забезпеченню усіх видів безпеки на морському транспорті;
- систему підтримки та розвитку морських традицій в країні, підготовки кадрів, науки та освіти.

Реалізація розробленого організаційно-економічного механізму розвитку торговельного мореплавання дасть можливість залучити потенціал суднобудівної, морської та річкової підгалузей до розвитку економіки України, створити значну кількість додаткових робочих місць у сфері, яка має в Україні значний кадровий потенціал, тобто фахівців, які вимушені сьогодні шукати можливості реалізації своїх професійних можливостей переважно за кордоном. Завдяки цьому підвищиться соціальний рівень життя населення, збільшиться рівень заробітної плати, зростуть надходження від її оподаткування.

Крім того, створення умов інвестиційної привабливості та сталого функціонування судноплавних компаній сприятиме будівництву флоту, який дозволить його власникам отримувати на рік близько 1325 млн. грн. прибутку. Зведений бюджет України щорічно отримуватиме додатково близько 135,15 млн. грн. єдиного податку на дедвейт та близько 50 млн. грн. податку з доходів фізичних осіб плавскладу та берегового персоналу. До Пенсійного фонду України додатково надійде близько 116,6 млн. грн. Одночасно з цим, суднобудівні підприємства перерахують 16,96 млн. грн. податку з доходів фізичних осіб та 48,23 млн. грн. до Пенсійного та інших фондів. Зростання обігу коштів у банківській сфері

та використання залишків на рахунках судноплавних компаній забезпечить додаткове надходження до Державного бюджету України більше 37,1 млн. грн. щорічно у вигляді податку на прибуток банківської сфери. Таким чином, щорічно до Державного, місцевих бюджетів та соціальних фондів буде надходити додатково близько 424 млн. грн.

Пільги, необхідні для реалізації розробленого організаційно-економічного механізму розвитку торговельного мореплавання України, складатимуть близько 160 млн. грн. на рік, тобто близько 0,15% прибуткової частині бюджету 2005 року. Починаючи з 2009 - 2010 року надходження від експлуатації флоту почнуть покривати втрати щодо звільнення від оподаткування. Таким чином, рентабельність звільнення від оподаткування складатиме не менш як 16,7% річних.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *WTO (2004a). International Trade Statistics Database. Geneva, World Trade Organization / <http://www.tradecompass.com/news/index.htm>.*
2. *IMF (2004a). International Financial Statistics (database). Washington, DC, International Monetary Fund. / <http://dataweb.usitc.gov>.*
3. *Eurostat (2004). An overview of the economies of the newmember states. Statistics in focus; Economy and Finance, Theme 2. 17/2004. Luxembourg / <http://www.ramsar.org>.*
4. *4.China Economic Information Network (2004). Six weaknessesof the Chinese economy. Accessed in March: [www.cei.gov.cn](http://www.cei.gov.cn).*
5. *EIU (2004a). Country Forecast, China. Hong Kong (China), London and New York, Economist Intelligence Unit, July / <http://www.unctad.org/en>*
6. *ESCWA (2004). Survey of Economic and Social Developmentsin the ESCWA Region 2004: Summary (E/ESCWA/EAD/2004/3, 7 April). New York and Beirut, United Nations Economic and Social Commission for Western Asia. / <http://www.unctad.org/en/>*
7. *The BRS annual review of world shipping and shipbuilding developments in 2003 / 12-14, Rond-Point des Champs – 75008 PARIS, 2004. – 115 p.*
8. *REVIEW OF MARITIME TRANSPORT, 2004 / Report by the UNCTAD secretariat –UNITED NATIONS New York and Geneva, 2004. – 153 p.*
9. *Котлубай О.М. Економічні механізми розвитку торговельного мореплавання в Україні. – Одеса: ІПРЕЕД НАН України, 2004. – 453 с.*

Надійшла 17. 06. 05

## СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПОРТОВОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

*В статті пропонується нова для умов економіки України транспортно-економічна характеристика морського торговельного порту, розглядаються основні тенденції розвитку світового портового господарства і обґрунтовуються пропозиції щодо використання досвіду портів ведучих країн з ринковою економікою в українських умовах.*

*Ключові слова: морський торговельний порт, ринкові умови, конкуренція, розподіл портових функцій, приватизація, портове господарство.*

В умовах лібералізації міжнародної торгівлі, інтернаціоналізації сфери виробництва і розподілу товарів, економічної інтеграції окремих країн і регіонів радикальні зміни відбуваються у системі морських перевезень. Ці зміни ведуть до формування організаційної, технологічної, комерційної, економічної і правової бази світової транспортної системи XXI століття [1], в якій морські торговельні порти покликані відігравати одну з ведучих ролей.

Морські торговельні порти стають активною частиною великого і дуже динамічного конкурентного середовища. При цьому конкурентна боротьба між портами здійснюється не тільки на національному рівні, але й розповсюджується на регіональний і міжрегіональні рівні.

В сучасних умовах розвитку світової економіки торговельні порти стають не тільки сполучною ланкою між сушею і морем в ланцюгу руху товарів, але й промисловими, комерційними центрами, а також центрами вантажорозподілу та інформаційного забезпечення в системі виробництва та розподілу товарів.

Розвивається процес диверсифікації портових послуг, які в сучасних умовах виходять за межі звичайного порту. Одним із прикладів цього є розподільча діяльність, невід'ємною частиною якої стає інформаційна інфраструктура (інфоструктура), яка включає комплексну систему збору, обробки і розподілу інформації. Тому сучасну діяльність портів у сфері вантажорозподілу можна представити у вигляді наступної схеми (рис.)[2].





Рис. Вантажорозподільча діяльність порту

Розвиток розподільчої функції портів обумовлює появу на близьких до портів територіях підприємств і організацій, які пов'язані з промисловим виробництвом, комерційним, інформаційним, фінансовим та іншими видами обслуговування вантажів, що проходять через них. Поблизу портів з'являються складальні та інші підприємства, які отримують сировину і комплектуючі матеріали через порт або відправляють через нього свою готову продукцію, створюються банківські, страхові та інші організації, діяльність яких також пов'язана з портом.

Ускладнення структури і методів обміну результатами виробництва і організації перевезень вимагає від портів вміння включатися до комерційних мереж, перетворюватися в центр «послуг» і один з ведучих елементів системи торгівлі в регіоні та країні.

Перетворення в портовій діяльності, які обумовлені об'єктивними процесами в розвитку світової економіки і загостренням конкурентної боротьби між портами, вимагають суттєвих змін у поняттях і традиціях, які склалися у попередні часи.

На жаль, переліковані тенденції у розвитку світової економіки, перетворення в портовому господарстві, розвиток нових функцій торговельних портів в Україні вивчаються недостатньо і практично не використовуються при формуванні стратегічних напрямків розвитку її портів.

Це визначає мету даної статті та задачі, які слід розв'язати, щоб її досягнути. *Метою статті* є узагальнення тенденцій розвитку світового портового господарства та визначення основних стратегічних напрямків розвитку портового господарства України. Для досягнення цієї мети в роботі розглядаються питання визначення транспортно-економічної характеристики сучасного морського торговельного порту, розподілу портових функцій між органами державної влади і комерційними структурами, питання економічної самостійності морських торговельних портів, ролі приватного сектору у діяльності та розвитку портів, питання роботи портів в умовах конкурентної боротьби, а також формулювання основних напрямків розвитку портів України в ринкових умовах з врахуванням світового досвіду.

Аналіз світового досвіду розвитку портової системи [4,5] свідчить:

1. Зміна ролі морських торговельних портів в системі світової торгівлі і морських перевезень, поява нових функцій, які пов'язані з необхідністю задоволення все зростаючих потреб вантажовласників і судновласників, веде до зміни транспортно-економічної характеристики сучасного морського торговельного порту.

У світі уже давно не розглядають морський торговельний порт як транспортне підприємство (будь то державне або приватне). *Порт розглядається як складна транспортно-виробнича система, що об'єднує підприємства, організації та установи різних форм власності, функціонує на певній ділянці морського узбережжя, забезпечує і реалізує комплекс адміністративних та комерційних функцій, які пов'язані з переміщенням товарів зовнішньої і внутрішньої торгівлі з сухопутних видів транспорту на морський і у зворотньому напрямку, обслуговуванням пасажирів, морських суден та інших транспортних засобів, забезпеченням економічної, екологічної та інших видів безпеки держави, включаючи безпеку морського торговельного мореплавства [3].*

Вказаний підхід до транспортно-економічної характеристики порту дозволяє передовим у галузі торговельного судноплавства державам правильно будувати політику у сфері управління портовим господарством країни, чітко розмежувати область діяльності державних структур і комерційних підприємств у портовій зоні, забезпечуючи на цій

основі ефективного функціонування портів, розв'язувати інші задачі ефективного розвитку національних портових систем і пов'язаних з їх діяльністю галузей народного господарства.

Саме такий підхід до транспортно-економічної характеристики порту повинен бути покладений у законодавчі акти щодо портового господарства України.

2. В країнах з розвинутою ринковою економікою простежується тенденція чіткого розподілу функцій в портовій діяльності.

Одна частина функцій пов'язана з виконанням портовим сектором економіки країни державних зобов'язань. Основні з цих функцій наступні:

- виконання обов'язків державної служби, які полягають в обслуговуванні зовнішньої торгівлі в інтересах національної економіки;
- перетворення портів країни в ефективний інструмент освоєння територій шляхом зміцнення економічного потенціалу прибережних районів;
- виконання позитивної соціальної ролі, підтримання рівня зайнятості та створення нових робочих місць, а також сприяння підвищенню рівня життя і поліпшенню умов у портових зонах.

Для реалізації цих функцій на загальнодержавному рівні у багатьох країнах створюють державний орган (наприклад, департамент або управління в міністерстві транспорту), який, звичайно, розв'язує такі задачі:

- розробляє загальнодержавну політику в сфері портової діяльності;
- визначає параметри портової системи, яку держава хотіла б мати на своїй території;
- приймає рішення відносно усіх важливіших об'єктів інфраструктури, які безпосередньо і в значній мірі впливають на національну економіку і землекористування;
- розробляє середньострокові та довгострокові плани розвитку портових центрів (на рівні концепції);
- визначає ділянки для спорудження великих портових центрів і розміщення важливіших об'єктів і обладнання;
- визначає статус портів з точки зору державної власності тощо.

Таким чином, світова практика свідчить про те, що держава повинна встановлювати «правила гри», яких належить дотримуватися у своїх взаємовідносинах уряду, операторам і клієнтам. В той же час, держава не втручається у виробничо-фінансові справи учасників портової діяльності.

Друга частина функцій безпосередньо пов'язана з процесом просування вантажів через порт. Вони відносяться до так званих зовнішніх функцій морського торговельного порту і можуть бути чітко поділені на дві групи – адміністративні і комерційні.

### **Адміністративні функції:**

- контроль за дотриманням прикордонного режиму;
- контроль за дотриманням санітарного і фітосанітарного режимів;
- державний нагляд за мореплавством в портових водах;
- контроль за використанням державного майна;
- контроль за дотриманням діючих законів держави;
- нагляд за дотриманням міжнародних правил і договорів України про мореплавство.

Адміністративні функції виконуються різними державними організаціями, які в своїй діяльності взаємодіють з органами портового управління, але у функціональному відношенні їм не підпорядковані.

### **Комерційні функції:**

- навантажувально-розвантажувальні роботи і пов'язані з ними операції;
- обслуговування морських суден та інших транспортних засобів;
- перевезення вантажів і пасажирів портовим флотом;
- берегові роботи і операції, які виконуються у «тиловій» частині порту і за межами його території;
- інформаційна і вантажорозподільча діяльність.

Як видно з переліченого, розподіл функцій, які пов'язані з реалізацією цілей і задач портового господарства країни, у світовій практиці здійснюється на двох рівнях:

- на загальнодержавному рівні здійснюється розподіл функцій між органами державного управління портовою системою в цілому і її окремими складовими, тобто морськими портами;
- на рівні окремих морських портів здійснюється розподіл функцій між органами державного управління і комерційними структурами.

3. У всіх країнах світу спостерігається намагання державних органів надати широку економічну самостійність морським торговельним портам.

В країнах з розвинутою ринковою економікою управління функціонуванням і розвитком портів переноситься на рівень місцевих органів державної влади (місто, штат). Це дозволяє організувати ефективний державний контроль за діяльністю портів за рахунок наближення власника майна, якщо воно державне, до місця його викорис-

тання, об'єднання інтересів місцевих органів державної влади і функціонуючих на підпорядкованій їм території портів. Це забезпечує більш високий рівень ефективності функціонування і розвитку портів.

4. До важливого напрямку розвитку світової портової системи слід віднести підвищення значення приватного сектору в діяльності та розвитку морських торговельних портів. При цьому мова йде не про одноособовий приватний капітал, а про колективний (акціонерний), коли співвласниками підприємств і організацій, які функціонують у портовій зоні, стають не тільки окремі інвестори, але й їх трудові колективи, органи місцевої влади, партнери по спільній роботі в порту. Це дозволяє об'єднати інтереси усіх учасників просування вантажів через порт і на цій основі значно підвищити економічну ефективність функціонування портового комплексу.

Широке використання приватного капіталу в портовій діяльності пояснюється багатьма причинами, але перш за все низькою ефективністю централізованого державного управління в умовах інтенсивного впровадження і використання досягнень науково-технічного прогресу.

Морські торговельні порти Західно-Європейських країн, Японії, Сполучених штатів Америки зараз є найбільш ефективними у світі, тому що в їх діяльності широко використовуються недержавні форми власності.

5. Всі морські торговельні порти світу працюють в умовах жорсткої конкурентної боротьби. Конкуренція сприяє впровадженню в портову діяльність досягнень науково-технічного прогресу в сфері технології, організації та управління навантажувально-розвантажувальними та іншими портовими операціями, що визначає високий рівень економічної ефективності діяльності і розвитку передових портів світу.

Сьогодні на ринку портових послуг сформувалася ситуація, яка характерна для «ринку покупця», коли попит на портові послуги значно нижчий сумарної пропускної спроможності портів. В цих умовах на ринку портових послуг домінують транспортні оператори, які представляють інтереси вантажовласників. Тому портова влада і портові оператори повинні вивчати потреби вантажовласників і робити все можливе для їх задоволення при мінімально можливій ціні та високій якості. В протилежному випадку вони можуть зазнати поразки у конкурентній боротьбі не тільки на ринку портових послуг, але й в цілому на транспортному ринку, тобто вантажопотоки можуть піти на інші види транспорту, які конкурують з морським на деяких напрямках.

Україна, якщо вона буде намагатися зберігати і розвивати свій потенціал морської і транзитної держави, в якому ведучу роль відіграє портове господарство, повинна враховувати досвід розвитку світових морських торговельних портів, щоб не програти в конкурентній боротьбі, перш за все, на Чорноморському регіональному ринку портових послуг,

таким великим портам як Констанца (Румунія) і Новоросійськ (Росія).

Щоб світовий досвід мав позитивний вплив на розвиток морських торговельних портів України, необхідно:

1. Перш за все відмовитись від намагання органів центральної влади втручатися в господарську діяльність морських торговельних портів шляхом проведення так званої єдиної транспортної політики з метою ліквідації конкуренції між вітчизняними портами.

Мета проведення єдиної державної політики у портовій діяльності – посилення втручання держави в господарську діяльність морських торговельних портів. Така єдина політика з самого початку є помилковою. Основний зміст такої політики спрямований на те, щоб дати можливість урядовим органам більше впливати на розміщення капіталу, втручатися в діяльність приватного сектору, видавати субсидії, підтримувати неефективні державні підприємства. Це не може дати добрих результатів і такі дії негативно вплинуть на продуктивність і конкурентоздатність.

Єдина господарська політика в тій чи іншій галузі народного господарства не може бути ефективною, тому що:

- урядовий орган (Мінтрансв'язку, Укрморрічфлот, Укрморпорт) не може планувати на тривалий період і не може не відставати від швидких безперервних змін, які мають місце на динамічних фінансових ринках і впливають на ринок портових послуг;
- більшість урядових чиновників за складом свого мислення і базовою освітою не є підприємцями або управлінцями, а деякі з них знають особливості роботи портової системи дуже мало, на рівні чуток;
- як правило, всі дії урядових органів мають обмеження з точки зору престижу політичної необхідності, представництва, відкритості.

Тому для підвищення продуктивності своєї діяльності та рівня конкурентоздатності порти повинні мати широку самостійність, яка не виключає необхідність розробки державних програм розвитку портового господарства країни. Але ці програми повинні бути індикативними і розроблятися науковими організаціями на концептуальному рівні.

2. В морські торговельні порти України слід більше залучати приватний капітал як у вигляді капіталовкладень, так і для удосконалення експлуатаційної діяльності. Мова йде про проведення приватизації комерційних функцій.

Приватизація – це перш за все переведення підприємств або організацій, які знаходяться у власності або під контролем держави, в умови конкурентної боротьби на ринку. За необхідність здійснення цього процесу виступає три головних аргумента:

- розширення номенклатури послуг, які пропонуються клієнтам, і збільшення обсягів переробки вантажів і послуг;
- збільшення обсягів фінансування портових споруд і обладнання на засадах залучення до цього процесу приватних коштів;
- підвищення ефективності управлінської діяльності.

Приватизація ряду важливих портових функцій, особливо навантажувально-розвантажувальних робіт, експедування вантажів, агентування суден, постачання продовольчих і матеріальних ресурсів, повинна супроводжуватися заходами, що пов'язані з забезпеченням вільної конкуренції.

Як свідчить світовий досвід, політики не люблять віддавати владу і контроль за робочими місцями. Але той же досвід показує, що держава майже завжди діє менш ефективно, ніж приватний сектор. Приватний сектор виробляє товари і послуги дешевше і більш якісно, швидше пристосовується до нових технологій, вимогам ринку.

3. Для підвищення конкурентоздатності українські порти повинні здійснювати організаційно-структурні перетворення, що пов'язані з удосконаленням економічної діяльності через зміну форм власності і подальший розвиток системи управління. Кроком у цьому напрямку, паралельно з процесами роздержавлення і приватизації комерційних функцій, повина стати передача інфраструктури портів і важкого перевантажувального обладнання у комунальну власність. Такий крок буде відповідати положенням Європейської Хартії місцевого самоврядування, яку Рада Європи прийняла у 1985 році і Верховна Рада України ратифікувала (у відповідності до статті 9 Конституції України ця Хартія є законом України).

У світі найбільш ефективно розвиваються і функціонують порти, інфраструктура і важке обладнання яких знаходиться у комунальній (муніципальній) власності, тому що це дозволяє:

- правильно сполучати загальнодержавні інтереси з інтересами регіону (міста), тому що в ринковій економіці діє принцип: що вигідно території, то буде вигідно і державі;
- пов'язати інтереси порту та інших учасників процесу просування вантажів від виробника до споживача;
- усунути міжвідомчі (міжгалузеві) бар'єри;
- суттєво впливати на рішення соціально-економічних проблем розвитку порту і міста;
- розв'язувати соціальні конфлікти, що можуть виникнути у зв'язку з використанням в порту сучасних комунікаційних і перевантажувальних технологій, які неминуче приведуть до звільнення працівників;

- пов'язати плани розвитку міста і порту. В таких планах є можливість скоординувати та узгодити усі функції міста і порту, що дуже необхідно для успіху в гострій конкурентній боротьбі;
- збільшити інвестиційну привабливість як порту, так і міста;
- зменшити небезпеку екологічних катастроф, тому що узгоджені дії влади міста і порту дозволять виключити подібні пригоди або значно зменшити негативний вплив портової діяльності на оточуюче середовище.

Передача інфраструктури портів і деяких об'єктів суперструктури в комунальну (муніципальну) власність вигідно усім: державі, місту, порту, іншим підприємствам і організаціям міста, які взаємодіють з портом.

4. Морські торговельні порти не є природними монополістами, тому вони повинні уміти функціонувати і розвиватися в умовах жорсткої конкурентної боротьби. Конкуренція – стимул зростання і розвитку. Продуктивність праці досягає самого високого рівня в умовах конкуренції і самого низького – при її відсутності.

Протекціонізм у сфері портового господарства, який зараз присутній в Україні, не зробить наші порти більш ефективними. Без конкуренції портове господарство може дуже швидко прийти у занепад.

5. Важливою проблемою, яку повинні розв'язувати порти України, це підвищення якості трудових ресурсів [7].

Ця проблема в сучасних умовах має декілька аспектів: старіння кадрів, низький рівень кваліфікації, а інколи і відсутність її, недостатня увага до матеріального і морального стимулювання керівних кадрів, перш за все, у сфері управління виробничими процесами.

В морських торговельних портах дуже багато спеціалістів, які досягли пенсійного віку, але продовжують працювати. Це впливає на ефективність управління, тому що погіршуються можливості просування по службі молодих, ініціативних, з новими знаннями спеціалістів.

Якщо керівники галузі і портів не знайдуть шляхів оновлення управлінського апарату, вони постійно будуть стикатися з труднощами в організації високопродуктивної праці.

Аналіз кваліфікаційного рівня управлінських кадрів свідчить, що в морських торговельних портах тільки 30-35 % керівників і спеціалістів мають професійну підготовку, яка відповідає посаді, яку вони займають.

Керівники портів зобов'язані збільшувати обсяги інвестицій у «м'яку» сторону капіталовкладень – людський капітал, який дуже важливий для збільшення продуктивності праці. Вони повинні розглядати людський капітал не просто як витрати на заробітну плату, а як активи портів, які слід грамотно використовувати.



Важливе значення для підвищення ефективності роботи адміністрації порту, а також підприємств і організацій, які функціонують в порту, є прозорість їх роботи.

Всі розмови про комерційну тайну у данному випадку не мають під собою жодної підстави. Те, що відбулося, не може складати предмет комерційної тайни.

Відкритість роботи комерційних структур сприяє зростанню рівня їхньої конкурентоспроможності.

Окрім того, для підвищення рівня продуктивності підприємства і організації повинні доводити до своїх працівників усі натуральні і фінансові показники своєї діяльності. Це дозволяє зв'язати загальні цілі і задачі, створює основу партнерства між керівниками та іншими працівниками, дозволяє покращити діяльність. Інформація працівників не з допомогою загальних закликів, а конкретних показників є потужним інструментом розвитку будь-якої виробничої і управлінської структури.

6. Сьогодні українські порти представляють важковагові структури зі складною системою управління, яка склалася ще в радянські часи. Реформування організаційних структур управління повинно йти у слідуючих напрямках.

Перш за все, структура управління повинна бути орієнтована на споживачів портової продукції і послуг – вантажовласників та їх представників (експедиторів), судновласників та їх агентів.

В портах необхідно проводити роботу з децентралізації управлінської структури і ліквідації функціональних бар'єрів. Останнє означає орієнтацію на так званих "багатофункціональних" спеціалістів, тобто спеціалістів, які володіють значним запасом знань не тільки у своїй вузькій сфері діяльності, але й у навколишніх областях.

Як у сфері виробництва, так і в сфері управління необхідно орієнтуватися на невеликі підрозділи, які укомплектовані меншою кількістю, але більш висококваліфікованих людей. «The small is beautiful» – це одне із правил професійного менеджменту.

Світовий досвід свідчить [9], що в підрозділах повинно бути не більше 500 людей, а на кожній ділянці роботи групи повинні бути не більш 15-20 людей.

В сучасних умовах в портах спостерігається велика кількість штабних працівників. Необхідно скорочувати кількість рівнів управління, а штабних працівників наближати до виробничих підрозділів.

**Висновки.** Огляд досвіду розвитку світового портового господарства і оцінка його впливу на розвиток морських торговельних портів України свідчить про складність проблеми підвищення ефективності і конкурентоздатності цієї важливої сфери економіки України. Як видно з викладеного, виникає необхідність розробки концепції розвитку портів України та затвердження її на рівні Кабінету Міністрів країни.

При цьому, розробка такої концепції повинна здійснюватися на наукових засадах з урахуванням руху економіки в ринкові умови і намагання України інтегруватися в Європейський Союз.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. *Портовый маркетинг и задача создания портов третьего поколения // Доклад секретариата ЮНКТАД – Женева, 1992. – (Предпр. / ЮНКТАД. ТД/В/С/4/АС/7/14). – 78 с.*
2. *Чекаловец В.И., Меркт Е.В. Методические основы формирования концепции портовой зоны и портового сообщества на морском транспорте // Транспортный комплекс Украины: экономика, организация, развитие: Сб. научн. тр. – Вып. 9-10. – К.: ИКТП, 2001. – С. 220-231.*
3. *Чекаловец В.И., Олефир И.М. Транспортно-экономическая характеристика морского торгового порта // Развитие методів управління та господарювання на транспорті. Зб. наук. праць. – Вып. 13. – Одеса: ОНМУ, 2002. – С.42-53.*
4. *Чекаловец В.И. Эволюция мировой портовой системы и её влияние на стратегию развития морских торговых портов Украины // Транспорт. – № 28 (248). – 2003. – С.54-62.*
5. *Совершенствование управления морскими торговыми портами / В.И. Чекаловец, Л.П. Колодин, Г.П. Столяров и др. – Одесса: ОНМУ, 2002. – 142 с.*
6. *Чекаловець В.І., Олефір І.М., Пустовіт О.Г. Реструктуризація портового господарства України: проблеми, принципи та основні напрямки // Економіст. – № 2. – 2004. – С.42-48.*
7. *Чекаловец В.И., Соколова О.С. Человеческий капитал на транспорте: нужно менять взгляды и подходы // Транспорт. – № 7. – 2005. – С.59-63.*
8. *Чекаловец В.И. Программа совершенствования управления и развития морского портового хозяйства Украины: некоторые заметки по её содержанию // Транспорт. – № 50 (270). – 2003. – С. 54-58.*
9. *Грейсон Дж. К. мл., О'Делл К. Американский менеджмент на пороге XXI века: Пер. с англ. – М.: Экономика, 1991. – 319 с.*

Надійшла 16. 05. 05

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ ИНТЕГРАЦИИ В СИСТЕМЕ «ПРОИЗВОДСТВО – ТРАНСПОРТ»

*Интеграция промышленных и транспортных организаций в рамках единого хозяйственного организма привела к созданию образований нетрадиционного типа в виде ПТК (производственно-транспортный комплекс) и ПТС (межотраслевой производственно-транспортной системы).*

*В ПТК взаимодействующие виды транспорта стыкуются не в транспортном предприятии (традиционно порт), а в производственном (завод); флот обрабатывается в основном средствами завода.*

*В ПТС производственные и транспортные объединения взаимодействуют для производства и доставки продукции потребителям внутри и вне страны, причем в традиционном кооперировании все большее значение приобретают черты комбинирования. Транспорт и производство выступают как равноправные участники процесса.*

*Ключевые слова: интеграция, транспортно-технологическая схема (ТТС), производственно-транспортный комплекс (ПТК), производственно – транспортная система (ПТС).*

Одним из основных направлений развития народного хозяйства страны является все более широкое внедрение в экономику комплексных многоцелевых народнохозяйственных программ (КМНХП). Выполнение подобных программ требует скоординированных усилий сотен предприятий, объединений, ведомств и отраслей промышленности и транспорта, причем для каждого предприятия-участника задача выполнения общей конечной цели (особенно в условиях отраслевой системы управления народным хозяйством), далеко не всегда превалировала над решением своих ведомственных задач. Без решения организационных проблем согласованного функционирования всех участников, развитой системы внутри и межотраслевой интеграции выполнение КМНХП неэффективно или невозможно.

Как показывает практика, основные резервы повышения эффективности выполнения КМНХП имеются не в технической сфере, а в области оптимизации решения организационных проблем.

## Интеграционные процессы в промышленности

Традиционно в литературе различают две основные формы интеграции – координацию и взаимодействие. Взаимодействие является одной из целей координации, а координация выступает в качестве важного рычага взаимодействия всех подразделений целостного экономического организма и всегда направлена на согласование работы взаимодействующих систем, на установление прочных организационных связей между ними.

Координация, взаимодействие и формы организации производства общеприняты в экономической литературе. Однако глубинные процессы в экономике в современных условиях стимулируют возникновение организационных структур нетрадиционного типа, с формами организации производства, основными, на интеграционных процессах. Именно поэтому в правую ветвь на рис. 1 включена кооперация (при наличии в средней ветви кооперирования), сущность которой подробнее рассматривается далее.

Развитие интеграции в экономике – явление объективное, но сам процесс – планомерно регулируемый.



Рис. 1. Формы организации и интеграции в общественном производстве

Сущность сложившихся к настоящему времени форм общественного производства (рис.1.) достаточно подробно анализируется

в специальной литературе. В контексте анализируемой проблемы существенны следующие выводы:

- та или иная форма организации производства определяется преобладающей в данном объединении формой интеграции;
- первые три формы (концентрация, специализация, кооперирование) представляют собой в основном формы отраслевой организации производства, четвертая (размещение) – территориальной;
- все формы организации общественного производства взаимосвязаны, но в любом экономическом образовании можно, как правило, выделить преобладающую форму;
- интеграционные процессы развиваются на отраслевой или межотраслевой основе, могут быть простыми или сложными, но не меняя своей экономической сущности проявляются по разному в разных сферах экономики. Так, организационные формы интеграции в промышленных отраслях существенно отличаются от интеграционных образований в агропроме; формы интеграции на транспорте отличаются от тех и других и т.д.

Исторически в качестве основного звена экономики, фундамента организационной структуры народного хозяйства сформировалось предприятие, которое объединяло обычно весь комплекс производств, обеспечивающих выпуск конечной продукции.

Государственные предприятия работали строго в рамках государственного плана (составленного практически без их участия), не обладали реальной экономической самостоятельностью и практически исчерпали свои резервы повышения эффективности общественного производства уже к началу 70-х годов.

В 80-х годах научно-технический прогресс в области совершенствования общественного производства характеризуется созданием производственно-хозяйственных комплексов разного типа и разных уровней.

В контексте анализируемой проблемы (интеграционные процессы в экономике) существенны следующие соображения:

- комплексные многоцелевые народнохозяйственные программы имеют межотраслевой характер и формируются не по территориально – отраслевым признакам, а по единству решаемой проблемы;
- каждая программа имеет развитую индивидуальную схему межотраслевых связей;
- разработка и реализация программы определяет состав и последовательность принятия управленческих решений на каждом этапе;
- выполнение программы предполагает скоординированные действия сотен или тысяч участников и в связи с этим правомерно рассматривать программу не только в качестве информационной базы для

принятия управленческих решений, но и как форму организации производства (типа разноместного объединения) более высокого (по сложности связей) ранга.

Необходимо отметить, что образование объединений и возрастание их роли, неразрывно связанное с процессами концентрации производства в народном хозяйстве, чревато опасностью монополизации в производстве определенной продукции. Единственный путь борьбы с монополизацией – развитие конкуренции; именно на это в развитых странах направлены так называемые антitrustовские законы, не допускающие появления в отрасли единственного производителя.

Анализируя особенности форм организации производства и соответствующих им структурных образований в народном хозяйстве, можно сделать несколько выводов.

1. В настоящее время звеном экономики, образующим фундамент производственной и организационной структуры народного хозяйства, является предприятия и объединения, сформированные по разным принципам. Каждый вид объединений имеет свою преобладающую форму организации производства и вид интеграционных связей. Потребность в создании объединений была объективной, диктовалась достигнутым уровнем развития производства, науки и техники, но в условиях командно-административных методов управления экономикой, превалирования ведомственных и местных интересов создание их проводилось зачастую формально, темпы роста выпуска продукции и производительности труда в них оказались не выше, чем на обычных предприятиях.

2. В конце 80-х г. меняются основные принципы формирования производственных объединений, создававшихся ранее преимущественно административным путем. Основным стимулом их возникновения во все большей мере становится не команда сверху и ведомственные интересы, а экономическая целесообразность, ведущая к трансформации объединений по межотраслевому принципу в добровольные объединения предприятий на паевых началах, в виде ассоциаций, концернов, и т.п., причем предприятия сохраняют самостоятельность.

3. Представление интеграции как неуклонного движения от мелких предприятий к все более и более крупным путем механического объединения предприятий под общей организационной и юридической крышей ошибочно. Мелкие и средние предприятия не только партнеры объединений, но и самостоятельные звенья в экономике.

4. Интеграционные процессы в экономике, проявляющиеся в многообразии организационных форм и структур, начиная с первичного производственного звена и выше, присущи всем отраслям народного хозяйства, но в каждой отрасли имеют свои особенности, в частности, на транспорте.

## **Интеграционные процессы на транспорте**

Транспорт является сферой материального производства и глубинные процессы в экономике не могут не находить отражения в организации работы отдельных видов транспорта как обособленных систем и в комплексе – в составе единой транспортной системы страны. Это находит свое отражение в особенностях развития интеграционных процессов на транспорте. Каждый вид транспорта со своей инфраструктурой можно рассматривать как достаточно самостоятельную подотрасль в составе транспорта в целом как отрасли материального производства.

К настоящему времени интеграционные процессы на транспорте нашли воплощение в следующих организационных формах: пункты перевалки грузов, объединенные транспортные предприятия, транспортные узлы (ТУ), транспортно-технологические системы (ТТС).

С точки зрения участия морского транспорта наибольшее значение имеют последние три типа интеграционных образований – ТУ, ТТС, ТПС.

Становлению, месту, значению и экономической сущности интеграционных образований на транспорте посвящена обширная библиография. Кратко отметим следующее.

ТУ – составной элемент единой транспортной системы (ЕТС), роль которого в ЕТС аналогична роли портов для водного транспорта и грузовых станций для железной дороги. Он действует на основе непрерывного взаимоувязанного планирования работы предприятий ТУ.

ТТС – это комплекс согласованных и взаимосвязанных технических, технологических, экономических, организационных и коммерческо-правовых решений (мероприятий), позволяющих с максимальным эффектом и наименьшими трудовыми затратами обеспечить перевозки грузов на конкретных направлениях от отправителя до получателя. При этом судно, портовые устройства, подвижной состав других видов транспорта, складские устройства клиентуры рассматриваются как отдельные элементы ТТС с едиными требованиями к их параметрам (С.М. Кочетов).

Эффективная эксплуатация специализированного флота ТТС достигается путем его использования в линейном судоходстве и организации работы по твердому расписанию с минимальным числом портов захода, комплексной стандартизацией всех технических средств, используемых в ТТС независимо от ведомственной или национальной принадлежности.

ТПС – это человеко-машинный комплекс, обеспечивающий оптимальное протекание процесса доставки грузов «от двери до двери». В основе ТПС лежит единая технология, но только той части грузов, которая доставляется в виде УГМ (укрупненных грузовых мест).

Правомерность применения самих терминов (ТТС – транспортно-технологическая система и ТПС – транспортно-производственная система) представляется недостаточно обоснованной, поскольку:

- ставший традиционным термин «транспортно-технологическая система», ТТС, неправилен, т.к. в свою очередь состоит из терминов разных классификационных уровней – «транспорт» (отрасль материального производства) и «технология» (способ и совокупность средств проведения процесса);

- в понятии ТПС один неправомерный термин (ТТС) заменяет или дополняет другой неправомерный термин – «транспортно-производственная система, ТПС». Системный подход предполагает такое сочетание элементов, при котором создается новое интегральное свойство, новое качественное единство, которое при дальнейшем шаге «вниз» это интегральное свойство теряет, элементы распадаются из рамок единого целого. В термине «ТПС» есть «транспорт», но отсутствует «производство» (как процесс создания вещественной продукции) поскольку речь идет о технологии доставки грузов (УГМ) «от двери до двери», сам процесс производства груза к исследуемому явлению отношения не имеет. «Система» (ТПС) действует в рамках ЕТС, осуществляется в границах системы «отправитель – транспорт – получатель» и, следовательно, из термина выпадает средний элемент («производственная»), а так как не может быть «системы» из одного элемента (в термине остается только первый элемент – «транспортно»), то пропадает и третий элемент термина – «система».

Роль «производства» сводится к тому, что конечным технологическим процессом любого производства должна быть подготовка производственного продукта к виду, удобному для перемещения в сферу потребления, а это требование относится к любому производству (пространственно разобщенному с потреблением) и не является специфической характеристикой «ТПС».

Если абстрагироваться от законов формальной логики, то основная уязвимость понятия «ТПС» в том, что за ним нет нового экономического содержания. Это та же «транспортно-технологическая система», ТТС, детально исследованная в литературе, но применительно к доставке генеральных грузов в виде УГМ, причем наибольшего развития эта ТТС получила в виде контейнерной транспортной системы (КТС) и лихтерной ТТС.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Интеграционные процессы в транспортном комплексе страны с участием морского транспорта развиваются по схеме: транспортные предприятия – транспортные узлы – транспортно-технологические системы (и их разновидность – транспортно-производственная система) – единая транспортная система.



2. На каждом уровне по вертикали преобладающие формы организации производства и вида интеграции соответствуют достигнутому уровню и типу экономических связей участников.

3. Если организационная структура и экономическая сущность интеграционных образований снизу вверх прослеживается достаточно четко, то определенность системы управления снизу вверх убывает.

4. Во внутритранспортных интеграционных образованиях участие промышленных предприятий-производителей продукции ограничивается оптимизацией и согласованием с перевозчиками транспортного состояния грузов.

5. Объединение промышленных и транспортных предприятий и организаций в качестве равноправных партнеров в рамках единого хозяйственного организма относится к интеграционным образованиям нетрадиционного типа на межотраслевой основе, в которых рассмотренные выше интеграционные процессы отдельно в промышленности и на транспорте проявляются в организационных формах, исследование которых в настоящее время находится в стадии становления.

### Межотраслевая (производство-транспорт) интеграция

Для выполнения комплексной народнохозяйственной программы производства и доставки определенной продукции министерства и ведомства различных отраслей народного хозяйства, практически все виды транспорта в той или иной форме, территориальные органы управления на всех уровнях (от местных до высших), снабженческо-сбытовые, научно-исследовательские и сотни других предприятий и объединений вступают в определенные производственные отношения, согласовывают свои усилия и вырабатывают организационные формы взаимодействия. Выполнение таких крупных хозяйственных программ уже в конце 70-х годов столкнулось с существенными трудностями. Основное препятствие – централизованное управление экономикой административно-командными методами по ведомственному и территориальному принципу, ведомственная разобщенность ресурсов и целей, местнические интересы участников. В тоже время объективные условия развития экономических процессов в недрах старого хозяйственного организма стимулировали появление новых организационных форм хозяйствования, не укладывающихся в традиционные схемы. Принятые в экономической литературе формы организации производства и интеграционных связей (рис 1) перестали охватывать все многообразие новых организационно-управленческих образований и структур в народном хозяйстве. Особенно это проявилось в тех отраслях, где производственные предприятия и объединения по специфике своей деятельности вынуждены входить во все более тесные взаимоотношения с транспортными предприятиями и в которых, в

связи с этим, роль транспорта резко возрастает, причем на принципиально новой основе – транспорт становится самостоятельным равноправным участником производственного процесса в составе функционально целостного хозяйственного организма. Интеграционные образования на нижнем уровне (уровне предприятий) назовем «производственно-транспортный комплекс (ПТК)».

Производственно – транспортный комплекс (ПТК) можно определить как интеграционное экономическое образование, в котором производственные и транспортные предприятия кооперируются для производства и переработки сырья и продукции и обработки технических средств взаимодействующих видов транспорта. Следовательно, ПТК – это нижняя (начальная) форма интеграции разноотраслевых (производственных и транспортных) предприятий. Термин производственно-транспортный комплекс состоит из двух базовых понятий: «производство» как процесс создания конкретной материальной продукции и «транспорт» – как перемещение продукции. Оба эти понятия самостоятельными по смыслу, относятся к разным сферам человеческой деятельности, но в составе термина объединяются третьим понятием – «комплекс» как совокупность явлений или предметов, составляющих одно целое.

Такая структура термина объективно выражает сущность исследуемого явления (интеграция разноотраслевых предприятий в составе целостного хозяйственного организма); корректна с точки зрения формальной логики, т.к. рассматриваются понятия одного классификационного уровня; оправдывает целесообразность применения системного подхода в качестве методологического аппарата исследования, поскольку ПТК как объект исследования обладает интегральными свойствами, которыми не обладают входящие в него элементы. Как система ПТК состоит из разноотраслевых производственных и транспортных предприятий. В составе ПТК эти предприятия выступают в качестве элементов системы, так как ниже этого уровня теряются интегральные, равные по значимости свойства всего комплекса: на следующем «вниз» уровне есть «производство» без «транспорта» и есть «транспорт» без «производства» (рис. 2). Если рассматривать ПТК как объединение транспортного узла и производственного предприятия (завода), то следуют важные для практики выводы: взаимодействующие виды транспорта стыкуются не в транспортном предприятии (традиционно – порт), а в производственном предприятии (завод); базовым предприятием и по чисто транспортным функциям является не транспортное предприятие (порт), а производственное – завод; морской порт (или его специализированный район) является частью транспортного (перегрузочного) цеха завода. Эти же выводы подтверждают проведенный анализ участия и значения основных производственных фондов завода действующего ПТК в чисто транспортных (перегрузочных) операциях по переработке продукции завода в

порту: флот в основном обрабатывается средствами завода.

Логично предположить, что и в организационном отношении специализированный по продукции завода грузовой район или перегрузочный комплекс порта должен входить в состав завода, оставляя за портом выполнение обычных агентских и обслуживающих флот функций.

Производственно-транспортный комплекс в свою очередь является элементом системы более высокого уровня интеграции – межотраслевой производственно-транспортной системы.



*Рис. 2. Функциональная схема производственно - транспортного комплекса*

Межотраслевая производственно-транспортная система (ПТС) представляет собой интеграционное образование, в котором производственные и транспортные объединения взаимодействуют для производства и доставки продукции потребителям внутри и вне страны.

На этом уровне в согласованную деятельность включаются главные производители продукции и транспортные организации по доставке сырья и продукции в ПТК и готовой продукции к потребителям. Сотрудничество осуществляется на уровне объединений. Формы интеграции в ПТС представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

Организационная структура	Преимущественные формы	
	Организации труда	Интеграции
А) Предприятия а – производственные б – транспортные	специализация комбинирование	–
Б) Производственно– транспортный комплекс(ПТК)	комбинирование размещение	кооперация
В) Производственно – транспортное объединение (ПТО)	размещение кооперирование	взаимодействие, координация
Г) Производственно – транспортная система (ПТС) (концерн)	кооперирование комбинирование	координация

Кооперация в применяемом контексте требует дополнительного обоснования и пояснения. На рис. 1 в средней ветви фигурирует «кооперирование», в правой ветви – «кооперация».

Термин «кооперация» применен в традиционном для экономической литературы смысле [1,2,3 и др.]. Однако, в современных условиях, когда объективные законы развития экономики стимулировали возникновение хозяйственно-экономических образований нового, нетрадиционного типа, кооперирование, как форма производственных связей между предприятиями и целыми отраслями, претерпевает существенные изменения: резко усиливается межотраслевой и межрайонный характер производственных связей; в кооперирование вовлекаются не только родственные отрасли определенного народнохозяйственного комплекса (например, машиностроение, топливознергетического, агропромышленного и т.д.), но и отрасли из разных комплексов (например, промышленные (про-

изводственные) и транспортные отрасли); в кооперировании все большее значение приобретают характерные особенности комбинирования.

Действительно, в литературе комбинирование это «...соединение в одном предприятии разных отраслей промышленности, представляющих собой либо последовательные ступени обработки сырья ..., либо играющие вспомогательную роль одна по отношению к другой (например, обработка отбросов или побочных продуктов; производство предметов упаковки и т.п.» [2].

Особенности интеграционных процессов в экономике наглядно проявляются в формировании организационных структур производственно-транспортного комплекса (ПТК) и межотраслевой производственно-транспортной системы (ПТС). В этих нетрадиционных экономических образованиях интеграция производства проявляется в форме сложной кооперации, причем наиболее явно это проявление на нижнем уровне (ПТК), где на первый план выступают взаимодействие и координация (таблица 1).

Под сложной (т.е. основанной на разделении труда и производства) кооперацией понимается такая форма организации труда, при которой предприятия и объединения разных отраслей и ведомств совместно участвуют в одном или разных, но связанных между собой процессах труда в рамках выполнения общей программы. Приблизительно кооперацию можно определить как «кооперирование плюс комбинирование».

Элементы межотраслевой производственно-транспортной интеграции неразрывно связаны с возникновением общественного разделения труда. Принципиальная разность между развиваемой выше концепцией межотраслевой интеграции с участием транспорта в виде ПТС и ПТК и другими формами межотраслевой интеграции с участием транспорта (например, в форме ТТС) – в трактовке роли транспорта в интеграционных образованиях разного типа, которая, в свою очередь, базируется на известном положении о двойственном характере транспорта (транспортная промышленность – самостоятельная отрасль производства, с другой стороны – продолжение процесса в пределах процессов обращения и для процесса обращения). Все интеграционные процессы и организационные образования до возникновения межотраслевых ПТС и ПТК реализуют только (или в основном) вторую сторону транспорта, а именно – обслуживание основного процесса-производства, т.е. в них транспорту отводится роль части инфраструктуры, при этом не учитывается (или почти не учитывается) и теряется первая особенность (то, что транспорт – самостоятельная отрасль производства). Такая роль транспорта до недавнего времени соответствовала уровню развития интеграционных процессов в народном хозяйстве. Даже в высокоорганизованных интеграционных образованиях с элементами межотрасле-

вой связей – ТТС, интересы транспорта учитывается грузопроизводителями фактически только в одном аспекте – оптимизации транспортно-бального состояния грузов при безусловном приоритете интересов грузопроизводителей во всех остальных отношениях. Подобная трактовка роли транспорта не способствует его развитию, на что справедливо указывают С.М. Резер и ряд других специалистов.

### Заключение

Интеграционные процессы в экономике – явление объективное, в каждой отрасли народного хозяйства развиваются по своей схеме, могут происходить на отраслевой или межотраслевой основе не меняя своей экономической сущности, быть простыми или сложными.

Цель интеграции – повышение производительности общественного труда на основе лучшего использования производственных фондов и трудовых ресурсов.

В традиционных интеграционных образованиях роль транспорта сводится к инфраструктуре производства, т.е. в них реализуется вторая сторона транспорта.

В интеграционных образованиях нового типа (ПТС и ПТК) и производственные и транспортные отрасли взаимодействуют как равнозначимые, равноправные участники, т.е. в этих образованиях реализуется первая сторона транспорта (как самостоятельной отрасли производства).

### Литература

1. Резер С.М. *Взаимодействие и координация разных видов транспорта.* – М.: Знание, 1989. – 64 с. (новое в жизни, науке, технике. Серия «Транспорт», № 1).
2. *Справочное пособие директору производственного объединения, предприятия.* Т.2 / Под ред. Г.А. Егизаряна, А.Д. Шеремета. – М.: Экономика, 1985. – 576 с.
3. Шаталин С.С., Гайдар Е.Т. *Экономическая реформа: причины, направления, проблемы.* – М.: Экономика, 1989. – 110 с.
4. Козырев В.К. *Перспективные решения в области морской перевозки сжиженных газов.* Вісник Одеського Національного Морського Університету. Одеса-2001. Випуск 2, С. 219-230.

Надійшла 22. 07. 05

## СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО ВНУТРИПОРТОВОГО ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ (КОНЦЕПЦИЯ ОИИМФ-ОНМУ)

*В статье обсуждаются фундаментальные основы формирования экономического механизма внутрипортового оперативного планирования на примере процесса обслуживания судов (ПОС). Приводится модель управления ПОС, основанная на кибернетических понятиях, а также практически актуальные математические модели календарного планирования загрузки-разгрузки судов, не имеющие ни содержательных, ни формальных аналогов в мировой эксплуатационной литературе.*

*Ключевые слова: портовый бизнес, процесс обслуживания судов, внутрипортовое управление, математические модели, календарное планирование загрузки-разгрузки судов.*

Портовый (стивидорный) бизнес издавна считается высокодоходным видом производственной деятельности. Таковым он оказался и для морских портов Украины, которые благодаря постоянно прибыльной работе смогли не только преодолеть постсоветский грузооборотный кризис, но и, возродив в относительно короткие сроки надежную грузовую базу, взяли твердый курс на устойчивое экономическое развитие. Параллельно руководители и специалисты портов постигали мало ведомые им азы рыночного мышления и умения «делать деньги» в условиях жесткой конкурентной среды. При этом каждый украинский порт «вписывался» в рыночную экономику, что называется, своим эксклюзивным путем, который портовые менеджеры искали, действуя по наитию и прибегая зачастую к методу проб и ошибок. Понятно, что в итоге наши порты несли и прямые убытки, и неоправданные затраты, и потери в виде упущенной выгоды.

К настоящему времени обрисованная ситуация заметно улучшилась, однако радикальных перемен не произошло, ибо для портового комплекса Украины как одного из наиболее приоритетных секторов народного хозяйства страны все еще не разработаны хотя бы в минимально необходимом объеме ни научные основы управления, ни вразумительные механизмы стратегической и тактической ориентации на рынке портовых услуг, ни системное нормативно-методическое и организационное обеспечение. В силу этого в наших портах сохраняются

в основе своей подходы к организации процессов грузоперевалки и обслуживания судов, унаследованные от прежней системы, хотя и предпринимаются попытки внедрить в портовый менеджмент элементы «чисто» рыночного механизма хозяйствования.

Постановка рассматриваемой в данной статье проблемы диктуется рядом серьезных причин, одну из которых следует выделить особо. Дело в том, что на пути интеграции Украины в Европейский Союз нашей стране придется неизбежно перейти на общие стандарты ЕС во всех сферах деятельности, включая портовый (стивидорный) бизнес, именуемый до сих пор в государствах СНГ, как впрочем, и во многих капиталистических странах эксплуатацией портов. И тут обнаруживается, в частности, что морские порты, как Старого, так и Нового Света до сих пор не выработали стандартных (единообразных) подходов к организации эксплуатационной деятельности, на что обращается внимание, например, в публикациях [1,2].

Как подчеркивается в первом из указанных источников, опубликованном, кстати сказать, почти четверть века назад, зарубежная теория эксплуатации портов находилась тогда в стадии становления, для которой характерна, как известно, разработка разрозненных проблем в первоначальной постановке. Во всяком случае, до сих пор эта наука не имеет даже общепринятого в западном мире названия: в англоязычных странах за ней закрепилось название «terotechnology», а в других западных странах её называют «exploitation engineering» [1].

В упомянутом источнике в качестве принципиально важных называются перечисляемые ниже проблемы, излагаемые, однако, в чисто повествовательной форме и без формальной атрибутики (обоснований, доказательств, формализованных схем, моделей и т.д.).

1. Выбор метода оперативной задачи – с изложением некоторых правил организации обслуживания транспортных средств;

2. Проектирование, выбор и функциональная идентификация технических объектов порта – с указанием на необходимость обоснования выбора типов перегрузочных средств (универсальных, специализированных) для обслуживания транспортных средств;

3. Обеспечение определенного уровня знаний и тренированности персонала, эксплуатирующего технические объекты, – с изложением значимости программ тренинга и подготовки персонала к работе в различных производственных условиях;

4. Характеристика и рекомендации по разрешению эксплуатационных конфликтов между судовладельцами, экспедиторами, стивидорами при участии порта;

5. Выбор метода использования технических средств порта – указывается на связь этой задачи с проблемой 1 в единстве с решением обеих проблем с точки зрения обеспечения технического обслуживания объектов;



6. Управление эксплуатацией технических объектов – с указанием способов их использования при различных вариантах загрузки порта;

7. Оптимизация использования (эксплуатации) технических средств – с анализом общей идеи формирования очередей на обслуживание транспортных средств в различных производственных ситуациях;

8. Выбор метода обслуживания технических объектов – с рекомендациями по тактике проведения краткосрочного ремонта, монтажа и демонтажа стационарных устройств порта;

9. Распределение ответственности за результаты эксплуатации портовых объектов – с разъяснением сути этой проблемы;

10. Выбор метода диагностики технических объектов – с указанием видов диагностики и периодичности её проведения;

11. Выбор способа материально-технического обеспечения эксплуатации портовых объектов – с изложением сути видов обеспечения и определения необходимых запасов соответствующих материалов;

12. Изменение времени и других факторов эксплуатации технических объектов – на примере образования диспача-демереджа по результатам обслуживания судов;

13. Решение о ликвидации и замене технического объекта – с определением экономической выгоды такого шага;

14. Утилизация отходов в результате эксплуатации объектов – трактуется как проблема, зависящая от условий эксплуатации портов.

Из анализа приведенного перечня проблем terotechnology (а мы намеренно воспроизвели его полным) легко усматривается, что к проблемам внутрипортового управления, являющегося сердцевинной науки эксплуатации портов, непосредственно относятся лишь проблемы под номерами 1, 4, 9 и 12. Очевидно также, что приведенные в [1] рассуждения по решению этих проблем отличаются чрезмерной упрощенностью, рассчитанной видимо на специалистов, имеющих скорее лишь практическую подготовку. Последнее обстоятельство позволяет заключить также, что terotechnology не может быть принята в качестве эталонного варианта эксплуатации портов как полноценной прикладной науки, что также подтверждается результатами анализа идей, изложенных в источнике [2].

Между тем в нашей стране эксплуатация портов как научная дисциплина и проблемы внутрипортового управления как ее центральный раздел достаточно полно разработаны и освещены в литературе, в частности в книгах [3,4,5,6]. Размеры данной статьи не позволяют, к сожалению, рассмотреть достаточно полно каждую проблему. Поэтому ниже внимание уделяется лишь основным среди них – механизму реализации внутрипортового управления и моделированию задач планирования обслуживания судов. Отсюда цель данной статьи заключается в раскрытии сути этих проблем с учетом результатов, отраженных в [3, 7].

Предварительно отметим, что в работах [3,7] представлена концепция исследователей Одесского института инженеров морского флота (ОИИМФ), ныне – Одесского национального морского университета (ОНМУ), а в книгах [4,5,6] изложена точка зрения представителей Санкт-Петербургской и Дальневосточной морских академий. Подчеркнем, что подход к организации внутрипортового управления, отраженный в трудах [4,5,6], опирается на графо-аналитический инструментарий и инженерные методы расчётов в отображении процесса обслуживания судов и управления этим процессом. В работе же [3] использованы более совершенные исследовательские приемы, включая системное представление портового производства и его составных частей – процессов грузоперевалки и обслуживания судов, системную оптимизацию этих процессов, принципы математического моделирования внутрипортового управления, разработку экономико-математических моделей задач оперативного планирования работы порта и его производственных подразделений, а также обслуживания судов и подвижного состава смежных видов транспорта.

Перспективность концепции ОИИМФ – ОНМУ демонстрируется ниже на ключевых проблемах внутрипортового управления.

Как показано в [3], задачу внутрипортового оперативного управления в общей постановке можно представить в виде модели

$$\bar{x}(t) = \bar{X} \{ \bar{x}(t_0), \bar{u}(t_0, t), \bar{y}(t_0, t) \} \quad (1)$$

где  $t_0$  – начальный момент интервала наблюдений, а  $\bar{x}(t_0)$  – вектор начального состояния системы.

Полагая, что изменение векторных функций  $\bar{x}(t)$  и  $\bar{y}(t)$  ограничено замкнутыми областями пространства состояний  $D$  и пространства управлений  $G$  соответственно (а это может отвечать различному экономико-эксплуатационному смыслу в зависимости от содержания рассматриваемого процесса), можем утверждать, что

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}(t) &\in D \forall t \in [0, T] \\ \bar{y}(t) &\in D \forall t \in [0, T] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Полагая, что целью управления является достижение на интервале  $[0, T]$  экстремума некоторого функционала

$$F = F \{ \bar{x}(t_0), t \} \quad (3)$$

приходим к классической задаче оптимального управления, формулируемой в данном случае следующим образом: для ситуации,

описываемой условиями (1) – (2), найти и реализовать вектор управляющих воздействий  $\bar{u}(t)$  такой, который бы обеспечивал достижение цели управления (3).

Из анализа системы (1) – (3) видно, что сформулированная задача является по своему внутреннему содержанию совокупностью двух задач, которые между собой тесно связаны в силу общности цели управления, но вместе с тем достаточно различимы с точки зрения постановки. Первая задача направлена на выбор оптимальной программы развития системы управления в течение заданного интервала времени и решается при условии, что состояние системы в конце интервала *не фиксировано*. Вторая задача состоит в обеспечении оптимальной реализации ранее найденной программы развития системы, когда состояние последней в любой момент времени из рассматриваемого интервала считается заданным.

Сопоставляя выделенные задачи, можно заключить, что они в общем случае охватывают разные совокупности характеристик и параметров исследуемой системы и вследствие этого должны решаться в разных режимах. В первом случае во внимание необходимо принимать полные множества характеристик и параметров системы, а управляющие воздействия искать для системы в целом. Во втором случае решения должны вырабатываться лишь для некоторых элементов системы, выделяемых посредством подмножеств ее характеристик и параметров. Это означает что моделируемая схемой (1)-(3) система управления должна содержать не менее двух контуров, функционирующих во взаимодействии при анализе как временной и структурной иерархии управления, так и режимов реализации последнего.

Рассмотрим вначале ситуацию, характеризующую иерархический признак классификации систем. Предположим, что иерархия систем управления выделяется по временному признаку (например, в привязке к месяцу, декаде, суткам, сменам).

Предположим, что в результате решения модели (1)-(3) найден план  $\bar{u}(t)$  для промежутка времени  $[0, T]$ . Пусть в моменты времени  $t \in [0, T]$  вырабатываются управляющие воздействия  $\bar{v}(t)$ , которые также являются планами, но для отрезков времени, меньших промежутка  $[0, T]$ . Очевидно, планы  $\bar{v}(t)$  будут охватывать производственные ситуации, которые являются лишь фрагментами ситуации, отраженной в плане  $\bar{u}(t)$ , и вследствие этого будут выступать по отношению к плану  $\bar{u}(t)$  в качестве локальных планов.

Проанализируем теперь структурный признак иерархии. Допустим, что плану  $\bar{u}(t)$  соответствует план обработки группы судов. Этот план отыскивается в процессе решения ряда вопросов, связанных с рас-

пределением судов между причалами, выделением для каждого судна определенного количества перегрузочных ресурсов, составлением календарных планов-графиков обработки судов. Перечисленные вопросы могут решаться при условии, что величина планового периода заранее не фиксируется, а определяется в процессе составления плана обработки судов путем моделирования их обслуживания. При этом, очевидно, намечаются и сроки обработки каждого судна.

Как видим, при рассмотренных условиях параллельно разрешается и ситуация с обеими разновидностями иерархии планов обработки судов. Действительно, первой из выделенных выше задач соответствует процесс составления плана  $\bar{u}(t)$  для всей совокупности судов, а второй задаче соответствуют планы обработки отдельных судов  $\bar{v}(t)$ , разрабатываемые с целью обеспечения параметров плана  $\bar{u}(t)$ . Точно так же, рассматривая временной признак иерархии, можно показать, что сменно-суточный план судовых работ, будучи направленным на обеспечение декадного плана обработки судов, является планом  $\bar{v}(t)$  по отношению к плану  $\bar{u}(t)$ .

Рассмотренные положения убедительно подтверждают, что управляющий орган системы внутрипортового управления должен включать взаимосвязанные контуры управления, функционирующие в разных режимах и обеспечивающие выработку управляющих воздействий как для системы управления в целом, так и для ее отдельных элементов, как для принятого интервала планирования, так и для его частей и т.д. С этими контурами в системе внутрипортового управления естественно связываются функции оперативного планирования и диспетчерского регулирования.

Выделенные режимы внутрипортового управления представляются одинаково важными. Тем не менее, управлению в режиме оперативного планирования принадлежит доминирующая роль, так как им определяется *расчетный* вектор состояния управляемого процесса, который является *опорным* при регулировании. Важно подчеркнуть, что внедрение ЭВМ в систему внутрипортового управления существенно повышает автоматизм ее реакции, в результате чего грань между функциями планирования и регулирования в случае оперативного управления стирается настолько, что они становятся трудно различимыми. Этот факт нередко истолковывается в качестве одной из основных предпосылок организации непрерывного внутрипортового планирования. Однако с такой постановкой вопроса можно согласиться лишь частично, учитывая, что регулирование всегда выступает в качестве дополнения, своего рода *пробного камня и фильтра* планирования. Отсюда следует, что в системе внутрипортового управления контур диспетчерского регулирования должен быть сохранен и в случае непрерывного планирования, так как в противном случае система управления может оказаться тяжеловесной.

Правомерность этого вывода становится очевидной при рассмотрении механизма внутрипортового непрерывного планирования в единстве с идеями адаптивного управления.

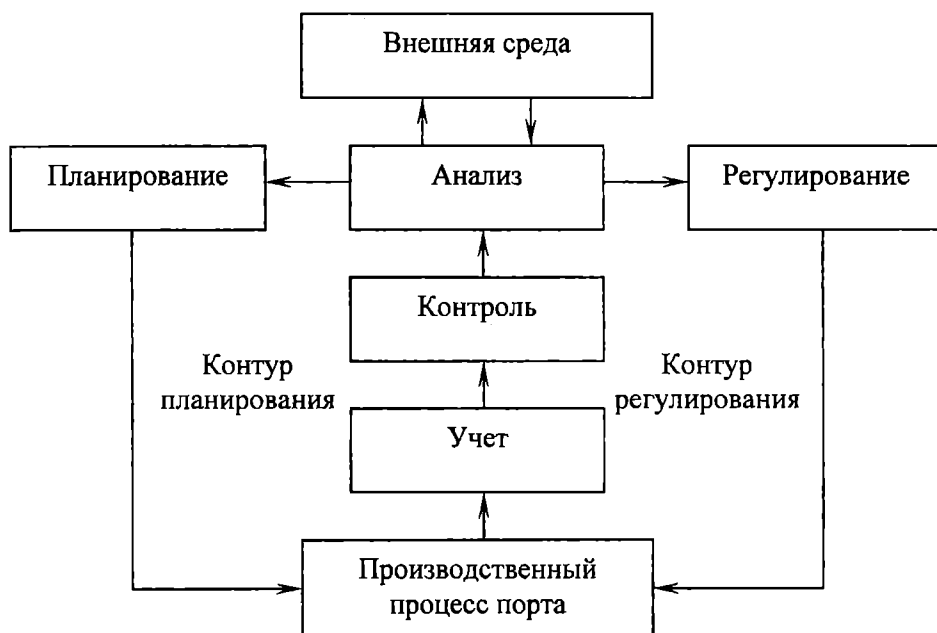
В случае производственно-экономических систем, к числу которых относится порт, понятие «адаптивное управление» может быть истолковано по-разному. В данном случае под адаптивным понимается такой режим управления, при котором сочетаются элементы программного, стабилизирующего и следящего управления, реализуемого системой внутрипортового управления путем выработки и корректировки цели и ограничений на производственный процесс во взаимодействии с сопряженными системами по линиям вертикальных (внутриотраслевых) и горизонтальных (межотраслевых) связей, включая связь с неуправляемыми процессами внешней среды.

Реализация механизма адаптивного управления также требует, чтобы структура системы внутрипортового управления включала контуры двух типов, которые в совокупности должны обеспечивать все этапы управления – от взаимодействия с внешними системами до выработки внутрисистемных управляющих воздействий на объект управления. При этом контуры обоих типов должны выступать в двух качествах: как внутри- и межсистемные (переходные). При таком условии контуры первого типа выступают в роли внутрисистемных, когда осуществляют выработку программы развития объекта управления в течение рассматриваемого промежутка времени, и в роли переходных, когда воспринимают программу извне и обеспечивают детализацию ее обобщенных параметров – цели управления, ограничений на объект управления и т.д. Управляющий потенциал этих контуров реализуется, охватывая объект в целом, т. е. на более высоких уровнях системы внутрипортового управления, выделяемых по рассматриваемому признаку. Контуры второго типа, выступая в качестве переходных, воспринимают и обеспечивают реализацию программы управления, формируемой для объекта управления в целом. Одновременно они вырабатывают локальные воздействия для управления той или иной частью объекта, выступая уже в качестве внутрисистемных контуров и замыкаясь на более низкие уровни внутрипортового управления.

Важно отметить, что контуры обоих типов должны быть тесно связаны и в процессе реализации управления активно взаимодействовать, в результате чего система переходит на режим управления, диктуемый состоянием объекта управления и внешней среды. Взаимодействие контуров может происходить непрерывно, однако исходя из специфики производственного процесса порта, а в более общем смысле – из специфики транспортного процесса, его допустимо и целесообразно осуществлять в дискретные моменты времени. При этом по мере движения от более низких уровней системы к более высоким непрерывное начало взаимодействия контуров, а следовательно, и внутрипортового управления долж-

но последовательно трансформироваться в дискретное начало. С учетом этого обстоятельства контуры первого типа можно определить как циклические, а контуры второго типа – как квазинепрерывные. Очевидно, что при таком подходе упомянутые контуры управления также естественно связываются с функциями соответственно планирования и регулирования.

Установление факта объективного существования циклических и квазинепрерывных контуров управления (как в одноуровневых, так и в многоуровневых системах внутрипортового управления) имеет важное методологическое значение. В частности, осознание этого факта позволило автору в 1972 г. представить в единой модели (см. рисунок) функции, фазы и режимы внутрипортового управления и тем самым сделать свой скромный вклад в раздел «Система управления» теории кибернетики.



Необходимо отметить, что непрерывность внутрипортового управления следует рассматривать в широком и узком смысле.

В широком смысле непрерывность управления предполагает обеспечение своевременной выработки во взаимодействии с внешней средой программы развития производственного процесса порта, а также своевременного перехода в ходе реализации программы на обусловливаемый ею режим управления. В узком смысле непрерывность управления следует связывать с выработкой внутрисистемных управляющих воздействий, направленных на поддержание требуемого режима

управления, обеспечение систематического контроля развития объекта управления и предупреждение недопустимых рассогласований между запланированным и реальным состояниями объекта управления. В первом случае внутрипортовое управление обеспечивается, как уже отмечалось выше, циклическими контурами системы (в режиме планирования), во втором – квазинепрерывными контурами (в режиме регулирования).

Обратимся теперь ко второй проблеме внутрипортового оперативного планирования, разрабатываемой в духе концепции ОИИМФ-ОНМУ, и рассмотрим для примера разработку в упрощенной постановке двух экономико-математических моделей – распределения технологических линий (ТЛ) между судами и использования ТЛ для обслуживания каждого отдельного судна.

Пусть на интервале времени  $[0, T]$ , разбитом на  $\sigma$  отрезков (например, смен), планируется обработка  $s$  судов. При этом для каждого судна и каждой смены известны следующие величины: плановая загрузка ( $Q_k$ )  $k$ -го судна ( $k = \overline{1, s}$ ); производительность одной ТЛ при обработке  $k$ -го судна ( $P_k$ ); количество ТЛ, которое можно использовать для обработки судов в  $\gamma$ -ю смену ( $n_\gamma$ ); общий резерв машинного времени всех ТЛ в  $\gamma$ -ю смену ( $\Theta_\gamma$ ); предел концентрации ТЛ на  $k$ -м судне в  $\gamma$ -ю смену ( $\bar{n}_{k\gamma}$ ); предельная продолжительность обработки  $k$ -го судна в  $\gamma$ -ю смену ( $\bar{t}_{k\gamma}$ ); эффективность одного машино-часа при обработке  $k$ -го судна в  $\gamma$ -ю смену ( $C_{k\gamma}$ ), которая является приоритетной оценкой рассматриваемого судна.

Требуется составить план распределения ТЛ между судами по сменам такой при котором: будет обеспечена плановая загрузка (разгрузка) судов; в каждую смену будет использовано не более  $n_\gamma$  ТЛ; в каждую смену использование машинного времени ТЛ не превысит резерва  $\Theta_\gamma$ ; суммарный эффект, обеспечиваемый в результате обработки судов будет наибольшим.

Ряд авторов сводил эту задачу либо к «изящной», но не дающей конструктивного решения модели, либо к модели, достаточно адекватной реальному процессу, но совершенно «нерешаемой» вследствие отсутствия подходящих вычислительных методов. И лишь при записи этой задачи с использованием её неформальных свойств в терминах линейного программирования она реально поддается решению.

Положив  $Q_k/P_k = \Theta_k$ , где  $\Theta_k$  – трудоемкость обработки судна,  $t_{k\gamma} \times n_{k\gamma} = y_{k\gamma}$  и  $\bar{t}_{k\gamma} \times \bar{n}_{k\gamma} = \bar{y}_{k\gamma}$ , приходим к следующей модели:

$$0 \leq y_{k\gamma} \leq \bar{y}_{k\gamma}, \quad k = \overline{1, s}, \quad \gamma = \overline{1, \sigma}; \quad (4)$$

$$\sum_{\gamma=1}^{\sigma} y_{k\gamma} = \Theta_k, \quad k = \overline{1, s}; \quad (5)$$

$$\sum_{\gamma=1}^{\sigma} y_{k\gamma} \leq \Theta_{\gamma}, \quad \gamma = \overline{1, \sigma}; \quad (6)$$

$$F(y) = \sum_{k=1}^s \sum_{\gamma=1}^{\sigma} C_{k\gamma} y_{k\gamma} - \max(\min). \quad (7)$$

Таким образом, с формальной точки зрения задача о распределении ТЛ между судами состоит в максимизации (минимизации) функционала (7) при соблюдении условий (4)-(6).

В модели (4)-(7) используются оценки  $C_{k\gamma}$ , которые являются условными и введены для того, чтобы можно было учесть ограничения на продолжительность обработки судов. Значения этих оценок задаются в соответствии с приоритетом судов на первоочередную обработку и дифференцируются в зависимости от совпадения (несовпадения)  $\gamma$ -й смены со сроками обработки  $k$ -го судна в течение периода сталийного времени.

На первый взгляд, модель (4)-(7) выглядит «простенькой», ибо относится к классу задач линейного программирования, которое критически воспринимается «рафинированными» теоретиками, отдающими предпочтение моделям целочисленного программирования. При этом, однако, сторонники последнего подхода старательно «обходят» проблему реализации целочисленной модели, а контрольные примеры решают симплекс-методом с последующим «ручным» обеспечением целочисленности переменных (параметров управления) модели. В нашем же случае необходимость в подобной «эквилибристике» отсутствует благодаря заданию дифференцированных значений коэффициентов при неизвестных в целевой функции, что, кстати сказать, также обеспечивает уникальность модели (4)-(7) и её решающее преимущество в сравнении со всеми другими моделями обсуждаемой задачи, опубликованными за последние 40 лет.

Задача об использовании ТЛ при обслуживании судна, решение которой выдается в форме технологического плана-графика (ТПГОС), также сводится к линейной модели.

В содержательном смысле существо задачи разработки ТПГОС состоит в обеспечении гармоничного сочленения двух процессов: загрузки-разгрузки люков судна (1) и работы используемых для этой цели ТЛ (2) с учётом соблюдения организационно-технологических и экономических требований, оговариваемых при обосновании условий грузоперевалки и обслуживания судна. Такая цель может быть достигнута на



основе увязки в единую систему основных характеристик судна, груза и ТЛ, которые одновременно являются параметрами процесса обслуживания судна (ПОС).

К числу системообразующих параметров ПОС относятся:

$\overline{M} \rightarrow m$  – количество люков, предъявляемых судном к обработке  
( $i = \overline{1, m}$ );

$Q = \{Q_i\}$  – плановая загрузка соответственно судна и люков;

$r = \{r_i\}$  – предел концентрации ТЛ соответственно на судне и люках;

$n$  – количество ТЛ, выделяемых для обработки судна  
( $j = \overline{1, n}$ );

$C_j$  – стоимость содержания ТЛ в режиме эксплуатации;

$P_i$  – производительность ТЛ на люках.

Конкретный вид связи между перечисленными параметрами удастся определить и формализовать, введя понятие исходного способа организации ПОС, под которым подразумевается любой допустимый вариант расстановки ТЛ на судне (закрепления ТЛ за люками судна) без перемены их местами на причале с учетом предела концентрации линий на люках.

Определив множество такого рода способов организации загрузки-разгрузки судна, можно утверждать, что для построения оптимального плана обслуживания судна необходимо:

во-первых, установить подмножество (сочетание) наиболее рациональных вариантов расстановки ТЛ на судне;

во-вторых, определить время, в течение которого следует использовать каждый из найденных вариантов.

В такой постановке задача поддается решению при наличии упомянутой математической модели, для построения которой необходимо дополнить совокупность перечисленных выше параметров следующими характеристиками:

$\alpha$  – шифр (номер) расстановки ТЛ на судне ( $\alpha = \overline{1, \omega}$ );

$X_\alpha$  – промежутки времени, в течение которых расстановка ТЛ на судне не изменяется;

$n_{i\alpha}$  – количество ТЛ, одновременно работающих на люке  $i$  по варианту  $\alpha$ ;

$K_i$  – коэффициент, учитывающий снижение производительности ТЛ при совместной работе двух и более линий на одном люке;

$\Pi_{i\alpha}$  – интенсивность обработки судна, определяемая по люкам и вариантам расстановки ТЛ;

$C_\alpha$  – стоимость содержания ТЛ, используемых для обслуживания судна по варианту  $\alpha$ ;

$T^0$  – стальнойное время обслуживания судна.

В качестве критерия оптимальности задачи составления ТПГОС, на первый взгляд, следует принять максимум прибыли по реализации ПОС. Однако, если учесть, что к моменту начала обслуживания судна все доходные ставки (тарифы, сборы, платы и т.п.) оказываются зафиксированными величинами, то единственным варьируемым показателем оказываются расходы порта на осуществление ПОС, которые изменяются в зависимости от сочетаний вариантов расстановки ТЛ на судне. В итоге получается, что экономическую суть задачи необходимо связывать с минимизацией расходов порта по грузоперевалке.

При оговоренных выше условиях рассматриваемой задаче соответствует линейная модель вида:

$$R = \sum_{\alpha=1}^{\omega} C_{\alpha} X_{\alpha} \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{\omega} \Pi_{i\alpha} X_{\alpha} = Q_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad (9)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{\omega} X_{\alpha} \leq T^0; \quad (10)$$

$$X_{\alpha} \geq 0; \quad \alpha = \overline{1, \omega}, \quad (11)$$

которая «читается» следующим образом: необходимо минимизировать расходы порта (8) при обязательном соблюдении плановой загрузки люков судна (9) и стальнойного времени (10). Условием (11) обеспечивается неотрицательность переменных, что вытекает из их экономического смысла.

В результате реализации модели (8)-(11) находится оптимальный план  $\{X_{\alpha}^0\}$ , компонентам которого соответствуют отрезки времени  $X_{\alpha}^0$ , на протяжении каждого из которых расстановка ТЛ на судне остается неизменной.

Легко видеть, что указанными отрезками времени охватываются своего рода «полосы» ТПГОС с постоянным закреплением ТЛ за люками судна. «Склейка» таких «полос» в определенной последовательности позволяет получить календарный план обслуживания судна или ТПГОС в обобщенной форме, от которого возможен переход к рабочей форме ТПГОС в виде документа, пригодного к использованию в производственных условиях.

Уникальность модели (8)-(11), которая, как уже отмечалось, относится к классу задач линейного программирования и, следовательно,

по определению является статической, заключается в том, что она позволяет решить задачу календарного планирования, обладающую свойствами динамических задач. Исходная версия этой модели была опубликована автором в 1968 г. и пока остаётся основой единственного в морской и речной эксплуатационной науке метода, дающего в решении непосредственно календарный план обслуживания судна.

В заключение отметим, что развитие идей и подходов к исследованию проблем внутрипортового управления, начатое в [7], может дать плодотворные результаты при квалифицированном использовании накопленного багажа отечественной теории внутрипортового управления с разумным «насыщением» ее законами, принципами и методами управления портами в условиях рыночной экономики.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *The theory of exploitation – a new aid of port planning and management / Downarowicz O. // 9th Int. Harbour Congr., 20-24 june, 1988. – P. 37-46.*
2. *Port organization, operation and development. A few basic principles / Jacques Cambon // Port and Harbors. – 1989. – 34, № 8. – P. 15-22, 39.*
3. *Магамадов А.Р. Оптимизация оперативного планирования работы порта. – М.: Транспорт, 1979. – 184 с.*
4. *Ветренко Л.Д. Управление работой морского порта. – СПб.: Историческая иллюстрация, 2000. – 165 с.*
5. *Терехов О.А., Тюрин В.И. Совершенствование организации управления морскими портами. – М.: Транспорт 1981. – 152 с.*
6. *Степанец А.В. Оптимальное оперативное управление работой морского порта. – Владивосток: ИНТЕРМОР, 1997. – 188 с.*
7. *Магамадов О.Р., Макаренко О.Є. Методичні засади розробки технологічних планів-графіків обслуговування суден у морських портах // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. 2004. – Вип. 7. – С. 253-261.*

Надійшла 17. 06. 05

УДК 621.875.56

В.Н. Пустовой  
А.О. Андриенко

## ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ПОРТАЛЬНЫЕ КРАНЫ УКРАИНЫ»

*В статье приведена структура и функции информационно-аналитической системы для мониторинга Реестров парка портальных кранов морских портов Украины с целью определения технической возможности повышения грузооборота универсальных перегрузочных комплексов с крановой схемой механизации грузовых работ.*

*Ключевые слова: портальные краны, информационно-аналитическая система.*

Свыше 70% грузооборота морских портов выполняется универсальными перегрузочными комплексами с крановой схемой механизации грузовых работ. Износ парка портальных кранов морских портов Украины превышает 90%.

С целью определения технической возможности повышения грузооборота морской отрасли созданы Реестры парка портальных кранов морских портов.

Для мониторинга Реестров разработана и введена в действие информационно-аналитическая система морской отрасли (ИАС) «Портальные краны Украины».

Система позволяет осуществлять непрерывный контроль и управление процессами модернизации и обновления парка портальных кранов, формировать управленческие функции, обеспечивающие выполнение планов увеличения грузооборота морских портов. Рост грузооборота морской отрасли планируется увеличить до 2010 года не менее чем на 30%.

Структурная схема ИАС представлена на рис. 1. Компьютерные терминалы системы установлены в Государственном объединении «Укрморпорт», морских портах, территориальных управлениях и Комитете Госнадзорохрантруда Украины.

## Моделирование. Аналитические системы

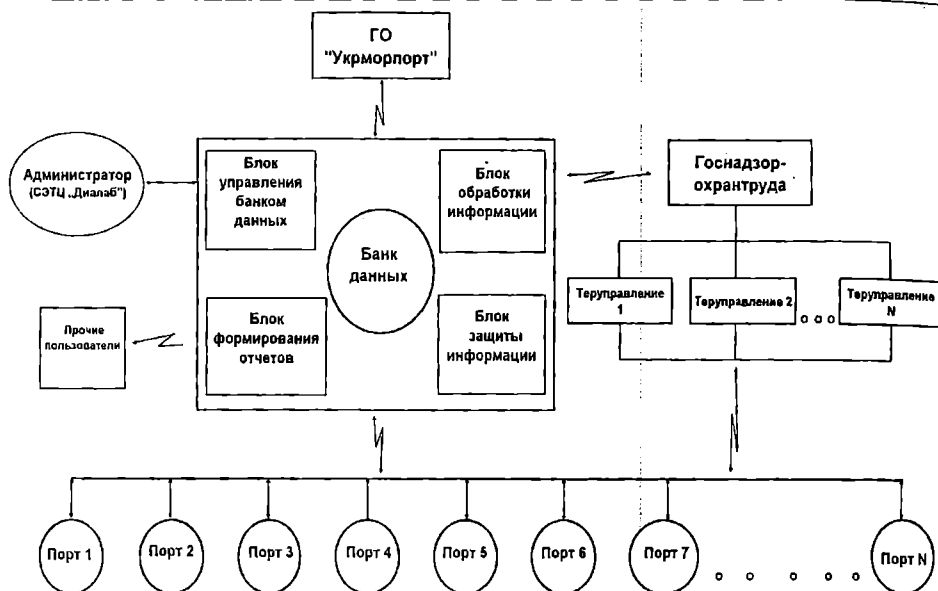


Рис. 1. Структурная схема ИАС

Расширение количества Пользователей ИАС возможно за счет создания компьютерных терминалов на других заинтересованных предприятиях, например, речные порты, судоремонтные и судостроительные заводы.

Обновление информационной базы данных ИАС проводится на основании квартальных отчетов Пользователей (морских портов) и текущей информации о результатах экспертных обследований кранов (дефектные ведомости, протоколы испытаний, графики обследований и др.).

Формирование выходных отчетов реализуется системой в автоматическом режиме для каждого конкретного Пользователя индивидуально, в соответствии с его правами доступа к информации.

На усмотрение инспекторов территориальных управлений Госнадзора охрантруда через ИАС предприятиям может предоставляться информация о выданных предписаниях, рекомендациях и др.

С использованием ИАС проводится анализ по различным параметрам работы парка портальных кранов отрасли:

- сбор, накопление, классификация, обработка, контроль и хранение информации о структуре и техническом состоянии парка портальных кранов морских портов отрасли;
- контроль затрат на ремонты, модернизации и реконструкции, приобретение новых кранов;
- контроль эксплуатационных показателей кранов (коэффициента использования, коэффициента готовности, производительность и т.д.);

**Моделирование.**  
**Аналитические системы**

- предоставление портам текущей информации о нормативных документах, приказах, распоряжениях центральных органов управления;
- динамика изменения технического состояния кранов, прогноз отказов, аварий и др.;
- оценка и прогнозирование остаточного ресурса парка порталных кранов с учетом грузообработки и технического состояния кранов;
- оценка экономических показателей работы различных типов портовых кранов с учетом особенностей эксплуатации кранов.

Для примера приведены некоторые результаты анализа параметров работы портов и отрасли, полученные при обработке информации через ИАС в автоматическом режиме.

В табл. 1-2 приведена динамика изменения показателей парка порталных кранов по отрасли в целом и по отдельным портам.

*Таблица 1*

*Изменение показателей парка порталных кранов отрасли*

<b>Наименование</b>	<b>по Реестру (средний за 1999-2003 гг.)</b>	<b>за I полугодие 2004 г.</b>	<b>за II полугодие 2004 г.</b>	<b>за 2004 г.</b>
<b>Средний коэффициент использования</b>	0,30	0,30	0,32	0,31
<b>Средняя производительность, тонн/час</b>	90,6	108,17	111,9	110,1
<b>Средний возраст, лет</b>	25,64	26,40	26,26	26,26
<b>Степень износа, %</b>	94,2	95,5	95,2	95,2

**Моделирование.  
Аналитические системы**

Таблица 2

*Изменение среднего возраста кранов по портам*

Номер п/п	Порт	По Реестру (2002-2003 гг.)		По состоянию на 31.12.2004 г.	
		Кол-во кранов	Средний возраст	Кол-во кранов	Средний возраст
1	Ильичевский	109	31,93	107	32,67
2	Керченский	30	27,45	34	27,85
3	Б. – Днестровский	24	26,96	23	27,48
4	Херсонский	18	26,11	18	27,11
5	Измаильский	54	26,26	53	27,09
6	Ялтинский	6	25,67	6	26,67
7	Николаевский	36	25,36	36	26,36
8	Одесский	77	25,09	78	25,94
9	Октябрьский	20	24,60	20	25,60
10	Скадовский	4	24,50	4	25,50
11	Ренийский	54	24,09	54	25,09
12	Феодосийский	16	23,56	16	24,56
13	Генический	4	23,54	1	24,50
14	Бердянский	34	23,31	35	24,31
15	Евпаторийский	5	23,60	4	24,25
16	Усть-Дунайск	4	22,25	4	23,25
17	Мариупольский	55	22,76	57	22,96
18	Севастопольский	4	20,75	4	21,75
19	Южный	34	15,41	38	15,58
<b>Итого по отрасли:</b>		<b>588</b>	<b>25,64</b>	<b>592</b>	<b>26,26</b>

На рис. 2 и рис. 3 приведен характер изменения эксплуатационных показателей работы кранов отрасли по коэффициентам использования и производительности.

## Моделирование. Аналитические системы

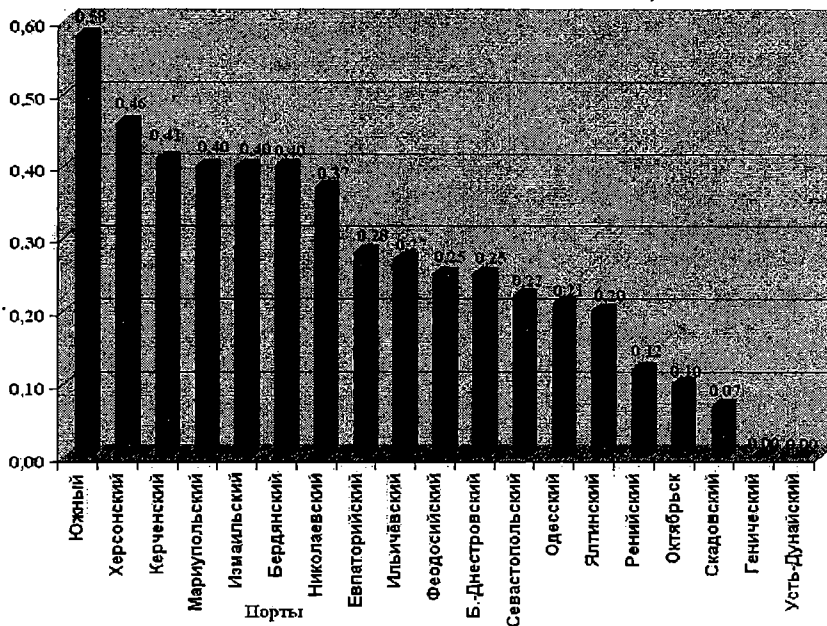


Рис. 2. Средний коэффициент использования кранов портов за 2004 год

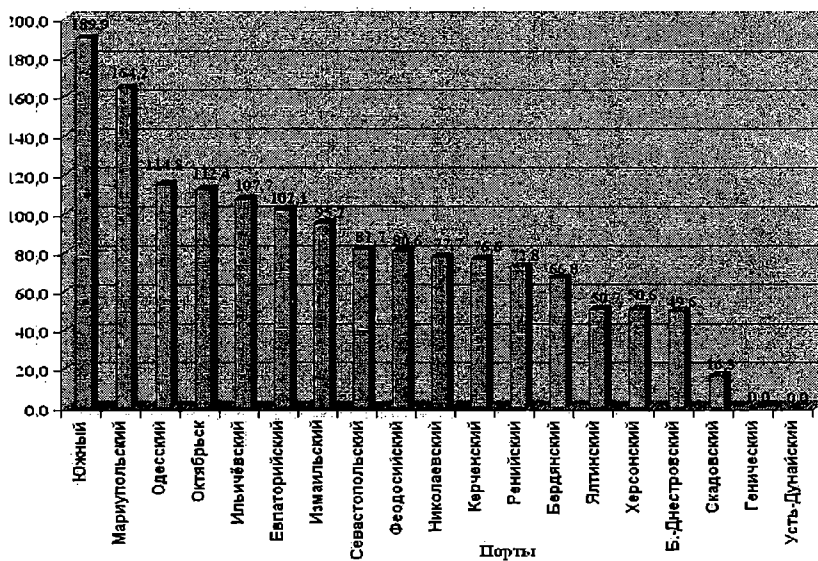


Рис. 3. Средняя производительность кранов портов за 2004 год, тонн/час



## Моделирование. Аналитические системы

Например, по результатам анализа через ИАС можно получить характеристику любого интересующего предприятия. Так наиболее изношенный парк кранов имеет порт Ильичевск (средний возраст кранов 32,3 года). Наиболее молодой парк кранов – порт Южный (средний возраст 15,6 лет).

Наиболее интенсивная работа кранов в порту Южный, где самый высокий средний Кисп = 0,58 (в два раза превышает средний Кисп = 0,31 по отрасли) и самая высокая средняя производительность на один кран, 190т/ч (почти в два раза превышает среднюю производительность на один кран по отрасли).

На рис. 4 приведены данные о затратах портов на проведение текущих и капитальных ремонтов.

Средние затраты на один текущий ремонт составляют, например, в портах Рени – 3,6 тыс. грн., Белгород-Днестровский – 17 тыс. грн., Феодосия – 40 тыс. грн., Ильичевск – 46 тыс. грн., Бердянский – 50 тыс. грн. и т.д.

В то же время средние затраты на один текущий ремонт, где выполняются требования системы планово-предупредительных ремонтов, составляют, например, в Одесском порту 248 тыс. грн., Мариупольском 147 тыс. грн.

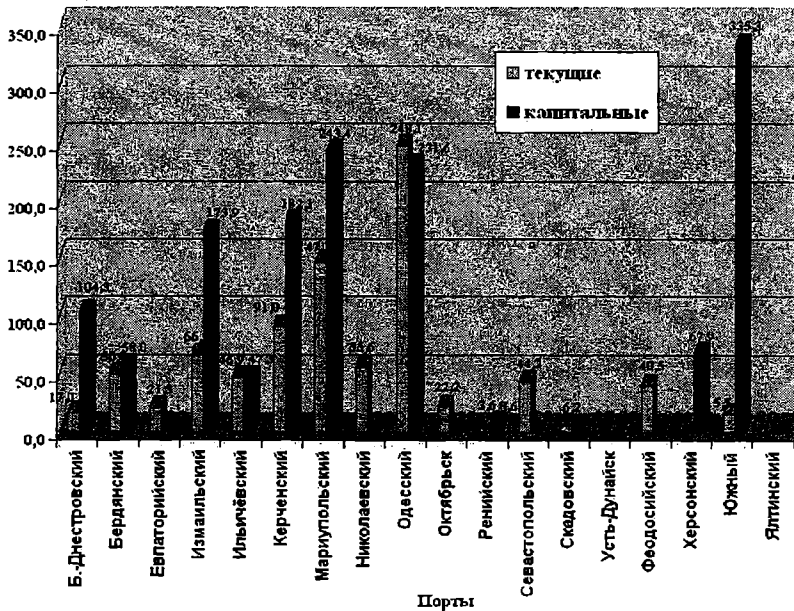
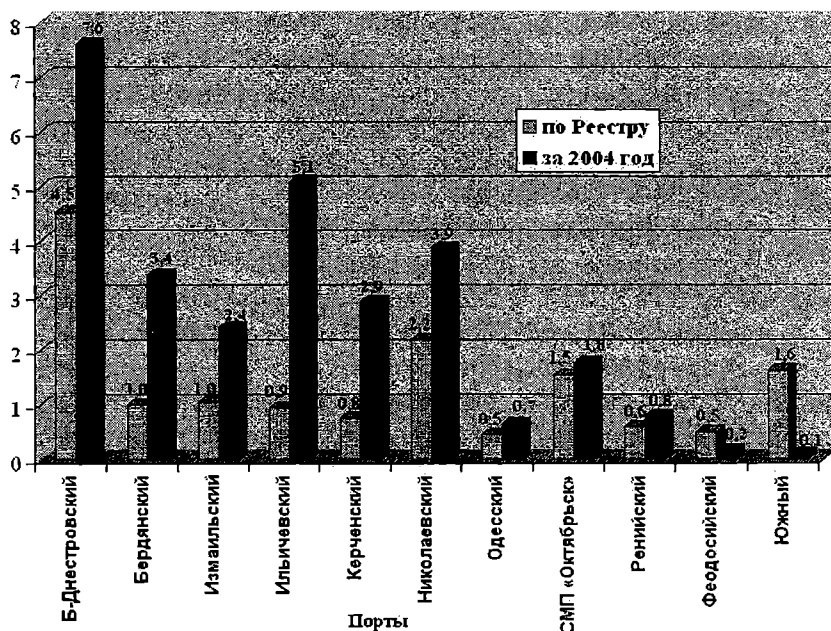


Рис. 4. Удельные затраты на один отремонтированный кран при проведении Т и К ремонтов за 2004 год, тыс.грн.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что система планово-предупредительных ремонтов работает не во всех портах, многие порты работают в режиме устранения аварийных отказов (такие порты как Бердянский, Ильичевский, Белгород-Днестровский, Скадовский, Рени и др.).

База данных системы содержит информацию о видах и количестве дефектов, обнаруженных в результате проведения экспертных обследований кранов.

Так, для оценки динамики изменения технического состояния парка кранов отдельных портов отрасли за последние два года (рис. 5) был проведен анализ результатов экспертных обследований одних и тех же кранов (209 кранов по отрасли) в 2002 г., и через два года эксплуатации, в 2004 г.



*Рис. 5. Удельное количество опасных дефектов на один обследованный кран, ед.*

Анализ данных, обработанных через ИАС, по количеству обнаруженных дефектов и количеству особо опасных дефектов (усталостные трещины и запредельное коррозионное разрушение) показывает, что в 2002 году было всего обнаружено 2908 дефектов, в том числе особо опасных 267, а в 2004 году всего дефектов 5292, в том числе особо опасных 636.

Таким образом, анализ показывает, что за 2 года техническое состояние подконтрольной группы порталных кранов в портах (209 кранов) ухудшилось, в среднем, в 2,3 раза.

Значительное ухудшение технического состояния кранов имеет место в таких портах как Бердянский в 3,4 раза, Ильичевский в 5,6 раза, Белгород-Днестровский в 1,7 раза, Керченский в 3,6 раза.

Хорошее техническое состояние кранов имеет место в таких портах, как Одесский, Октябрьский, Рени. А в таких как Южный, Феодосия наблюдается улучшение технического состояния кранов за счет снижения количества опасных дефектов, обнаруженных при экспертных обследованиях.

Сравнительный анализ основных показателей работы парка порталных кранов отрасли, заложенных в системе, таких как возраст кранов, грузопереработка, наработка, коэффициент использования, коэффициент готовности, производительность позволяет получить информацию о запасе эксплуатационного ресурса парка порталных кранов морских портов, чем обеспечивается рост грузооборота отрасли.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Microsoft Windows 2000 Server: Учебный курс MCSA/MCSE. Русская редакция. Москва, 2003. – 650 с.*
2. *Гринченко Н.Н. и др. Проектирование баз данных СУБД Microsoft Access: Учебн. пособие. М.:Горячая линия-Текст, 2004. – 240 с.*
3. *My SQL. Справочник по языку. М.:Вильямс, 2005. – 432 с.*
4. *Гайфуллин Б.Н., Сгибнев В.Я., Туманов В.Е. Введение в SQL для баз данных в архитектуре клиент-сервер. Москва, 2003. – 400 с.*
5. *Microsoft Windows XP. Home Edition и Professional: Русские версии. ВHV. – Санкт-Петербург, 2004. – 532 с.*

Надійшла 25. 07. 05

УДК 532+681.3

Р.В. Меркт  
В.В. Челабчи  
В.Н. Челабчи

## РАЗВИТИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Разработан комплексный подход к организации компьютерного моделирования процессов переноса. Излагается методика совместного использования разностных и проекционных методов. Разработан подход к организации виртуальных границ при решении задач волновой гидромеханики.*

*Ключевые слова:* компьютер, моделирование, перенос, виртуальная, граница.

Решение многих прикладных задач требует детального исследования связанных процессов переноса массы, импульса и энергии. Обычно области определения искомых функций имеют сложную конфигурацию (могут быть многосвязными), а математические модели отличаются наличием существенных нелинейностей.

Наиболее сложной представляется проблема компьютерного моделирования конвективных процессов переноса, описываемых уравнениями неразрывности, Навье-Стокса и Фурье-Кирхгоффа. Особого внимания требуют уравнения гидро- и аэродинамики, отличающиеся структурной нелинейностью. Параметрическая нелинейность (зависимость свойств материалов от параметров процесса) в прикладных задачах присутствует практически всегда. Все это приводит к необходимости использовать различные итерационные методы. Следует учесть, что, как правило, существуют определенные ограничения по вычислительным ресурсам и времени получения решения. В тоже время требуется достоверное прогнозирование поведения исследуемых процессов. Результаты расчетов представляют всего лишь итог более или менее удачного моделирования реального технического объекта, а критерием верности любого из результатов расчетов был и остается физический эксперимент. От удачности выбора модели и математического аппарата, реализующего модель, зависит соответствие результатов расчета и экспериментальной проверки.

Все это предопределяет необходимость разработки эффективных и экономичных методов математического моделирования и организации

## Моделирование. Аналитические системы

вычислительных процессов. По сути дела речь идет о совершенствовании технологии компьютерного моделирования. Можно выделить основные направления:

- оценка необходимой достаточности при выборе уравнений математической модели и расщепления задачи на подзадачи;
- использование обоснованных приемов понижения размерности задачи;
- разработка экономичных и устойчивых численных методов;
- использование управляемых иерархических итерационных процессов;
- разумный выбор начальных приближений;
- применение методов оперативной оценки надежности решения.

Опыт решения авторами внутренних и внешних задач течения сред позволяет в подавляющем большинстве случаев рекомендовать использование подхода Эйлера. Тогда в качестве основной математической модели принимается система дифференциальных уравнений в естественных переменных: неразрывности, Навье-Стокса и Фурье-Кирхгоффа:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial v}{\partial y} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \cdot \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \cdot \left( \frac{\partial w}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial w}{\partial y} + u \cdot \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \cdot \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \cdot \left( \frac{\partial u}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial u}{\partial y} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 2 \cdot \rho \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$c_P \cdot \rho \cdot \left( \frac{\partial t}{\partial \tau} + v \cdot \frac{\partial t}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial t}{\partial y} + u \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \right) = \lambda \cdot \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (6)$$

где  $x, y, z$  – расстояние по координатным осям;

$\tau$  – время;

$v, w, u$  – компоненты вектора скорости среды;

- $P$  – давление;  
 $t$  – температура;  
 $\rho, c_p$  – плотность и удельная теплоемкость среды;  
 $\mu, \lambda$  – коэффициенты динамической вязкости и теплопроводности.

Система уравнений (1)-(6) может быть использована и при описании существенно нелинейных процессов. В этом случае локальный учет нелинейной зависимости коэффициентов переноса от параметров процесса проводится итерационно. Как показали исследования авторов введение нелинейностей в дифференциальные операторы неэффективно – требуются громоздкие и не всегда устойчивые разностные схемы, а точность решения не повышается.

Более проблематичным является описание турбулентности. Как правило, в реальных объектах присутствует анизотропная турбулентность. Современные вычислительные ресурсы позволяют отслеживать крупные вихри, но для описания мелкомасштабной турбулентности приходится использовать эффективные коэффициенты переноса (вязкость, теплопроводность, диффузия) определяемые различными способами, базируясь на существующих моделях турбулентного переноса, опыте решения аналогичных задач и здравом смысле. До настоящего времени не существует универсальной модели турбулентности. Каждая из моделей (начиная от пути смешивания до  $k$ - $\epsilon$  модели) имеет свою область применения. Задача исследователя подобрать применительно к исследуемому объекту приемлемую модель турбулентности.

Оговоренная выше система уравнений гидромеханики и условий замыкания требует значительных ресурсов при ее реализации, поэтому используются различные способы упрощения модели. Один из них - снижение размерности задачи. В этом случае производится осреднение параметров по сечению потока (понижение размерности задачи) и вводятся дополнительные граничные условия с использованием коэффициентов обмена. Тем более что на основе множества экспериментов созданы критериальные уравнения, позволяющие оценить значения коэффициентов обмена.

В более сложных случаях (исследование течений в мелких акваториях, тепло – массоперенос в системе плоских каналов и т.п.) приходится использовать двумерную постановку, проводя осреднение по третьей координате. Чаще всего подобное осреднение несущественно снижает достоверность решения. Это имеет место, например, при автомодельных режимах течения, когда ядро потока занимает большую часть проходного сечения, а значение параметров по сечению ядра практически не меняется. Но иногда прямое осреднение параметров приводит к заметной ошибке.

Авторы проводили исследования тепло – массопереноса в системе

плоских каналов сложного (в плане) профиля при величине отношении ширины канала к зазору 10÷50. Величина зазора между пластинами плавно изменялась на 33 %÷75 %. Исходя из условий эксплуатации, исследовались ламинарные режимы течения. Для определения поля скоростей проводилось решение системы уравнений (1)-(6).

Время решения системы (1)-(6) даже при использовании экономичных проекционных и разностных методов, описанных ниже, было значительным. Попытка перейти к двумерной постановке задачи с прямым осреднением параметров приводила к заметному искажению решения. Поэтому разрабатывался подход с введением поправочных коэффициентов, учитывающих профиль скорости в сечении [1].

В основу подхода положено предположение, что вид профиля безразмерной скорости в зазоре на некотором расстоянии по направлению движения среды меняется слабо. Осреднение скорости по высоте канала (зазор между пластинами  $h$ ) проводилось по зависимости

$$\int_0^h v \cdot dh = V \cdot h \cdot \int_0^1 \bar{v} \cdot d\bar{h}, \quad (7)$$

где  $v$ ,  $\bar{v}$ ,  $V$  – соответственно локальное, безразмерное и осредненное значения компонента вектора скорости.

Модифицированная система уравнений (1)-(6) имеет вид:

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} + f1 = 0 \quad (8)$$

$$f2 \cdot \left( v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -f3 \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + f4 \cdot v \quad (9)$$

$$f2 \cdot \left( v \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial w}{\partial y} \right) = -f3 \cdot \frac{\partial P}{\partial y} + \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + f4 \cdot w \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 2 \cdot \rho \cdot \left( \frac{\partial v}{\partial x} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial w}{\partial y} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (11)$$

$$f5 \cdot \left( v \cdot \frac{\partial t}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial t}{\partial y} \right) = \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right) \quad (12)$$

$$\text{где } f1 = \frac{1}{h} \cdot \left( v \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \right), \quad f2 = \frac{k_2}{v \cdot k_1}, \quad f3 = \frac{1}{v \cdot k_1 \cdot \rho},$$

$$f4 = \frac{k_3}{k_1 \cdot h^2}, \quad f5 = \frac{c_p \cdot \rho \cdot k_2}{\lambda \cdot k_1}, \quad V = v \cdot f(\bar{z}),$$

$$k_1 = \int_0^1 f(\bar{z}) \cdot d\bar{z}, \quad k_2 = \int_0^1 f^2(\bar{z}) \cdot d\bar{z}, \quad k_3 = \left( \frac{\partial f(\bar{z})}{\partial \bar{z}} \Big|_1 - \frac{\partial f(\bar{z})}{\partial \bar{z}} \Big|_0 \right)$$

В ряде случаев члены уравнений (9) и (10), содержащие вторые производные, достаточно малы, поэтому допустимо использовать систему уравнений

$$f2 \cdot \left( v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -f3 \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + f4 \cdot v \quad (13)$$

$$f2 \cdot \left( v \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + w \cdot \frac{\partial w}{\partial y} \right) = -f3 \cdot \frac{\partial P}{\partial y} + f4 \cdot w. \quad (14)$$

Как правило, при решении прикладных задач предварительно проводилось расщепления задачи на подзадачи: определение поля скоростей и определение поля давлений. Сшивка решений проводилась итерационно (глобальные итерации). На каждой глобальной итерации проводилось итерационное уточнение нелинейных коэффициентов уравнений (локальные итерации).

Следует отметить, что время получения окончательного решения существенно зависит от начального приближения.

Для решения задач переноса разработаны новые разностные, проекционно-сеточные и проекционные численные методы.

Чтобы сохранить наглядность и простоту разностных схем, обеспечивая одновременно устойчивость счета и снижение методической погрешности, можно аппроксимировать комплекс, включающий члены уравнения переноса по трехточечной схеме [1], [2]

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + A \cdot \frac{\partial f}{\partial x} \approx A_1 \cdot f_{i-1} + A_2 \cdot f_i + A_3 \cdot f_{i+1}. \quad (15)$$

Расчетные зависимости для коэффициентов  $A_1, A_2, A_3$  можно получить из аналитического решения уравнения вида (16) при постоянном значении правой части  $B$  или линейном изменении ее значе-



ния на интервале ограниченном узловыми точками с индексами  $i-1$  и  $i+1$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + A \cdot \frac{\partial f}{\partial x} = B. \quad (16)$$

Одновременно можно из аналитического решения получить аналогичную аппроксимирующую зависимость для первой производной, что важно при аппроксимации уравнения неразрывности:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx B_1 \cdot f_{i-1} + B_2 \cdot f_i + B_3 \cdot f_{i+1}, \quad (17)$$

где  $A_1 = \frac{A \cdot \Delta x \cdot (C_2 - C_1)}{C_3}$ ,  $A_2 = \frac{A \cdot \Delta x \cdot C_2}{C_3}$ ,  $A_3 = \frac{A \cdot \Delta x \cdot C_1}{C_3}$ ,

$$B_1 = \frac{A \cdot \Delta x \cdot (C_1 + 1) - C_2 + C_1}{C_2 - 2 \cdot C_1}, B_2 = \frac{C_2 - 2 \cdot A \cdot \Delta x \cdot (C_1 + 1)}{C_2 - 2 \cdot C_1},$$

$$B_3 = \frac{A \cdot \Delta x \cdot (C_1 + 1) - C_1}{C_2 - 2 \cdot C_1},$$

$$C_1 = \exp(A \cdot \Delta x) - 1, \quad C_2 = \exp(2 \cdot A \cdot \Delta x) - 1, \quad C_3 = C_2 - 2C_1.$$

Для решения полученной переопределенной системы квазилинейных уравнений применяется прямой метод на базе метода наименьших квадратов. Уточнение параметров типа  $A$  (16) проводится на локальных итерациях.

Основная идея проекционно-сеточного метода [3] заключается в том, что на участках каждой оси независимой переменной в качестве решения принимается функция определенного типа (как правило, полиномы невысоких степеней). Выражения для функции и ее производных подставляются в решаемые уравнения. Записывается выражение для функционала  $\delta$ , который представляет собой сумму квадратов невязок (разностей значений правой и левой частей уравнений) для ряда сеточных значений независимых переменных. Коэффициенты аппроксимирующей функции находятся путем минимизации функционала  $\delta$ , для чего используются прямые методы решения полученной системы линейных алгебраических уравнений.

В ряде случаев для корректности аппроксимации конвективных членов представляющих произведение функции  $f$  на ее производную используется релаксационная формула

$$f \cdot \frac{\partial f}{\partial x} = \omega \cdot f_{m-1} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_m + (1 - \omega) \cdot f_m \cdot \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{m-1}, \quad (18)$$

где  $m$  – индекс итерации,  $\omega$  – параметр релаксации.

При проекционном подходе [4], [5] область определения разбивается на ряд зон, в каждой из которых, в принципе, может использоваться наиболее подходящая функция, аппроксимирующая решение. Определение величин коэффициентов аппроксимирующей функции осуществляется из условия минимизации среднеквадратичного значения невязки левых и правых частей уравнений, как для дифференциальных уравнений и условий замыкания математической модели, так и для граничных условий или условий сшивки решения на границах зон. Сшивка проекционных решений ведется итерационным способом. Такой проекционно-региональный подход удобен, когда границы области определения искомым функций или назначенных зон перемещаются и имеют сложную конфигурацию.

Исследования показали, что чаще всего наиболее приемлемыми являются аппроксимирующие функции вида:

- для стационарных процессов

$$F = \sum_{k=0}^{k_{\max}} \sum_{j=0}^{j_{\max}} \sum_{i=0}^{i_{\max}} a_{ijk} \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^k ; \quad (19)$$

- для нестационарных процессов

$$F = \sum_{e=0}^{e_{\max}} \sum_{k=0}^{k_{\max}} \sum_{j=0}^{j_{\max}} \sum_{i=0}^{i_{\max}} a_{ijke} \cdot x^i \cdot y^j \cdot z^k \cdot t^e , \quad (20)$$

где  $F$  – аппроксимируемая функция;

$x, y, z$  – координаты;

$t$  – время.

При аппроксимации конвективных членов используется прием (18). Эффективно использование на первых итерациях упрощенных аппроксимирующих функций для получения предварительного решения. Окончательное решение может отражаться другими функциями (более высокого порядка или даже другого вида).

Организация сшивки решений на границах зон и выбор последовательности обхода зон при итерационном поиске решения является наиболее сложной проблемой. Авторами используется система весовых коэффициентов, которые позволяют гибко управлять сходимостью итерационного процесса и назначать степень влияния различных факторов. Используется ранжирование итераций в зависимости от стратегии поиска решения. Наиболее удобно связывать глобальные итерации с последовательностью обхода зон, а локальные с уточнением решения в зоне.

Отдельно развивались методы решения задач волновой гидродинамики. Например, качка судов на глубокой воде [6], [7]. Решение подобных прикладных задач связано с заданием условий на бесконечности. Аналитические методы позволяют в достаточной степени удовлетворить заданным условиям, но получение самого решения связано подчас с непреодолимыми трудностями, особенно при сложной форме корпуса судна. При численном решении оговоренной задачи прямая реализация условий на бесконечности невозможна.

Поэтому эффективным является численное моделирование во времени процессов взаимодействия корпуса и жидкости в ограниченной области вблизи корпуса с учетом его отклонения от положения равновесия. Расчетная область включает колеблющееся тело и часть жидкости, прилегающей к корпусу. На удалении от корпуса (5-10 характерных размеров корпуса) назначаются виртуальные границы, выделяющие расчетную область. Условия на виртуальных границах должны полностью отражать воздействия со стороны внешней (бесконечной) среды.

Если движение среды рассматривается как потенциальное, наиболее удобным представляется использование проекционно-региональных методов решения в выделенной области, а на виртуальных границах задаются свободные условия. В задачах качки судна в идеальной жидкости это удовлетворение уравнению Лапласа и уравнению на свободной поверхности жидкости.

На свободной поверхности жидкости ( $Z=0$ ) в допущениях малой амплитуды генерируемых волн часто используется условие (21)

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} - g \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial Z} = 0. \quad (21)$$

Однако обычная разностная аппроксимация (21) приводит к неустойчивой разностной схеме. Используя различные приемы, можно за счет некоторого увеличения методической погрешности обеспечить устойчивость счетной формулы.

Более приемлемым представляются условия на поверхности жидкости:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} \cdot \left[ \left( \frac{\partial \Phi}{\partial X} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial Z} \right)^2 \right] - g \cdot H = 0 \quad (22)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial X} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial X} + \frac{\partial H}{\partial Y} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial Y} + \frac{\partial \Phi}{\partial Z} = 0 \quad (23)$$

где  $H$  – отклонение поверхности жидкости от положения равновесия.

Систему уравнений (22)-(23) можно решать проекционным методом. Однако в силу периодичности решения по направлениям  $X, Y$  требуется значительное число подобластей проекционного решения, что усложняет алгоритм решения.

При вихревом движении жидкости, описываемом системой укороченных (или полных) уравнений Навье-Стокса подобный подход также требует значительных вычислительных ресурсов.

Существует другой путь. В области вблизи корпуса судна используются проекционные или проекционно-региональные методы численного решения. Вне этой области вводится зона, решение в которой проводится разностными методами. Сшивка проекционного и разностного решений проводится итерационно. Со стороны внешней среды зона разностного решения ограничена виртуальными границами (рис. 1).

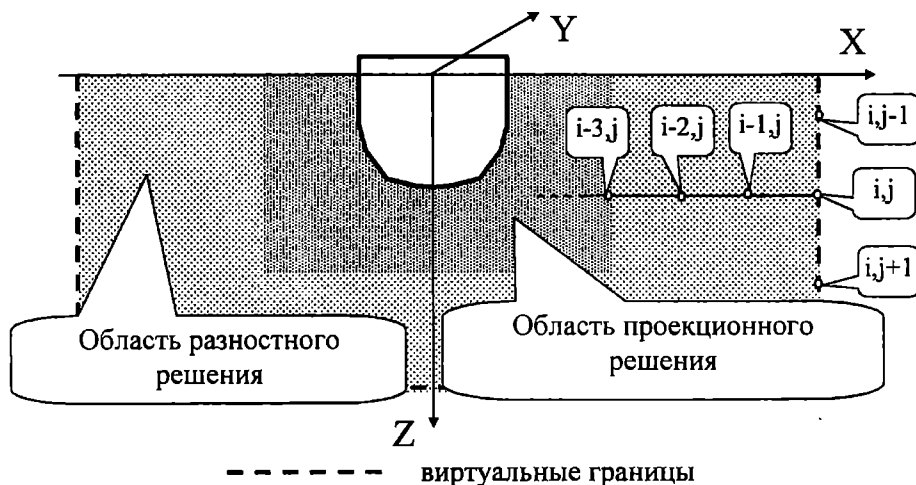


Рис. 1. Схема расчетной области

При разностном подходе для точек на свободной поверхности среды система уравнений (22) – (23) преобразуется в (24) – (25):

$$\Phi_n - g \cdot \Delta t \cdot H_n = H_{n-1} - \frac{\Delta t}{2} \cdot \left[ \left( \frac{\partial \Phi}{\partial X} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial Y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial Z} \right)^2 \right]_n \quad (24)$$

$$-\frac{\Delta t}{\Delta z} \cdot \Phi_n + H_n = H_{n-1} - \Delta t \cdot \left[ \frac{\partial H}{\partial X} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial X} + \frac{\partial H}{\partial Y} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial Y} \right]_n - \frac{\Delta t}{\Delta z} \cdot \Phi \Big|_{\Delta z, n} \quad (25)$$

где  $\Phi \Big|_{\Delta z}$  – значение потенциала на расстоянии  $\Delta z$  от поверхности;  
 $n$  – индекс момента времени.

Решение системы (24)-(25) выполняется прямым методом при итерационном уточнении правых частей, вычисляемых разностным способом по результатам предыдущей итерации. Схема устойчива и проста в реализации.

Условия на нижней виртуальной границе области разностного решения при исследовании качки судов (для глубокой воды) имеют вид

$$\lim_{z \rightarrow \infty} \text{grad } F = 0, \quad (26)$$

где  $F$  – потенциал возмущенных скоростей жидкости при исследовании потенциальных течений идеальной жидкости. При решении системы укороченных (или полных) уравнений Навье-Стокса под  $F$  подразумевается компонента вектора скорости или динамическое давление.

Исходя из обоснованных предположений о том, что на расстоянии от корпуса величина  $F$  уменьшается с глубиной  $Z$  по зависимости близкой к экспоненциальной –  $F = A + B \cdot \exp(k \cdot Z)$  (где  $A, B, k$  – параметры, которые отображают реальный процесс) можно для постоянных шагов  $\Delta z$  записать разностную форму условия (26)

$$F_j = F_{j-1} + (F_{j-1} - F_{j-2})^2 / (F_{j-2} - F_{j-3}), \quad (27)$$

где  $j$  – индекс точки на нижней границе области разностного решения (индексация от поверхности).

Иначе реализуются условия на вертикальных виртуальных границах. Предполагается, что значение  $F$  по осям  $X_i$  вдали от корпуса отражается гармонической зависимостью и описывается уравнением вида

$$\frac{\partial^2 F}{\partial X_k^2} + A \cdot F = 0, \quad (28)$$

где  $X_k$  –  $k$  горизонтальная координатная ось;

$A$  – параметр, величина которого вблизи свободной границы изменяется мало.

Обрабатывая значения  $F$  в узлах вблизи свободной границы (они являются результатами предыдущей итерации) можно определить значение  $A$  для каждого горизонтального счетного слоя. Значение  $F$  на вертикальной виртуальной границе определяется по зависимости

$$F_{i,j} = \frac{F_{i,j-1} + F_{i,j+1}}{2 + A \cdot \Delta Z^2}. \quad (29)$$

На первых итерациях для экстраполяции значения  $F_{i,j}$  в точке на виртуальной границе (рис. 2) используется полиномиальная аппроксимация изменения  $F$  по направлению  $X_k$ .

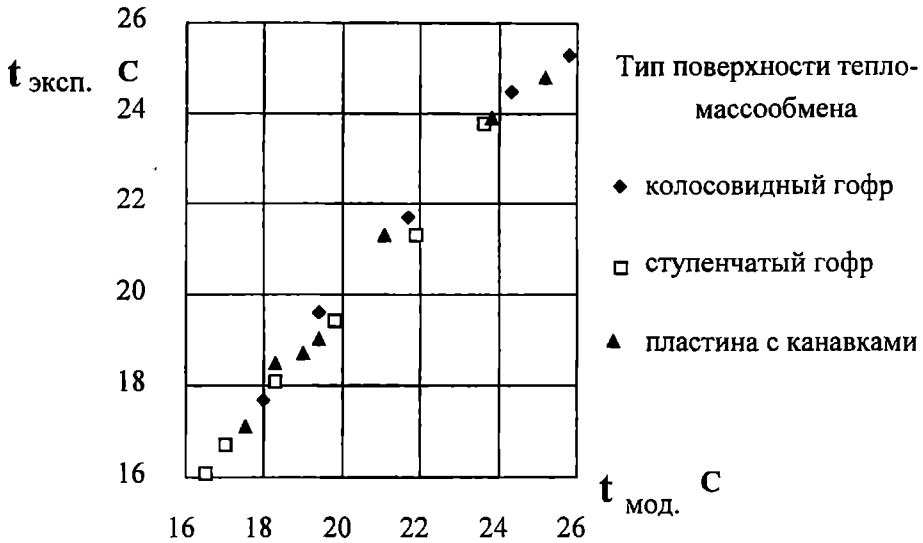


Рис. 2. Корреляция экспериментальных ( $t_{\text{эксп.}}$ ) и расчетных ( $t_{\text{мод.}}$ ) результатов исследования воздухоохладителей с различными поверхностями обмена

Эффективность предлагаемых подходов подтверждалась сравнением численного решения задачи колебаний плоского контура с аналитическими решениями и экспериментом [8].

В настоящее время прорабатываются вопросы адаптации рассмотренных методов к параллельным вычислениям [6].

Описанные выше методы и приемы использовались для решения широкого круга задач [9]-[15].

В частности проводилось подробное моделирование взаимосвязанных процессов переноса в охладителях воздуха испарительного типа, когда в качестве расходуемого рабочего агента используется вода [16]-[18]. Основным аппарата является тепло-массо-обменная насадка содержащая каналы, образованные водонепроницаемой пластиной (пленкой) покрытой увлажняемым пористым материалом. Наружный воздух (не насыщенный водяным паром) поступает в сухие каналы, где он охлаждается за счет теплообмена с сухой поверхностью пластины. Часть его направляется потребителю, а оставшаяся часть направляется во влажные каналы, где он насыщается парами воды испаряющейся с поверхности пористого материала. На испарение воды отбирается тепло от воздуха, проходящего в сухом канале.

Трехмерные матмодели использовались для получения подробных полей скорости, абсолютной влажности и температуры в отдельных плоских каналах с технологическими канавками.

Полученные подробные решения позволили найти зависимости эффективных коэффициентов обмена от параметров процесса и конструктивных особенностей каналов.

Полное исследование процессов переноса в охладителях воздуха проводилось поэтапно. Двухмерная матмодель использовалась для получения предварительного решения, на основе которого для отдельных каналов проводилось подробное моделирование позволяющее уточнить коэффициенты обмена для двумерной матмодели.

Достоверность результатов математического моделирования подтверждалась исследованиями на экспериментальных установках. Оценивалось согласование параметров воздуха на выходе из воздухоохладителя (полученных экспериментально и методом математического моделирования) при обеспечении равенства всех прочих параметров. Исследовались характеристики воздухоохладителей с различными профилями поверхности теплообмена: ступенчатый и колосовидный гофр, плоские пластины с турбулизаторами в виде канавок треугольного профиля [18].

Решение широкого круга прикладных задач позволило авторам наметить пути совершенствования компьютерного моделирования.

В связи с возрастающей сложностью исследуемых объектов и необходимостью поиска оптимальных решений, перспективным представляется переход к распределенным вычислениям в сети компьютеров. А это в свою очередь требует адаптации разработанных методов и методик к распределению вычислений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Merkt R.V., Chelabchi V.V. *Computer simulation of associated transfer processes // Вісник національного технічного університету «ХПІ»: Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. № 2. – С. 37-47.*
2. Меркт Р.В. Челабчи В.В., Челабчи В.Н. *Устойчивая разностная схема для решения задач гидромеханики и конвективного переноса // Тезисы докладов I международной конференции «Численные методы в гидравлике и гидромеханике». – Донецк: ДонГУ, 1994. – С. 83.*
3. Merkt R.V., Chelabchi V.N. *Projection approaching solving hydrodynamics problems // Proceedings of the VI-th Congress of IMAM. – Varna ( Bulgaria). – 1993. – P. 13-16.*

4. Chelabchi V.N., Merkt R.V., Maksimenuk J.F. Organization of calculating experiment in hydro- and aerodynamics // Papers of 5th International Congress on Marine Technology. – Piraeus Greece): Athens 90. – 1990. – P. 86-88.
5. Динаміка суднових корпусних конструкцій та елементів енергетичних комплексів і теоретичні засади їх оптимізації: Звіт з НДР / ОНМУ, НДІ фундаментальних та прикладних досліджень: № ДР 78020346. – Одеса: ОНМУ. – 2002. – С. 75.
6. Chelabchy V.V. Adapting of methods of a solution of applied problems to the distributed calculations // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2004. №1. – С. 15-23.
7. Челабчі В.В. Про використання комбінації проєкційних і сіткових методів для вирішення задач гідродинаміки ідеальної рідини // Матеріали VIII міжнародної НПК «Наука і освіта 2005». Т. 23. Математичне моделювання. – Дніпропетровськ: Наука і освіта. – 2005. – С. 68-69.
8. Vugts J.H. The hydrodynamic coefficients for swaying, heaving and rolling cylinders in a free surface // International Shipbuilding Progress. – July 1968. – V.15. № 167. – P. 251-276.
9. Разработка режимов перевозки жидких грузов на базе математического моделирования их состояния: Отчет о НИР / НИО: № ГР 80032215 – Одеса: ОИИМФ. – 1980. – С. 54.
10. Исследование теплопереноса в теплотехнических объектах методом математического моделирования: Отчет о НИР / НИО: № ГР 78020346. – Одеса: ОИИМФ. – 1981. – С. 116.
11. Математическое обеспечение моделирования процессов в грузе и судовых системах: Отчет о НИР / НИО: № ГР 01830031833. – Одеса: ОИИМФ. – 1984. – С. 32.
12. Разработка математических моделей и методов расчета горения дисперсного бора в энергосиловых установках: Отчет о НИР ДСП (промежуточный) / НИО. – Одеса: ОИИМФ. – 1987. – С. 39.
13. Челабчи В.Н. Исследование тепловых полей в деталях энергетических установок на базе проекционно-разностных методов // Тезисы докладов Республ. научн.-техн. конференции «Математическое моделирование процессов и конструкций энергетических и транспортных турбинных установок в системах их автоматизированного проектирования». – Ч. I. – Харьков: ИМП, 1988. – С. 83-84.



14. Вассерман В.А., Челабчи В.Н. Тепловое состояние металлизированных окатышей при морской перевозке // В/О Мортехинформреклама: Серия «Технология морских перевозок». Вып. 3(213). – Москва. – 1992. – С. 1-15.
15. Merkt R.V., Chelabchi V.N. Ecologically clean cool-production on ships Proceedings of the 6-th Congress of the IMAM. V.3: – Varna(Bulgari). – 1993. – P.173-179.
16. Bobyr V.A., Merkt R.V., Moshnyanski A.F., Chelabchi V.N. Study of the heat-mass transfer in seatransported granular cargoes Proceedings of the Ferst International Conference on Marine Industry «Marind-96». V.3. – Varna (Bulgaria). – 1996. – p. 413-414.
17. Меркт Р.В., Челабчи В.Н. Инсоляционные опреснители на базе установок испарительного охлаждения // Промышленная теплотехника. – 2000 – Т. 22. – № 2. – С. 47-49.
18. Меркт Р.В., Челабчи В.В., Челабчи В.Н. Оптимизация воздухоохладителей испарительного типа // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25. – № 4. – С. 167-168.

Надійшла 25. 07. 05

## РЕШЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ БРУСА ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Рассмотрены вопросы, связанные с разработкой матриц жесткости и масс стержневого конечного элемента переменного сечения с 6-ю степенями свободы с учетом упругого основания. Указанный конечный элемент может быть использован для решения широкого круга практических задач – изгиб поперечной нагрузкой, сложный изгиб, анализ устойчивости и свободных колебаний бруса или плоской системы брусьев. Приведен результат анализа устойчивости плоской рамы, образованной двумя стойками переменного сечения и ригелем постоянного сечения.*

***Ключевые слова:** метод конечных элементов, конечный элемент, матрица жесткости, матрица устойчивости, матрица масс, плоская стержневая система, критическая сила.*

В инженерных расчетах различных конструкций широко применяются расчетные схемы в виде изолированных брусьев или систем взаимодействующих в узловых точках брусьев. В некоторых расчетных схемах конструктивные элементы имеют переменное по длине сечение и могут быть связаны с упругим основанием. Решение статических и динамических задач с использованием указанной расчетной схемы представляет сложную математическую проблему, анализ которой в большинстве случаев возможно выполнить только численными методами.

Целесообразно для решения указанных задач применить метод конечных элементов. Ограничимся рассмотрением геометрически и физически линейных задач об изгибе, устойчивости и колебаниях бруса переменного сечения. Для решения поставленной задачи необходимо разработать матрицы жесткости и масс КЭ бруса переменного сечения с учетом упругого основания.

Рассмотрим конечный элемент (КЭ) бруса, в каждом естественном узле которого предусмотрено по три степени свободы: осевое перемещение  $u$ , нормальное перемещение  $v$  и угол поворота сечения

$$\theta = v_{,x} = \frac{\partial v}{\partial x} = v' \quad (\text{рис. 1}).$$

В этом случае вектор-столбец узловых перемещений КЭ имеет структуру

$$\{q(t)\}^T = \{u_1(t); v_1(t); v_{,x_1}(t); u_2(t); v_2(t); v_{,x_2}(t)\}, \quad (1)$$

Изменение площади  $A(x)$  и центрального момента инерции  $J(x)$  поперечного сечения бруса примем в виде

$$A(x) = A_0 \left(1 + \frac{c}{l}x\right)^2; \quad J(x) = J_0 \left(1 + \frac{c}{l}x\right)^4, \quad (2)$$

где  $A_0, J_0$  – площадь и центральный момент инерции левого поперечного сечения КЭ ( $x=0$ );

$l$  – длина конечного элемента;

$c$  – множитель (при  $c=0$  имеем КЭ постоянного сечения).

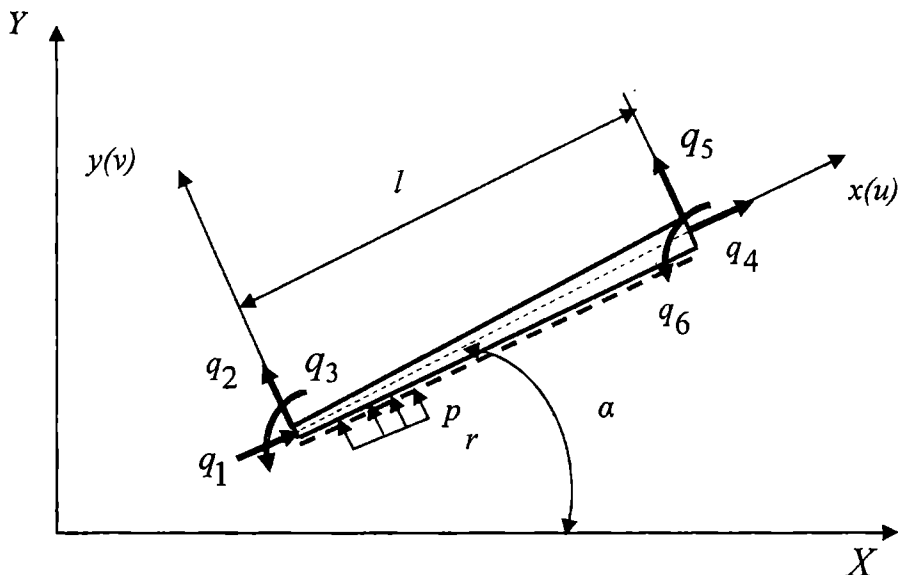


Рис. 1. Конечный элемент бруса переменного сечения, связанный с местной  $x, u$  и общей  $X, Y$  системами координат:

( $q_1 = u_1$ ;  $q_2 = v_1$ ;  $q_3 = v_{,x_1}$ ;  $q_4 = u_2$ ;  $q_5 = v_2$ ;  $q_6 = v_{,x_2}$ ;  $t$  – время)

Выражения (2) нетрудно представить в виде:

$$A(x) = A_o \lfloor f_A(x) \rfloor \{\beta_A\}; \quad (3)$$

$$J(x) = J_o \lfloor f_J(x) \rfloor \{\beta_J\}, \quad (4)$$

где

$$\lfloor f_A(x) \rfloor = \left[ 1, x, x^2 \right]; \quad \lfloor f_J(x) \rfloor = \left[ 1, x, x^2, x^3, x^4 \right]$$

– матрицы-строки координатных функций;

$$\{\beta_A\}^T = \left\{ 1, \frac{2c}{l}, \frac{c^2}{l^2} \right\}; \quad \{\beta_J\}^T = \left\{ 1, \frac{4c}{l}, \frac{6c^2}{l^2}, \frac{4c^3}{l^3}, \frac{c^4}{l^4} \right\}$$

– векторы-столбцы постоянных множителей.

Принятая структура вектора-столбца (1) позволяет представить функции осевых  $u(x, t)$  и нормальных  $v(x, t)$  перемещений точек оси КЭ в виде:

$$u(x, t) = \beta_1(t) + \beta_2(t)x; \quad (5)$$

$$v(x, t) = \beta_3(t) + \beta_4(t)x + \beta_5(t)x^2 + \beta_6(t)x^3. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) целесообразно записать в матричной форме:

$$u(x, t) = \lfloor f_u(x) \rfloor \{\beta_u(t)\}; \quad v(x, t) = \lfloor f_v(x) \rfloor \{\beta_v(t)\}, \quad (7)$$

где

$$\lfloor f_u(x) \rfloor = \left[ 1, x \right]; \quad \lfloor f_v(x) \rfloor = \left[ 1, x, x^2, x^3 \right]$$

– матрицы-строки координатных функций;

$$\{\beta_u(t)\}^T = \{\beta_1(t), \beta_2(t)\}; \quad \{\beta_v(t)\}^T = \{\beta_3(t), \dots, \beta_6(t)\}$$

– векторы-столбцы подлежащих определению множителей.

Выражения (7) можно записать в более компактной форме

$$\begin{bmatrix} u(x, t) \\ v(x, t) \end{bmatrix} = \lfloor \psi(x) \rfloor \{\beta(t)\}, \quad (8)$$

где

$$[\psi(x)]_{2 \times 6} = \begin{bmatrix} [f_u(x)] & 0 \\ 0 & f_v(x) \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$\{\beta(t)\}^T = \{\beta_1(t), \dots, \beta_6(t)\}. \quad (10)$$

Применив выражение (8) для формирования кинематических условий в узлах КЭ, получим

$$\{q(t)\} = [B]\{\beta(t)\}, \quad (11)$$

где  $[B]_{6 \times 6}$  - неособенная квадратная матрица преобразования.

Из выражения (11) найдем

$$\{\beta(t)\} = [B]^{-1}\{q(t)\}. \quad (12)$$

Нетрудно установить, что квадратная матрица  $[B]^{-1}$  имеет структуру

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

Выражение (8) с учетом зависимости (12) преобразуется к виду

$$\begin{bmatrix} u(x, t) \\ v(x, t) \end{bmatrix} = [\psi(x)][B]^{-1}\{q(t)\}. \quad (13)$$

Предположим, что брус связан с упругим основанием. Ограничимся рассмотрением модели упругого основания Фусса-Винклера. Для рассматриваемой модели основания реактивное давление  $p_r$  в каждой точке контакта бруса с основанием пропорционально

нормальному перемещению  $v$  оси бруса (осадке основания) в этой точке (рис. 1)

$$p_r = k(x)v, \quad (14)$$

где  $k(x)$  – коэффициент жесткости упругого основания (коэффициент жесткости постели).

Примем, что в пределах длины КЭ коэффициент жесткости упругого основания изменяется по линейному закону

$$k(x) = k_1 + \frac{k_2 - k_1}{l}x, \quad (15)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – значения коэффициента жесткости упругого основания в сечениях левого ( $x = 0$ ) и правого ( $x = l$ ) узлов КЭ.

Помимо поперечной нагрузки брус может быть нагружен постоянными осевыми силами  $N$ .

Потенциальная энергия деформации КЭ в местной системе координат с учетом осевых сил  $N$  и упругого основания может быть вычислена по формуле

$$V_i = \frac{E}{2} \int_0^l A(x) (u')^2 dx + \frac{E}{2} \int_0^l J(x) (v'')^2 dx + \frac{N}{2} \int_0^l (v')^2 dx + \frac{1}{2} \int_0^l k(x) v^2 dx, \quad (16)$$

где  $E$  – модуль продольной упругости материала бруса.

Выражение (16) с учетом зависимостей (3), (4), (13) и (15) преобразуется к виду

$$V_i = \frac{1}{2} \{q(t)\}^T \left( [k_e]_M + [k_g]_M + [k_{ef}]_M \right) \{q(t)\}, \quad (17)$$

где

$$[k_e]_M = [B]^{-T} \left( \int_0^l [\psi_e(x)]^T [D] [\psi_e(x)] dx \right) [B]^{-1} \quad (18)$$

– матрица упругой жесткости КЭ в местной системе координат;

$$[k_g]_M = [B]^{-T} \left( \int_0^l [\psi_g(x)]^T [S] [\psi_g(x)] dx \right) [B]^{-1} \quad (19)$$

– матрица геометрической жесткости (матрица устойчивости) КЭ в местной системе координат;

$$[k_{ef}]_M = [B]^{-T} \left( \int_0^l [\psi_{ef}(x)]^T [K] [\psi_{ef}(x)] dx \right) [B]^{-1} \quad (20)$$

– матрица упругого основания КЭ в местной системе координат.

В выражениях (18) – (20) обозначено:

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

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

$$[D]_{2 \times 8} = \begin{bmatrix} EA & 0 & [f_A(x)] & \{\beta_A\} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad EJ & 0 & [f_J(x)] & \{\beta_J\}$$

$$[S]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & N \end{bmatrix}; \quad [K]_{2 \times 3} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & k_1 + \frac{k_2 - k_1}{l} x \end{bmatrix}.$$

Кинетическая энергия КЭ в местной системе координат может быть вычислена по формуле

$$T = \frac{\rho}{2} \int_0^l A(x) \left( \frac{du}{dt} \right)^2 dx + \frac{\rho}{2} \int_0^l A(x) \left( \frac{dv}{dt} \right)^2 dx, \quad (21)$$

где  $\rho$  – плотность материала бруса.

Выражение (21) с учетом зависимостей (3) и (14) преобразуется к виду

$$T = \frac{1}{2} \left\{ \dot{q}(t) \right\}^T [m]_M \left\{ \dot{q}(t) \right\}, \quad (22)$$

где

$$\dot{\{q(t)\}} = \{dq(t)/dt\};$$

$$[m]_M = [B]^{-T} \begin{pmatrix} l \\ \int [\psi_m(x)]^T [\mu] [\psi_m(x)] dx \\ 0 \end{pmatrix} [B]^{-1} \quad (23)$$

– матрица масс КЭ в местной системе координат.

В выражении (23) обозначено

$$[\psi_m(x)]_{2 \times 6} = \begin{bmatrix} [f_u(x)] & 0 \\ 0 & [f_v(x)] \end{bmatrix};$$

$$[\mu]_{2 \times 6} = \rho A_0 \begin{bmatrix} [f_A(x)] \{\beta_A\} & 0 \\ 0 & [f_A(x)] \{\beta_A\} \end{bmatrix}.$$

Преобразование матриц жесткости и масс КЭ к общей системе координат  $X, Y$  (рис. 1) производится по формулам:

$$\begin{aligned} [k_e]_{6 \times 6} &= [C]^T [k_e]_M [C]; & [k_g]_{6 \times 6} &= [C]^T [k_g]_M [C]; \\ [k_{ef}]_{6 \times 6} &= [C]^T [k_{ef}]_M [C]; & [m]_{6 \times 6} &= [C]^T [m]_M [C]. \end{aligned} \quad (24)$$

где  $[k_e]$ ,  $[k_g]$ ,  $[k_{ef}]$ ,  $[m]$  – матрицы жесткости и масс КЭ в общей системе координат;

$$[C]_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} [c] & 0 \\ 0 & [c] \end{bmatrix}. \quad (25)$$

В выражении (25) обозначено

$$[c] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$



где  $\alpha$  – угол, определяющий ориентацию осей  $x, y$  местной системы координат по отношению к осям  $X, Y$  общей системы координат (рис. 1).

В работе [1] подробно рассмотрена процедура вывода уравнения движения упругой системы. Указанное уравнение имеет вид

$$[M] \{\ddot{Q}(t)\} + [D] \{\dot{Q}(t)\} + \left( [K_e] + [K_g] + [K_{ef}] \right) \{Q(t)\} = \{P(t)\}, \quad (26)$$

где  $[K_e]$ ,  $[K_g]$ ,  $[K_{ef}]$ ,  $[M]$  – матрицы жесткости и масс бруса (ансамбля КЭ) в общей системе координат;

$[D]$  – матрица коэффициентов демпфирования;

$\{Q(t)\}$  – вектор узловых перемещений бруса в общей системе координат;

$\{\dot{Q}(t)\}$  – вектор узловых скоростей;

$\{\ddot{Q}(t)\}$  – вектор узловых ускорений;

$\{P(t)\}$  – вектор внешних узловых сил, действующих на брус.

Применительно к задачам расчета бруса переменного сечения для формирования матриц жесткости  $[K_e]$ ,  $[K_g]$ ,  $[K_{ef}]$ ,  $[M]$  необходимо использовать уравнения (24) для вычисления коэффициентов матриц жесткости и масс отдельного КЭ.

Если учесть только первые слагаемые выражений (3) и (4), то уравнения (24) будут определять коэффициенты матриц жесткости и масс КЭ бруса постоянного сечения.

Из выражения (26) нетрудно получить уравнения для решения различных частных задач теории бруса переменного сечения, каждая из которых заслуживает отдельного рассмотрения – изгиб поперечной нагрузкой, сложный изгиб, устойчивость, свободные и вынужденные колебания бруса или плоской системы брусьев (плоской стержневой системы) с учетом упругого основания.

Для анализа устойчивости упругой системы, например, из выражения (26) нетрудно получить следующее матричное уравнение

$$\left( [K_e] + [K_g] \right) \{Q\} = 0, \quad (27)$$

где  $[K_e]$  – матрица упругой жесткости стержневой системы в общей системе координат;

$[K_g]$  – матрица устойчивости стержневой системы в общей системе

координат;

$\{Q\}$  – вектор возможных узловых перемещений стержневой системы, при которых вторая вариация от полной энергии конструкции обращается в ноль.

Примем, что осевые силы  $N$  изменяются пропорционально одному параметру

$$N = -n_o \bar{N}, \quad (28)$$

где  $n_o$  – параметр, имеющий размерность силы.

Выражение (27) с учетом равенства (28) преобразуется к виду

$$\left( [K_e] - n_o [\bar{K}_g] \right) \{Q\} = 0. \quad (29)$$

Уравнение (29) является более простым, так как новая матрица устойчивости  $[\bar{K}_g]$  системы не содержит неизвестных амплитуд внешних критических нагрузок, что значительно упрощает решение задачи.

Условие существования искривленных равновесных состояний стержневой системы на основании уравнения (29) запишется в виде

$$\det \left( [K_e] - n_o [\bar{K}_g] \right) = 0. \quad (30)$$

Для определения корней уравнения устойчивости (30) можно воспользоваться алгоритмом, рассмотренным в работе [2]. Практический интерес представляет наименьший корень уравнения (30).

В работе [3] приведены результаты анализа устойчивости рамы, состоящей из двух вертикальных стоек переменного сечения, ригеля постоянного сечения и нагруженной силами  $P = 1 \cdot 10^5 \text{ Н}$  (рис. 2).

Полученный наименьший корень уравнения устойчивости составляет  $n_o = 2,422 \cdot 10^2 \text{ Н}$ . Критическая нагрузка для рассматриваемой рамы определяется по формуле

$$P_{кр.} = n_o P = 2,422 \cdot 10^2 \cdot 1 \cdot 10^5 = 2,422 \cdot 10^4 \text{ кН}.$$

Решение получено методом конечных элементов с использованием стержневого конечного элемента переменного сечения, матрица

**Моделирование.  
Аналитические системы**

жесткости и матрица устойчивости которого разработаны на основании уточненной функции формы. Использована расчетная схема, изображенная на рис. 2,б (три конечных элемента и четыре узла).

Анализ устойчивости рамы с применением рассмотренного стержневого конечного элемента с 6-ю степенями свободы выполнен с использованием расчетной схемы, изображенной на рис. 2,в (шесть конечных элементов и семь узлов). Критическая нагрузка в этом случае равна  $P_{кр.} = 2,492 \cdot 10^4$  кН. Расхождение сравниваемых результатов составляет 2,89%.

Приведенный результат анализа устойчивости рамы иллюстрирует эффективность применения рассмотренного стержневого конечного элемента переменного сечения с 6-ю степенями свободы для решения перечисленных выше задач, имеющих важное практическое значение.

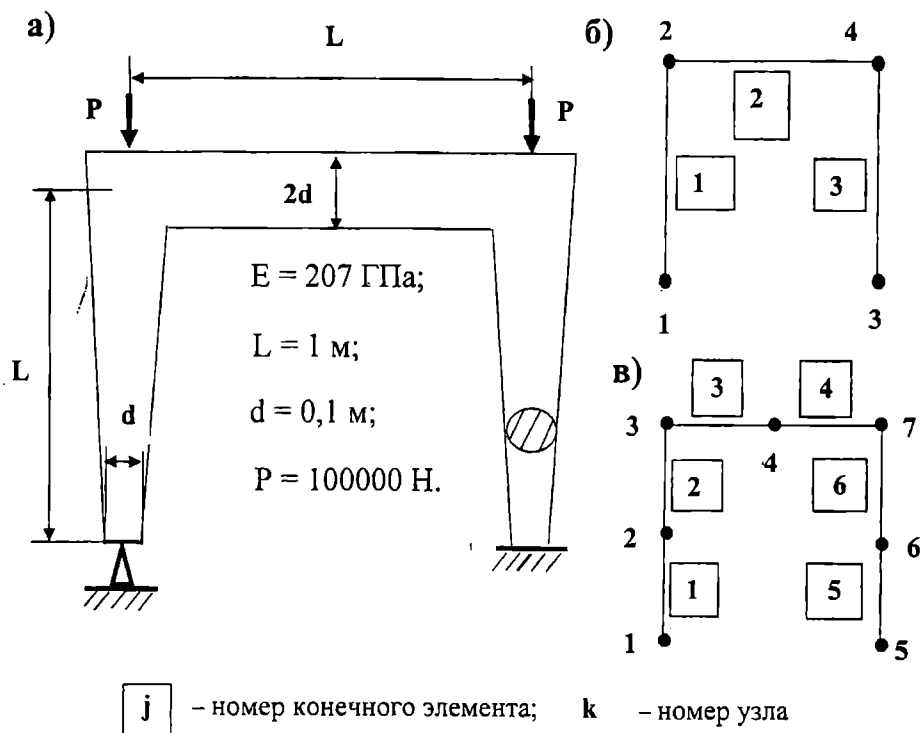


Рис.2. Рама, включающая конструктивные элементы переменного сечения (а), и её расчетные схемы (б, в).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Б.И. Применение высокоточного треугольного конечного элемента изгибаемой пластины для решения статических и динамических задач // Сб. научн. трудов Петровской академии наук и искусств / Под общ. ред. В.А. Коковина. – СПб.: ИК «Синтез», 2002. – Вып. 11. – С. 6 – 12.
2. Антонов Б.И. Об одном алгоритме решения обобщенной проблемы собственных значений // Современные проблемы судостроения и судоремонта [ОИИМФ]. – М.: В / О «Мортех-информреклама», 1991. С. 78 – 81.
3. Venerjee J. R.. Compact computation of buckling loads for plane frames consisting of tapered members // Adv. Eng. Software. 1987. Vol. 9. – No. 3. – P. 162-170.

Надійшла 05. 08. 05

**МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ  
ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ С  
ДВИЖУЩЕЙСЯ МАССОЙ**

*Составлена квазидвуволновая начально-краевая задача, описывающая в общем виде поперечные параметрические колебания балки, несущей непрерывную нестационарную движущуюся инерционную нагрузку. Предложен эффективный метод исследования параметрических резонансов. В его основе лежит разработанная модификация известного метода Бубнова-Галеркина-Канторовича-Власова.*

*Ключевые слова: нестационарные, колебания, движущаяся, нагрузка, БГКВ, каноническая, характеристические, показатели, параметрические, резонансы.*

Предположим, что горизонтально расположенная и закрепленная на концах однородная балка в недеформированном состоянии обладает вертикальной плоскостью механической симметрии. Пусть центры масс поперечных сечений балки лежат на прямой линии, которую примем за ось координат  $Ox$ ; ось ординат  $Oy$  поместим в плоскость симметрии.

Рассмотрим поперечные колебания балки. Примем гипотезу плоских сечений и будем полагать, что отклонения точек балки, лежащих в условиях равновесия на оси  $Ox$ , при колебании остаются в плоскости симметрии и перпендикулярны к оси  $Ox$ . Колебания примем малыми, т.е. возникающие при этом силы упругости будем считать подчиняющимися закону Гука. Предположим, что балка несет распределенную несжимаемую идеально гибкую нагрузку, движущуюся вдоль балки безотрывно и без трения. Исследуя динамическую задачу, исключим из рассмотрения силы тяжести. При таком подходе движущаяся нагрузка проявляет себя как инерционная нагрузка, действующая вдоль оси  $Oy$ .

При сделанных допущениях дифференциальное уравнение малых поперечных параметрических колебаний балки без учета инерции вращения ее элемента может быть записано в безразмерных переменных в следующем виде

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t_1^2} + [2\gamma a_0 + \varepsilon \gamma h_1(x_1, t_1)] \frac{\partial^2 u}{\partial x_1 \partial t_1} + [\gamma c_0 + \varepsilon \gamma h_2(x_1, t_1)] \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \varepsilon h_3(x_1, t_1) \frac{\partial^3 u}{\partial x_1^3} +$$

$$+ [y b_0^2 + \varepsilon h_4(x_1, t_1)] \frac{\partial^4 u}{\partial x_1^4} + \varepsilon \eta^* \frac{\partial u}{\partial t_1} = 0 \quad (x_1, t_1 \in D_0 : 0 \leq x_1 \leq l; t_1 \geq 0), \quad (1)$$

$$y = \frac{m_{20}}{m_1 + m_{20}}, \quad a_0 = \frac{v_0}{l \omega_1}, \quad c_0 = \frac{P_0}{m_{20} l^2 \omega_1^2} + a_0^2,$$

$$b_0^2 = \frac{E_0 I}{m_{20} l^4 \omega_1^2}, \quad x_1 = \frac{x}{l}, \quad t_1 = \omega_1 t, \quad u = \frac{y}{l}, \quad 0 < \varepsilon \ll 1,$$

$$\eta^* = \frac{\eta_c}{\omega_1 (m_1 + m_{20})},$$

- где  $m_1, m_2$  – погонные массы соответственно балки и нагрузки;  
 $v_0$  – скорость продольного движения нагрузки;  
 $l$  – длина балки,  $\omega_1$  величина размерности частоты, определяемая в зависимости от конкретных условий задачи;  
 $P_0$  – сжимающая (растягивающая) продольная сила;  
 $E_0$  – модуль упругости;  
 $I$  – момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси сечения, перпендикулярной к плоскости колебания;  
 $x$  – лагранжева координата точки оси балки и эйлерова координата соответствующего сечения движущейся нагрузки;  
 $t$  – время;  
 $y(x, t)$  – отклонение точки оси балки с лагранжевой координатой  $x$  от оси  $Ox$ ;  
 $\varepsilon \eta_c$  – коэффициент вязкости;

$T_1$  – периодические по  $t_1$  функции, которые представляют собой  $h_1(x_1, t_1), h_2(x_1, t_1), h_3(x_1, t_1), h_4(x_1, t_1)$  характеризуют возмущения, вызванные, например, пульсацией скорости нагрузки, ее неоднородностью, периодической составляющей продольного усилия и др.

Будем предполагать, что скорость  $v_0$  меньше критической, при которой частота первого тона колебаний балки при отсутствии возмущений ( $\varepsilon=0$ ) обращается в нуль [1].

Уравнение (1) рассматривается совместно с граничными условиями, выражающими различные виды закрепления концов балки, а также с начальными условиями

$$u(x_1, 0) = \frac{1}{l} \phi_1(x_1), \quad \left. \frac{\partial u}{\partial t_1} \right|_{t_1=0} = \frac{1}{\omega_1 l} \phi_2(x_1), \quad (2)$$

где  $\phi_1, \phi_2$  – функции, выражающие начальные отклонения и скорости элементов балки.

Дифференциальное уравнение (1) при соответствующей трактовке коэффициентов может также выражать параметрические поперечные колебания упругой полосы, совершающей аксиальное движение.

В поперечных колебаниях описанной системы могут возникать параметрические резонансы, которые, как известно, быстро развиваются во времени и тем опасны. Этим объясняется важность изучения условий их проявления.

Задачу (1) естественно назвать квазидвухволновой поскольку соответствующая ей невозмущенная задача ( $\epsilon=0$ ) является задачей двухволнового типа [2]. Последнее означает, что ее простейшие частные решения (моды) представляют собой не отдельные стоячие волны, как в классических задачах, а суммы двух взаимосвязанных стоячих волн; причем эта особенность колебания обусловлена гироскопическим членом в (1) со смешанной производной, выражающим интенсивность сил инерции Кориолиса. [2,3].

Далее излагается разработанный автором приближенный метод исследования сформулированной квазидвухволновой начально-краевой задачи, представляющий собой модификацию известного метода Бубнова-Галеркина – Канторовича – Власова (БГКВ). Предлагаемый метод строится как удовлетворяющий «требованию адекватности форм» приближенного и точного в невозмущенном случае решений, «принципу соответствия решений» и «требованию рационального приведения». Благодаря этому приближенное решение возмущенной задачи при стремлении параметров возмущения к нулю переходит в точное решение соответствующей невозмущенной задачи. В связи с этим метод эффективен тем, что улавливает особенности задачи при малом числе членов представления решения.

Традиционная форма приближенного метода БГКВ, использующая скалярные координатные функции, применительно к квазидвухволновым задачам указанным требованиям не удовлетворяет. И поэтому она неэффективна в том смысле, что при малом числе членов приближенного решения не улавливается двухволновой характер колебаний, а при большом – теряется аналитическая обзримость результата и усложняются вычисления.

Приведем начально-краевую задачу (1) с дополнительными условиями к начально-краевой задаче для системы дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка и представим ее в

векторно-матричной форме. Для этого введем новые переменные

$$U_1(x_1, t_1) = \frac{\partial u}{\partial t_1}, \quad U_2(x_1, t_1) = \frac{\partial u}{\partial x_1}, \quad U_3(x_1, t_1) = \frac{\partial U_2}{\partial t_1}, \quad U_4(x_1, t_1) = \frac{\partial U_3}{\partial t_1}.$$

Используя их, запишем исходную начально-краевую задачу в следующем эквивалентном виде

$$L\vec{U} \equiv \tilde{A} \frac{\partial \vec{U}}{\partial t_1} + (\tilde{C}_0 + \varepsilon \tilde{C}_1) \frac{\partial \vec{U}}{\partial x_1} + (\tilde{D}_0 + \varepsilon \tilde{D}_1) \vec{U} = 0, \quad (3)$$

где

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma c_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \tilde{C}_0 = \begin{pmatrix} 2\gamma a_0 & \gamma c_0 & 0 & \gamma b_0^2 \\ \gamma c_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\tilde{C}_1 = \gamma \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \tilde{D}_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix},$$

$$\tilde{D}_1 = \begin{pmatrix} \eta^* & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \vec{U} = \text{colon}(U_1, U_2, U_3, U_4),$$

при граничных условиях

$$N_1 \vec{U}(0, t_1) = 0, \quad N_2 \vec{U}(1, t_1) = 0, \quad (4)$$

и начальных условиях

$$\begin{aligned} U_1(x_1, 0) &= \frac{1}{\omega_1 l} \phi_2(x_1), \quad U_2(x_1, 0) = \frac{1}{l} \phi_1'(x_1), \\ U_3(x_1, 0) &= \frac{1}{l} \phi_1''(x_1), \quad U_4(x_1, 0) = \frac{1}{l} \phi_1'''(x_1); \end{aligned} \quad (5)$$



причем  $N_1$  и  $N_2$  – соответствующие условиям закрепления концов балки матрицы четвертого порядка.

Приведем примеры этих матриц. Так, граничным условиям

$$а) U_1(0, t_1) = 0, U_2(0, t_1) = 0, U_1(1, t_1) = 0, U_2(1, t_1) = 0,$$

$$б) U_1(0, t_1) = 0, U_3(0, t_1) = 0, U_1(1, t_1) = 0, U_3(1, t_1) = 0,$$

отвечают матрицы

$$а) N_1 = N_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad б) N_1 = N_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Характерным для матриц  $N_1$ ,  $N_2$  является наличие двух нулевых строк. Поэтому число уравнений (4) составляет четыре.

Рассмотрим вначале соответствующую задаче (3), (4) невозмущенную задачу

$$L_0 \bar{U}_0 \equiv \tilde{A} \frac{\partial \bar{U}_0}{\partial t_1} + \tilde{C}_0 \frac{\partial \bar{U}_0}{\partial x_1} + \tilde{D}_0 \bar{U}_0 = 0 \quad (6)$$

с граничными условиями (4), описывающую собственные незатухающие колебания. Ее решение будем искать в виде

$$\bar{U}_0 = \vec{V}(x_1) e^{\lambda t_1}, \quad \vec{V}(x_1) = colon(V_1, V_2, V_3, V_4). \quad (7)$$

Подставляя выражение  $\bar{U}_0$  в уравнение (6) и граничные условия (4), приходим к следующей краевой задаче с параметром  $\lambda$

$$\begin{aligned} \tilde{C}_0 \vec{V}' + (\tilde{D}_0 + \lambda \tilde{A}) \vec{V} &= 0, \\ N_1 \vec{V}(0) = 0, N_2 \vec{V}(1) &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Ее исследование состоит в отыскании собственных чисел (частот)  $\lambda_k$  и соответствующих собственных вектор-функций  $\vec{V}_k(x_1)$ . В работе [4] рассмотрено решение одной из задач вида (8), разработан алгоритм численного определения ее собственных чисел (частот). Нахождение частот в общем виде в условиях задачи (8) затруднительно, хотя иногда такое возможно.

Пусть найдены собственные числа  $\lambda_k$  ( $k = 1, 2, \dots$ ), причем все они различны, и собственные вектор-функции  $\vec{V}_k(x_1)$  задачи (8). Можно пока-

зять, что, если  $\lambda_k$  и  $\vec{V}_k(x_1)$  – собственное значение и собственная вектор-функция задачи (8), то таковыми являются также комплексно сопряженные  $\bar{\lambda}_k$  и  $\bar{\vec{V}}_k(x_1)$ . В дальнейшем комплексно сопряженные  $\bar{\lambda}_k$ ,  $\bar{\vec{V}}_k(x_1)$  будем обозначать с помощью отрицательного индекса  $\bar{\lambda}_k \equiv \lambda_{-k}$ ,  $\bar{\vec{V}}_k(x_1) \equiv \vec{V}_{-k}(x_1)$ .

Определив  $\lambda_k$  и  $\vec{V}_k(x_1)$ , на основании (7) запишем комплекснозначные частные решения задачи (6), (4)

$$\vec{U}_{0k}(x_1, t_1) = \vec{V}_k(x_1) e^{\lambda_k t_1} \quad (k = \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (9)$$

С их помощью составим общее решение невозмущенной задачи (6), (4), (5)

$$\vec{U}_0(x_1, t_1) = \sum_{k=1}^{\infty} [\hat{D}_k \vec{V}_k(x_1) e^{\lambda_k t_1} + \hat{D}_{-k} \vec{V}_{-k}(x_1) e^{\lambda_{-k} t_1}]. \quad (10)$$

Постоянные числа  $\hat{D}_k$  и  $\hat{D}_{-k}$  определяются из условия удовлетворения начальным данным (5)

$$\begin{aligned} & \left( \frac{1}{\sigma_1 l} \phi_2(x_1), \frac{1}{l} \phi_1'(x_1), \frac{1}{l} \phi_1''(x_1), \frac{1}{l} \phi_1'''(x_1) \tau \right) = \\ & = \sum_{k=1}^{\infty} [\hat{D}_k \vec{V}_k(x_1) + \hat{D}_{-k} \vec{V}_{-k}(x_1)]. \end{aligned} \quad (11)$$

Поскольку левая часть полученного равенства действительна, то  $\hat{D}_k$  и  $\hat{D}_{-k}$  должны быть комплексно сопряженными. Для их нахождения можно воспользоваться условием биортогональности собственных вектор-функций  $\vec{V}_k(x_1)$  ( $\pm k = 1, 2, \dots$ ) краевой задачи (8) и собственных вектор-функций  $\vec{V}_k^*(x_1)$  ( $\pm k = 1, 2, \dots$ ) краевой задачи, сопряженной с задачей (8) [5]. Кстати, из отмеченной биортогональности следует, что система вектор-функций  $\{\vec{V}_k\}$  линейно независима.

Перейдем к построению приближенного решения  $\vec{U}^{(n)}$  возмущенной задачи (3), (4), (5). Представим его в виде разложения по комплекснозначным формам  $\vec{V}_k(x_1)$

$$\vec{U}^{(n)}(x_1, t_1) = \sum_{\pm k=1}^n \varphi_k(t_1) \vec{V}_k(x_1), \quad (12)$$

где  $\varphi_k(t_1)$  – скалярные функции, подлежащие определению. В построении этого разложения использованы комплексно сопряженные собственные вектор-функции задачи (8), это позволяет повторить симметричную относительно положительных и отрицательных индексов структуру точного решения (10) невозмущенной задачи, что существенно для дальнейшего. Форма приближенного решения удовлетворяет «требованию адекватности форм».

Следуя идее обобщенного метода БГКВ, подставим  $\vec{U}^{(n)}$  в уравнение (3) и потребуем ортогональности невязки  $L\vec{U}^{(n)}$  к каждой вектор-функции  $\vec{V}_v(x_1)$  ( $\pm v = 1, 2, \dots, n$ ), что выражается равенством нулю скалярного произведения

$$(L\vec{U}^{(n)}, \vec{V}_v(x_1)) = 0 \quad (\pm v = 1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

или в развернутом виде

$$\sum_{\pm k=1}^n ([\tilde{A}\vec{V}_k\dot{\varphi}_k + (\tilde{C}_0 + \varepsilon\tilde{C}_1)\vec{V}'_k\varphi_k + (\tilde{D}_0 + \varepsilon\tilde{D}_1)\vec{V}_k\varphi_k], \vec{V}_v) = 0 \quad (14)$$

$$(\pm v = 1, 2, \dots, n).$$

Производя здесь скалярное умножение векторов, получим

$$\sum_{\pm k=1}^n a_{vk}\dot{\varphi}_k + \sum_{\pm k=1}^n [c_{0vk} + d_{0vk} + \varepsilon(c_{1vk} + d_{1vk})]\varphi_k = 0 \quad (15)$$

$$(v = -n, \dots, -1, 1, \dots, n),$$

где  $a_{vk} = (\tilde{A}\bar{V}'_k, \bar{V}_v)$ ,  $c_{0vk} = (\tilde{C}_0\bar{V}'_k, \bar{V}_v)$ ,  $d_{0vk} = (\tilde{D}_0\bar{V}'_k, \bar{V}_v)$ ,  
 $c_{1vk} = (\tilde{C}_1\bar{V}'_k, \bar{V}_v)$ ,  $d_{1vk} = (\tilde{D}_1\bar{V}'_k, \bar{V}_v)$ ;

причем, приняв во внимание вид матриц  $\tilde{A}, \tilde{C}_0, \tilde{D}_0, \tilde{C}_1, \tilde{D}_1$  и уравнение (8), имеем

$$a_{vk} = \int_0^1 (V_{k1}\bar{V}_{v1} - c_0V_{k2}\bar{V}_{v2})dx_1, \quad c_{0vk} + d_{0vk} = -\lambda_k a_{vk},$$

$$d_{1vk} = \int_0^1 \eta^* V_{k1}\bar{V}_{v1} dx_1,$$

$$c_{1vk} = \gamma \int_0^1 (h_1V_{k1}\bar{V}_{v1} + h_2V'_{k2}\bar{V}_{v1} + h_3V_{k3}\bar{V}_{v1} + h_4V'_{k4}\bar{V}_{v1}) dx_1.$$

Систему дифференциальных уравнений (15) запишем в векторно-матричной форме

$$A\dot{\bar{\varphi}} + [C_0 + D_0 + \varepsilon(C_1 + D_1)]\bar{\varphi} = 0, \quad (17)$$

где

$$\bar{\varphi} = \text{colon}(\varphi_{-n}, \dots, \varphi_{-1}, \varphi_1, \dots, \varphi_n), \quad A = \|a_{vk}\|,$$

$$C_0 + D_0 = \|c_{0vk} + d_{0vk}\| = \|-\lambda_k a_{vk}\| = -A \text{diag}(\lambda_{-n}, \dots, \lambda_{-1}, \lambda_1, \dots, \lambda_n),$$

$$C_1 = \|c_{1vk}\|, \quad D_1 = \|d_{1vk}\|, \quad (v, k = -n, \dots, -1, 1, \dots, n).$$

Покажем, что матрица  $A$  невырожденная. Рассмотрим невозмущенную систему, соответствующую системе (17) ( $\varepsilon = 0$ ), как систему (14) при  $\varepsilon = 0$ . Учитывая дифференциальную форму (8), убеждаемся, что система (14) при  $\varepsilon = 0$ , а следовательно, и система (17) при  $\varepsilon = 0$  имеет решение

$$\bar{\varphi} = \text{colon}(e^{\lambda_{-n}t_1}, \dots, e^{\lambda_{-1}t_1}, e^{\lambda_1t_1}, \dots, e^{\lambda_nt_1}).$$

Далее систему (17) при  $\varepsilon = 0$  рассмотрим как неоднородную алгебраическую систему относительно переменных  $\dot{\bar{\varphi}}$ , которая,

очевидно, имеет единственное решение. Поэтому определитель системы  $|A| \neq 0$ , ч.т.д.

Следствием невырожденности матрицы  $A$  является существование обратной матрицы  $A^{-1}$ . Построив ее, умножим систему (17) на  $A^{-1}$ , после чего получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений в канонической форме

$$\dot{\bar{\varphi}} = (C + \varepsilon B)\bar{\varphi}, \quad (18)$$

где

$$C = \text{diag}(\lambda_{-n}, \dots, \lambda_{-1}, \lambda_1, \dots, \lambda_n),$$

$$B(t_1) = -A^{-1}(C_1 + D_1).$$

Матрица  $B$  содержит безразмерные частоты возбуждения

$$\hat{\Omega} = 2\pi/T_1,$$

где  $T_1$  – период по безразмерному времени  $t_1$ .

Как видим, исходная задача приведена к системе (18) обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с  $T_1$ -периодическими по  $t_1$  коэффициентами, матрица которой близка к постоянной диагональной матрице  $C$ . Такая система удобна для исследования. Таким образом, выполнено «требование рационального приведения».

Построение приближенного решения  $U^{(n)}(x_1, t_1)$  (12) производится следующим образом. Определяется с помощью известных методов [6] фундаментальная система вектор-решений системы дифференциальных уравнений (18)  $\bar{\varphi}_\nu$  ( $\nu = -n, \dots, -1, 1, \dots, n$ ) и записывается ее общее решение

$$\bar{\varphi}(t_1) = \sum_{\pm \nu = 1}^n \hat{D}_\nu \bar{\varphi}_\nu. \quad (19)$$

Затем путем подстановки его компонент  $\varphi_k = \sum_{\pm \nu = 1}^n \hat{D}_\nu \varphi_{k\nu}$

в (12) находим приближенное общее решение задачи (3),(4)

$$\bar{U}^{(n)}(x_1, t_1) = \sum_{\pm k = 1}^n \sum_{\pm \nu = 1}^n \hat{D}_\nu \varphi_{k\nu}(t_1) \bar{V}_k(x_1). \quad (20)$$

Постоянные  $\hat{D}_\nu$  определяются из какого-либо условия наилучшего удовлетворения вектор-функцией  $\bar{U}^{(n)}$  действительных начальных

данных (5). Для этого можно использовать свойство биортогональности собственных вектор-функций  $\vec{V}_k$  и  $\vec{V}_k^*$ .

При  $\varepsilon = 0$  система (18) распадается на отдельные независимые дифференциальные уравнения, и решение (20) принимает вид

$$\vec{U}^{(n)}(x_1, t_1) = \sum_{k=1}^n \left( \hat{D}_k e^{\lambda_k t_1} \vec{V}_k + \hat{D}_{-k} e^{\lambda_{-k} t_1} \vec{V}_{-k} \right). \quad (21)$$

Как видим, решение (21) является точным решением невозмущенной задачи (6), (4), т.е. выполняется «принцип соответствия решений».

В практическом отношении наиболее важным вопросом является исследование задачи на параметрический резонанс. Для этого нет необходимости строить решение (20), а достаточно исследовать систему (18) и среди значений частот возбуждения  $\hat{\Omega}$  найти критические их значения  $\hat{\Omega}_{кр}$ , т.е. такие, при которых тривиальное решение системы теряет устойчивость, другими словами, возникает параметрический резонанс. В более широкой постановке исследование ставит целью определение в плоскости параметров системы  $\hat{\Omega}, \varepsilon$  областей параметрического резонанса. Вопрос сводится к вычислению и анализу характеристических показателей  $\alpha_\nu$  ( $\pm \nu = 1, 2, \dots, n$ ) системы (18), которые, как следует из теории Флоке-Ляпунова, содержатся в ее фундаментальной системе вектор-решений [6]

$$\vec{\varphi}_\nu(t_1) = e^{\alpha_\nu t_1} \vec{f}_\nu(t_1), \quad \vec{f}_\nu(t_1 + T_1) = \vec{f}_\nu(t_1), \quad (\pm \nu = 1, 2, \dots, n).$$

Параметрический резонанс возникает, очевидно, в случае, когда вещественная часть хотя бы одного из  $\alpha_\nu$  ( $\pm \nu = 1, 2, \dots, n$ ) положительна.

Для нахождения характеристических показателей канонической системы (8) и их анализа удобно использовать метод, изложенный в работе [6].

Как было показано, предложенный метод удовлетворяет «принцип соответствия решений», «требование адекватности форм» и «требование рационального приведения». Удовлетворение этих требований оказалось возможным благодаря разработке автором векторно-матричного подхода к формулировке задачи и ее решения с помощью системы координатных комплекснозначных вектор-функций (вместо системы координатных

скалярных функций в традиционном варианте исследования). Осуществленная на этой основе модификация метода БГКВ позволяет исследовать квазидвухволновые процессы в компактной форме и получать эффективные результаты. Предложенный метод является развитием апробированного приближенного метода [3,7,8,9], который разработан автором для решения квазидвухволновых задач, составленных на струнной модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горошко О.А., Киба С.П. О собственных и сопровождающих колебаниях одномерной упругой конструкции с подвижной нагрузкой // Прикл. механика. – 1972. – № 1. – С. 118-121.
2. Горошко О.А., Савин Г.Н. Введение в механику деформируемых одномерных тел переменной длины. – К.: Наукова думка, 1971. – 224 с.
3. Шумлянський І.Ф. Стационарні і нестационарні коливання струни з позовжньо рухомою неперервною масою. – Одеса: Редакційно-видавничий відділ обласного управління по пресі, 1994. – 163 с.
4. Шумлянський І.Ф. Об одной краевой задаче // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2004. – Вып. 14. – С. 128-134.
5. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука. – 1965. – 704 с.
6. Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. – М.: Наука, 1991. – 416 с.
7. Шумлянський І.Ф. Параметрический резонанс в поперечных колебаниях струны шахтной подъемной установки // Стальные канаты: Научн. тр. – Одесса: Астропринт, 1999. – С. 139-146.
8. Шумлянський І.Ф. Поперечне колебання каната с периодическими включениями, совершающего аксиальное движение // Стальные канаты. Научн. тр. – Одесса: Астропринт, 2001. – Вып. 2. – С. 139-146.
9. Шумлянський І.Ф. Поперечные колебания периодически нагруженной ленты конвейера // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2003. – Вып. 11. – С. 40-47.

Надійшла 18. 07. 05

УДК 620.19

С.Я. Соломатин

## САМОВОЗБУЖДАЮЩИЕСЯ КОЛЕБАНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН

*Приводятся результаты натурных исследований по определению источников самовозбуждающихся колебаний в подшипниках скольжения центробежного компрессора. Даны рекомендации по предупреждению появления самовозбуждающихся колебаний в подшипниках.*

**Ключевые слова:** *центробежный компрессор, самовозбуждающиеся колебания, масляная вибрация.*

При проектировании и эксплуатации быстроходных роторных машин необходимо принимать меры по предотвращению самовозбуждающихся колебаний (автоколебаний), которые в ряде случаев являются опасными с точки зрения надёжности и безопасности машин.

Самовозбуждающиеся колебания проявляются в случаях наличия в замкнутой нелинейной колебательной системе источников энергии неколебательной природы. Такими источниками могут быть:

- нарушения жесткости опорной системы (трещины в фундаменте, отрыв плиты от фундамента, трещины в корпусе, ослабление крепления деталей в корпусе), ослабление жесткости вращающихся элементов (например, несовершенная посадка диска или полумуфты на вал и др.);
- масляная плёнка в подшипниках скольжения (масляная вибрация);
- аэродинамические силы в лабиринтовых уплотнениях.

**Нарушения жесткости опорной системы.** Данный вид дефектов в полном смысле слова не является источником вибрации, вибрация при этом является нелинейным откликом опорной системы на воздействие неуравновешенных сил.

В [1] приводятся результаты экспериментальных исследований влияния нарушений жесткости вращающихся элементов. Так, например, при несовершенстве посадки диска на вал, когда имело место скольжение вала относительно втулки диска и при других видах микросдвига деталей ротора относительно друг друга, наблюдались самовозбуждающиеся колебания, которые проявлялись с частотой, равной первой собственной частоте колебательной системы ротор-корпус-фундамент.



В [4] приводятся диагностические признаки ослабления опорной системы. Это:

- траектория движения ротора сильно отличается от эллиптической, имеет место хаотическое движение;
- значительное отличие вибрации в различных направлениях, например, по вертикали значительно больше, чем по горизонтали;
- по мере развития дефекта в спектре возникают дробные гармоники частоты вращения ротора  $f_r$  ( $1,5f_r$ ;  $2,5f_r$  и др.), на нелинейных опорах могут быть субгармоники  $f_r/m$ , где  $m$  - целое число ( $f_r/2$ ;  $f_r/3$ ;  $f_r/4$  и др.);
- обычно при нарушениях жёсткости максимальная вибрация проявляется в направлении, перпендикулярном плоскости ослабления жёсткости.

**Масляная вибрация.** В [1,2,3,4] приводятся диагностические признаки масляной вибрации. Это:

- форма траектории движения ротора круговая или почти круговая, прецессия прямая;
- самовозбуждающиеся колебания на масляной плёнке возникают обычно после превышения значения частоты вращения ротора в два раза значения первой критической частоты системы ротор-корпус-фундамент, т.е. при

$$n_p > 2 n'_{кр} ;$$

- частота масляной вибрации обычно изменяется в пределах от 0,42 до 0,48 частоты основной (роторной) гармоники  $f_r$ , а также может составлять  $0,5f_r$ ;
- частота масляной вибрации незначительно отличается от первой собственной частоты колебательной системы, при увеличении частоты вращения ротора частота масляной вибрации изменяется незначительно.

**Аэродинамические силы в лабиринтовых уплотнениях.**

В системах ротор-уплотнение (в паровых турбинах и компрессорах) могут возникнуть аэродинамические силы, приводящие к самовозбуждающимся колебаниям ротора [2,3], аналогичным масляной вибрации. Частота самовозбуждающихся колебаний обычно равна  $0,5f_r$ ; от  $0,5f_r$  до  $0,1f_r$ ; а также более  $f_r$ .

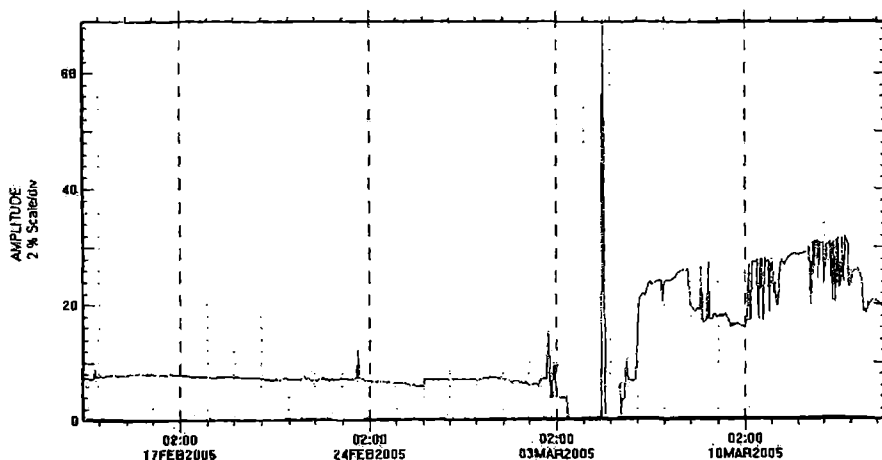
Аэродинамические силы возникают вследствие неконцентричности ротора и статора из-за износа уплотнений.

По указанным признакам самовозбуждающихся колебаний часто затруднительно идентифицировать источник этих колебаний. В ряде слу-

чаев одновременно присутствуют несколько источников с похожими диагностическими признаками. В качестве примера ниже приводится анализ источников самовозбуждающихся колебаний корпуса низкого давления центробежного компрессора с приводом от паровой турбины мощностью 32000 кВт и рабочей частотой вращения  $n = 10800$  об/мин.

Во время аварийного ремонта в КНД были заменены опорные пятисегментные подшипники на трёхсегментные подшипники с самоустанавливающимися вкладышами на гидростатическом подвесе фирмы ТРИЗ (г. Сумы). Одним из преимуществ новых подшипников являются высокие демпфирующие свойства и виброустойчивость [5].

Сразу после пуска компрессора стала проявляться повышенная и неустойчивая вибрация компрессора низкого давления. Ниже приводятся параметры вибрации ротора и корпуса КНД в районе опорно-упорного подшипника, имеющих наибольший уровень вибрации. Вибрационные параметры определялись с помощью штатной диагностической системы DM2000 (фирма BENTLI NEVADA) и портативного вибрoанализатора Microlog CMXA50 (фирма SKF).



*Рис. 1. Вибрация ротора компрессора низкого давления в вертикальном направлении (двойная амплитуда Direct, мкм)*

На рис. 1 приведен тренд общей вибрации ротора в подшипнике по вертикали (размах 2А, мкм). До ремонта вибрация была устойчивой на уровне 8 мкм. После ремонта, во время пуска при достижении частоты вращения больше удвоенной первой критической частоты вращения появилась неустойчивость ротора на уровне от 18 до 32 мкм. Далее, через 12 суток эксплуатации скачком вибрация ротора КНД достигла предельно-допустимого значения в 80 мкм, что привело к срабатыванию БЗК.

## Моделирование. Аналитические системы

Наиболее информативным параметром, характеризующим вибрационное состояние ротора, является параметр  $S_{max} Ampl$ , который учитывает одновременно вертикальную и горизонтальную составляющие перемещения ротора в расточке подшипника (рис. 2).

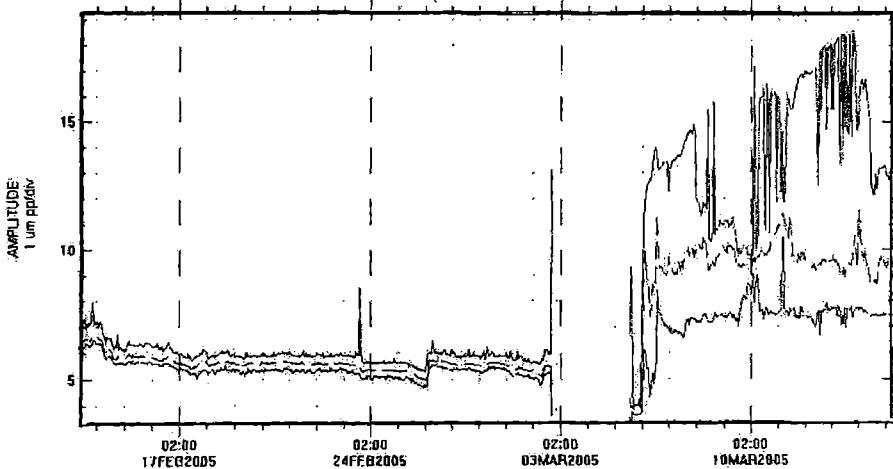


Рис. 2. Максимальная амплитуда вибрации  $S_{max} Ampl$  ротора компрессора низкого давления, мкм

Как видно из рис. 1 и 2, вибрация ротора крайне неустойчива и уровень резко от минимального до максимального значений изменяется более чем в два раза.

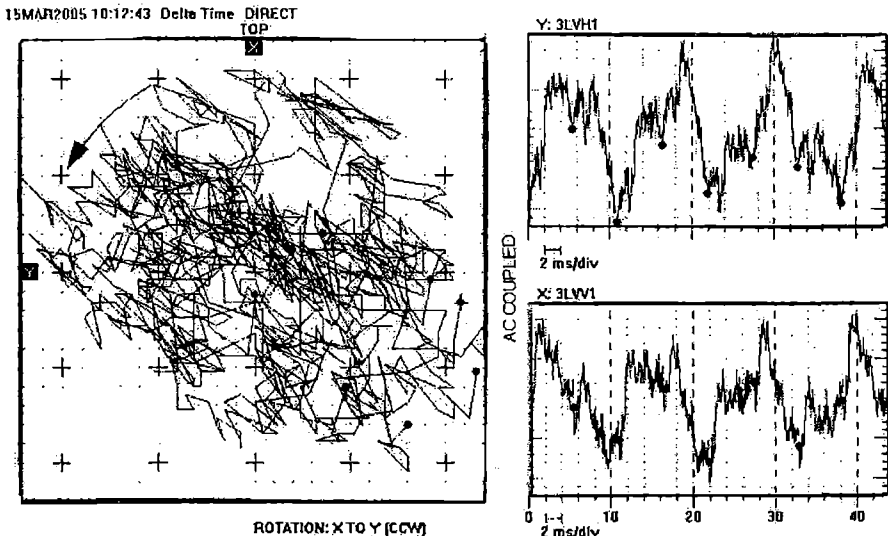


Рис. 3. Орбита перемещения ротора компрессора низкого давления в подшипнике и временная реализация сигнала вибрации

Перемещение ротора КНД в расточке подшипника характеризовалось хаотичной траекторией (рис. 3), а в спектре по уровню преобладала субгармоника с частотой 82 Гц (рис. 5), т.е. равной  $0,46f_r$ . Орбита перемещения ротора в подшипнике при частоте вращения была практически круговой, прецессия прямая.

Приведенные диагностические параметры убедительно свидетельствуют о наличии масляной вибрации.

Что же способствовало появлению масляной вибрации? Прежде всего следует отметить, что подшипники слабо нагружены, о чём свидетельствует величина всплытия ротора на масляной плёнке.

В случае пятисегментного подшипника величина всплытия ротора на масляной пленке составляла до 50 мкм (относительный эксцентриситет до 0,5).

После установки трёхсегментных подшипников фирмы ТРИЗ величина всплытия ротора на масляной пленке увеличилась до 64 мкм (при диаметральном зазоре 0,16 мм относительный эксцентриситет составил до 0,2).

Чем меньше величина всплытия ротора на масляной пленке, т.е. чем больше значение относительного эксцентриситета, тем более устойчив подшипник к масляной вибрации. По данным фирмы BENTLI NEVADA [3] для предупреждения появления масляной вибрации предпочтительно иметь значение относительного эксцентриситета более 0,6.

Ранее, до установки трёхсегментных подшипников, также наблюдались признаки масляной вибрации, однако с меньшим уровнем вибрации. Поэтому можно полагать, что подшипники КНД из-за слабого нагружения предрасположены к масляной вибрации. Этому может способствовать также разгрузка подшипников из-за неудовлетворительной центровки роторов КНД и турбины.

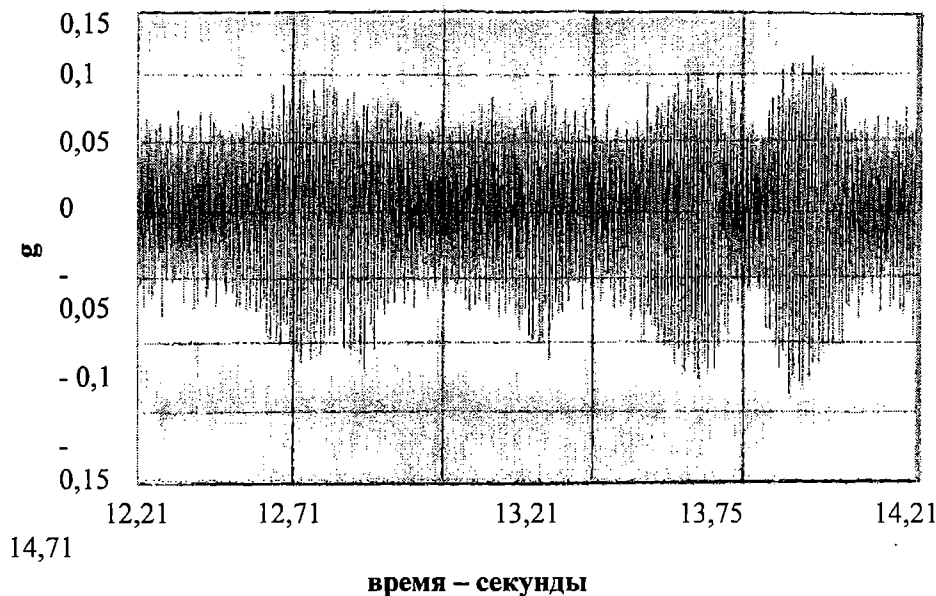
Для более полного анализа вибрационного состояния КНД было выполнено измерение параметров вибрации на корпусе компрессора.

На рис. 4 приведена временная реализация сигнала вибрации корпуса по вертикали, а на рис. 5 спектр вибрации (6400 линий) в этой же точке. Как видно из спектра, уровень гармоник роторной частоты в 183 Гц значительно ниже, чем субгармоники с частотами, равными 80,03; 81,53 и 83,03 Гц.

Наличие пиков с близкой частотой привело к биению с периодом от 0,5с до 0,7с.

Для вибрационного состояния КНД было характерно следующее соотношение вибрации ротора  $2A_p$  и корпуса  $2A_k$  компрессора. Так, отношение вибросмещения ротора и корпуса при частоте вращения ротора  $f_r$  составило примерно  $2A_p / 2A_k = 10$ , что является естественным, т.к. колебательная энергия ротора демпфируется на масляной пленке, а

масса корпуса значительно больше массы ротора. В то же время значение вибросмещения корпуса при частоте субгармоники, изменяющейся в диапазоне от 80 до 83 Гц, составило до 47 мкм, а ротора соответственно до 12 мкм.

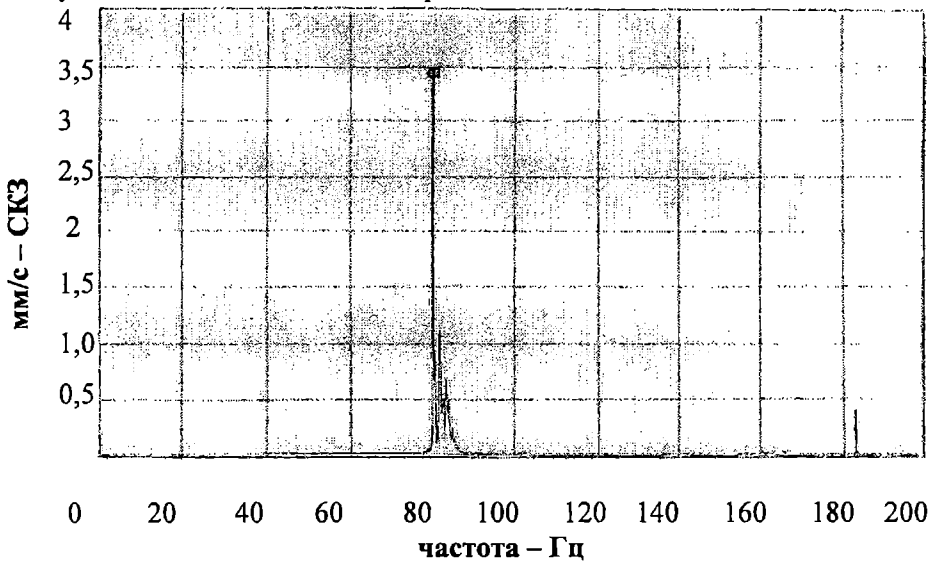


*Рис. 4. Временная реализация сигнала вибрации корпуса компрессора низкого давления в вертикальном направлении*

Наибольший общий уровень виброскорости корпуса КНД в стандартном диапазоне частот от 10 до 1000 Гц достигал 11 мм/с, что являлось предельно-допустимым в соответствии с действующими стандартами. Отмечалась также высокая вибрация (до 18 мм/с) отдельных участков трубопроводов компрессорного агрегата. Такая высокая вибрация опорной системы могла быть только резонансного характера. Действительно, первая собственная частота колебательной системы ротор-корпус-фундамент КНД находится в пределах от 78 до 86 Гц. Поэтому совпадение частоты самовозбуждающихся колебаний ротора на масляной пленке, фиксируемой в пределах от 80 до 83 Гц, с собственной частотой колебательной системы ротор-корпус-фундамент привело к резонансным колебаниям этой системы.

Таким образом источником вибрации корпуса, а следовательно, и всей опорной системы, являются не неуравновешенные силы ротора, а колебательная энергия ротора на масляной пленке.

Для корпуса значение виброскорости составило: в вертикальном, горизонтально-поперечном и осевом направлениях соответственно – 10,8; 1,3 и 0,9 мм/с. Такое преобладающее значение вибрации по вертикали может свидетельствовать об ослаблении крепления корпуса к фундаментной раме или других нарушениях в опорной системе (впоследствии при разборке корпуса была обнаружена разорванная шпилька, стягивающая направляющий аппарат КНД, а также трещины в направляющем аппарате). Таким образом, с одной стороны, произошло ослабление опорной системы, а с другой стороны, появился источник возмущения в виде масляной вибрации.



*Рис. 5. Спектр вибрации корпуса компрессора низкого давления  
в вертикальном направлении*

По результатам приведенного анализа источников повышенной и неустойчивой вибрации компрессора были предложены следующие рекомендации по обеспечению в дальнейшем устойчивого вибрационного состояния машины.

С одной стороны, необходимо устранить микродвиги в опорной системе, то есть устранить трещины в направляющем аппарате КНД, тщательно выполнять крепление корпуса к фундаменту.

С другой стороны, необходимо снизить вероятность появления масляной вибрации. Для этого целесообразно выполнить следующее:

- выполнить измерения величины взаимного смещения корпусов КНД и турбины при прогреве с помощью системы PERMALIGN, чтобы задаться необходимыми исходными зна-

чениями расцентровки валов в холодном состоянии. После этого можно будет обеспечить соосность валов в рабочем состоянии, что устранит возможное разгружение подшипников;

- снижению величины всплытия ротора на масляной пленке может способствовать уменьшение давления смазочного масла перед подшипниками, внесение изменений в конструкцию вкладышей в виде дополнительных канавок для разрыва масляной пленки;
- следует также изучить вопрос о влиянии температуры масла в трехсегментных подшипниках фирмы ТРИЗ на начало самовозбуждения на масляном клине.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Тондл А. Динамика роторов турбогенераторов Л.: Энергия, 1971. – 387 с.
2. Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.
3. Диагностика: Учебн. пособие. BENTLY NEVADA, 2005 г.
4. Ширман А., Соловьёв А. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования: Учебное пособие. М., 1996.
5. Марцинковський В.С., Грищенко В.Г. Патент 763. Україна. F16C 32/06. Підшипниковий вузол.

Надійшла 01. 08. 05

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Морозова И.В.</b> VIVAT, «ВОДНЫЙ»! .....	<b>3</b>
--	----------

## *Теория и проектирование корабля*

<b>Егоров Г.В.</b> ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ СУДОВ РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА УКРАИНЫ .....	<b>6</b>
---	----------

<b>Воробьев Ю.Л., Давыдов И.Ф.</b> МОРЕХОДНОСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАРОМОВ ОГРАНИЧЕННОГО РАЙОНА ПЛАВАНИЯ. ЧАСТЬ 3. ВОЛНОВЫЕ НАГРУЗКИ В ПОЛНОМ ГРУЗУ .....	<b>19</b>
---	-----------

<b>Семин А.А.</b> ВЛИЯНИЕ КОМФОРТАБЕЛЬНОСТИ НА ВЫБОР ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ ПАССАЖИРСКИХ КРУИЗНЫХ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ .....	<b>39</b>
--	-----------

## *Водные пути и порты*

<b>Гришин В.А., Снисаренко В.И., Гришин А.В.</b> НЕЛИНЕЙНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ .....	<b>46</b>
---	-----------

<b>Клованич С.Ф., Мироненко И.Н.</b> УЧЕТ ПЛАСТИЧНОСТИ БЕТОНА В РАСЧЕТАХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	<b>59</b>
---	-----------

<b>Дубровский М.П.</b> КИНЕМАТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДПОРНЫХ СТЕНОК С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ .....	<b>70</b>
--	-----------

<b>Каганов Я.И.</b> ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ .....	<b>80</b>
--	-----------

<b>Малаксиано А.А.</b> ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СУДНА .....	<b>86</b>
--	-----------

<b>Гришин А.В., Федорова Е.Ю.</b> ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ .....	<b>92</b>
---	-----------



**Мошак Г.Г.**  
ПРАВОВОЙ КОНТРОЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНАЛОВ НА ДУНАЕ **102**

### ***Технология и организация судоремонта***

**Пашков А.П.**  
СУДОРЕМОНТ: СТАНОВЛЕНИЕ, РАЗВИТИЕ, ПЕРСПЕКТИВА **108**

**Олійник М.В.**  
ДОВГОВІЧНІСТЬ СТАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В МОРСЬКІЙ ВОДІ  
ПРИ НЕРЕГУЛЯРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ..... **114**

### ***Подготовка кадров***

**Вассерман А.А., Цымарный В.А.**  
ОИИМФ – КОЛЫБЕЛЬ ОДЕССКОЙ ШКОЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ ..... **123**

**Волошин А.А., Шахов А.В.**  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ПРОЕКТНЫХ  
МЕНЕДЖЕРОВ В ОБЛАСТИ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ..... **134**

**Иванов В.М.**  
О ПОДГОТОВКЕ МОРСКИХ ЮРИСТОВ В ОБЛАСТИ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРАВА НА ЖИЗНЬ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА ..... **145**

### ***Управление проектами***

**Лапкина И.А.**  
СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРОЕКТАМИ В СИСТЕМЕ ЗНАНИЙ ОНМУ ..... **157**

**Руденко С.В., Гогунский В.Д.**  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРИРОДООХРАННЫМИ ПРОЕКТАМИ ..... **164**

**Степанов О.Н.**  
РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ  
МОРСКОГО ПОРТА ..... **172**

**Кибик О.Н.**  
ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕНОВОГО ПРЕИМУЩЕСТВА МОРСКОГО  
ТОРГОВОГО ПОРТА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ..... **182**

<b>Снисаренко В.И., Гришин В.А.</b> НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ РЕКОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЯ ОДЕССКОГО ОПЕРНОГО ТЕАТРА .....	<b>190</b>
--	------------

***Управление морским транспортом***

<b>Котлубай О.М.</b> ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ РОЗВИТКУ ТОРГОВЕЛЬНОГО МОРЕПЛАВАННЯ УКРАЇНИ .....	<b>205</b>
---	------------

<b>Чекаловець В.І.</b> СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПОРТОВОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ .....	<b>213</b>
---	------------

<b>Козырев В.К.</b> ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ ИНТЕГРАЦИИ В СИСТЕМЕ «ПРОИЗВОДСТВО–ТРАНСПОРТ» .....	<b>224</b>
---	------------

<b>Магамадов А.Р.</b> СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО ВНУТРИПОРТОВОГО ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ (КОНЦЕПЦИЯ ОИИМФ-ОНМУ) .....	<b>236</b>
---	------------

***Моделирование.  
Аналитические системы***

<b>Пустовой В.Н., Андриенко А.О.</b> ИНФОРМАЦИОННО–АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «ПОРТАЛЬНЫЕ КРАНЫ УКРАИНЫ» .....	<b>249</b>
---	------------

<b>Меркт Р.В., Челабчи В.В., Челабчи В.Н.</b> РАЗВИТИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	<b>257</b>
--	------------

<b>Антонов Б.И.</b> РЕШЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ БРУСА ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	<b>271</b>
---	------------

<b>Шумлянский И.Ф.</b> МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ С ДВИЖУЩЕЙСЯ МАССОЙ .....	<b>282</b>
--	------------

<b>Соломатин С.Я.</b> САМОВОЗБУЖДАЮЩИЕСЯ КОЛЕБАНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН ...	<b>293</b>
--	------------

*Наукове видання*

**ВІСНИК**  
**ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО**  
**МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 17**

*Українською, російською  
та англійською мовами*

Видається з 1998 р.

*Свідоцтво про державну реєстрацію:  
Серія КВ № 278  
від 25.07.1997 р.*

Комп'ютерна верстка та розробка  
оригінал-макету збірника – *Кобзева Н.Ю.*

---

---

Підписано до друку з оригінал-макету 17.10.05  
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 19,0.  
Замовлення № 724. Тираж 100.

**Адреса редакційної колегії та видавництва ОНМУ:  
65029, Одеса, вул. Мечникова, 34, тел. 728-31-14.**