

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

19

Міністерство освіти і науки України



ВІСНИК

**ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Збірник наукових праць

ВИПУСК 19

Заснований у 1998 році

Одеса – 2006

УДК 629.12.002(082)

ББК 39.42-011я43

В635

Вісник Одеського національного морського університету: Збірник наукових праць. – Випуск 19. – Одеса: ОНМУ, 2006. – 235 с. Українською, російською та англійською мовами.

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

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

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

Редакційна колегія:

д-р техн. наук, проф. **Ю.Л. Воробйов** – відп. редактор,
д-р техн. наук, проф. **Шумлянський І.Ф.** – заст. відп. редактора,
д-р техн. наук, проф. **Ананьїна В.З.**, д-р техн. наук, проф. **Вассерман О.А.**,
д-р техн. наук, проф. **Гришин В.О.**, д-р техн. наук, проф. **Дубровський М.П.**,
д-р техн. наук, проф. **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 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. **Сизов В.Г.**, д-р екон. наук, проф. **Чекаловець В.І.**,
д-р екон. наук, проф. **Якушенко В.Г.**, д-р техн. наук, проф. **Яровенко В.О.**,
Силакова Г.І. – відп. секретар.

Друкується за ухвалою Вченої ради
Одеського національного морського університету
від 01.06.2006 р. (протокол № 9)

© Одеський національний
морський університет, 2006

Кузьменко Георгий Иванович

(1923-2005)



24 сентября 2005 г. после непродолжительной болезни ушел из жизни профессор кафедры «Физика и химия» ОНМУ, доктор физико-математических наук, профессор Георгий Иванович Кузьменко.

Профессор Г.И. Кузьменко являлся крупным специалистом в области геофизики и физики. Он родился 13 мая 1923 г. в г. Одессе в семье кузнеца. После окончания с отличием средней школы в 1940 г. начал свою трудовую деятельность в качестве студента физико-математического факультета Одесского государственного университета. В июле 1941 г. ушел добровольцем на фронт.

Закончил летное училище в Средней Азии. Участвовал в боевых действиях, был награжден 15 боевыми и государственными наградами, в том числе тремя орденами. После окончания Великой Отечественной войны несколько лет работал инструктором при штабе советских оккупационных войск в Берлине. В 1948 г. демобилизовался и продолжил учебу на физико-математическом факультете Одесского государственного университета. Вскоре, благодаря исключительным способностям, был переведен на физический факультет Московского государственного университета, где учился со 2-го по 4-й курсы. В 1952 г. был репрессирован, несколько лет провел в Норильске на строительных работах. В 1955 г. полностью реабилитирован. В 1958 г. закончил отделение теоретической физики в ОГУ.

До 1965 г. работал в Одесском высшем командном училище начальником лаборатории кафедры «Физика», преподавателем, ст. преподавателем. С 1965 г. Г.И. Кузьменко работал ст. преподавателем, доцентом и зав. кафедрой «Физика» в ОИИМФе. В 1993 г. был избран по конкурсу профессором кафедры «Физика и химия». В должности профессора этой кафедры он проработал до конца своей жизни.

Кандидатскую диссертацию «О демонстрациях и лабораторных работах по ядерной физике» защитил в Московском государственном педагогическом институте в 1969 г., докторскую – «Волномеханические методы в геофизике и геологии» в 1992 г. в институте геофизики АН УССР им. С.И. Субботина.

Профессор Г.И. Кузьменко – автор более 130 научных и научно-методических трудов, в том числе 2 монографий.

Основные научные интересы Г.И. Кузьменко – теоретические проблемы современной физики, их решение и приложение к геофизике.

Научные и научно-методические работы, выполненные Г.И. Кузьменко, отличаются высокой практической значимостью. Так, его научно-методические и технические разработки по ядерной физике, опубликованные в физическом практикуме, вскоре были опубликованы в сборнике МГУ и в выпусках журнала «Известия вузов СССР. Физика» как способствовавшие развитию преподавания этой новой в 60-х г. прошлого столетия главы курса физики. Успеху способствовала разработанная им экономичная упрощенная аппаратура и соответствующая методика к лабораторным работам и демонстрациям.

Не только более предметным и осмысленным стало преподавание ядерной физики в школах и вузах. Анализ структуры ядерного вещества привел его к более глубокому пониманию структуры нуклонов. Вместе с сотрудниками им опубликована в середине 70-х г. прошлого столетия пражская, квазилептонная модель нуклонов. Эта более глубокая, чем кварковая, концепция подтверждена была впоследствии экспериментально (Журнал «Успехи физических наук». 1996. № 3. С. 335).

Еще более целенаправленно велись им экспериментальные и теоретические исследования по сущности волновой механики и применениям ее в некантовых макроскопических проблемах. Известно, что становление волновой механики связано с исследованиями макромира, его квантовых особенностей. Глубокие эффективные изменения, внесенные ею в понимание свойств вещества, заставляли задумываться, не следует ли основные идеи волновой механики и используемый ею математический аппарат применять для решения многих назревших макроскопических проблем, не решенных классической физикой. Есть ли более глубокие физические корни для рассмотрения классических и квантовых систем едиными методами? Этот вопрос, поставленный Г.И. Кузьменко в начале 60-х г. XX в. в связи с экспериментальным изучением электролизных переносов вещества, а также долгосрочных геофизических прогнозов начал решаться им в теме его многолетних (1965-1992 г.) госбюджетных исследований «Применение волномеханических методов в некантовых проблемах». На этом пути выяснились главные причины невозможности долгосрочных геофизических прогнозов средствами классической физики: потоки вещества и энергии связаны с неустойчивостями, неопределенностями, которые не учитывались ею как принципиальные. Именно признание таких неопределенностей для микромира стало основой успешности волно-механической физики. С другой стороны, даже в малоупорядоченных потоках при определенных условиях самопроизвольно возникают структуры, упорядоченность. Наступление такой самоорганизации (лучше известной в биологии)

аналогично структурообразованию в микромире. Здесь структуры образуются спонтанно как стоячие дебройлевские волны элементарных частиц.

Прямые волномеханические расчеты некантовых проблем, более сложных чем квантовые, потребовали соответствующего усложнения квантовых линейных уравнений. Для этого Г.И. Кузьменко использовал собственный экспериментальный материал, по волновым особенностям нелинейных физико-химических и геофизических переносов вместе с аналогичными материалами других отечественных и зарубежных авторов, сопоставил его с аналитическими исследованиями близости волновой и классической статистической механики, выполненными Н. Винером и И. Феньешем. Большой цикл работ, в котором Г.И. Кузьменко проанализировал и уточнил уравнение Феньеша, стал широко известным в СССР и за рубежом в конце 70-х г. После его конструктивного анализа Г.А. Скоробогатовым нелинейное волномеханическое уравнение Феньеша-Кузьменко-Скоробогатова (ФКС) стало важнейшей статистико-волномеханической концепцией современной науки: в линейном приближении и при квантовой марковской постоянной оно переходит в знаменитое уравнение Шредингера, а в первом нелинейном приближении – в солитонно-волномеханическое уравнение с кубической нелинейностью. Различные уравнения такого типа как раз и являются средством описания процессов самоорганизации в физической химии, гидродинамике, геофизике. Метод волномеханического осциллятора, связанный с уравнением ФКС, стал, наконец, основой надежных долгосрочных геофизических и гелиофизических прогнозов – месячных, сезонных, годовых, многолетних. Уравнение ФКС стало также основой переформулировки гипотезы глобального потепления, выдвинутой современной климатологической наукой. Давая наиболее полное описание цикличности природных процессов, это уравнение дает такое же всестороннее описание структурности, являющейся также результатом самоорганизации. Не только этот факт ярко проявляется в электролизных и других физико-химических структурах, возникающих при определенных нелинейных переносах. В них наблюдается целая последовательность разномасштабных структур (диссипативных – по определению И. Пригожина), аналогичных структурам кристаллизации металлов и руд. Расчеты их как кваздебройлевских показывают, что эта иерархия начинается с атомных, дебройлевских структур. В ней геофизические структуры (блоки, достаточно упорядоченные сетки разломов земной коры и т.д.) занимают промежуточное место между структурами рудных тел и крупными структурами в Солнечной системе.

Таким образом, в работах Г.И. Кузьменко получен важнейший результат: цикличность и структурность в геофизике – следствие самоорганизации природных процессов – являются органически связанными явлениями.

Уравнение ФКС в работах Г.И. Кузьменко стало идейной основой для решения не менее сложных проблем магнетизма и тепловых потоков Земли. Они имеют многовековую историю и так же органически связаны, как цикличность и структурность в природе. Здесь потребовался синтез волномеханической теории и современной теории гравитации. Г.И. Кузьменко, используя идеи уравнения ФКС, произвел объединение лишь необходимых элементов квантовополевой и гравитационной теории и достиг успеха. Полученные им формулы Блеккета-Кузьменко впервые дали хорошее описание магнетизма и тепловых потоков космических тел. Фундаментальность расчетов для Земли подчеркивается тем, что аналогичные расчеты дали правильное описание магнитных моментов и тепловых потоков всех планет Солнечной системы в полном согласии с данными их ракетно-космических исследований.

Результаты многолетних научных исследований Г.И. Кузьменко получили широкую известность во всем мире, докладывались им на многих международных научных форумах, проходивших, в частности, в Пекине (Китай), Торонто (Канада), Берлине (Германия), Лозанне (Швейцария), Минске (Беларусь). Он был многолетним членом Европейского геофизического общества, в 1995 г. был избран членом международного института прогнозистов (г. Сиракузы, США).

Несмотря на интенсивную научную работу, Г.И. Кузьменко активно занимался педагогической и научно-организационной работой, активно сотрудничал с Национальной академией наук Украины, Одесским национальным университетом, Одесским астрономическим обществом. Много времени уделял популяризации науки, часто выступал в университетских и городских газетах со статьями. Своей увлеченностью наукой и глубокой эрудицией он заражал и притягивал не только студентов и аспирантов, но и профессиональных ученых. Был очень приветливым, отзывчивым, по-житейски мудрым и вместе с тем очень скромным человеком. Несмотря на свой преклонный возраст, до последних дней работал в полную силу.

Память о замечательном человеке и ученом навсегда сохранится в сердцах всех, кто его знал.

Редколлегия

ПОТЕНЦИАЛ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ КАЧКЕ СУДНА, ДВИЖУЩЕГОСЯ ПО МЕЛКОВОДНОМУ ФАРВАТЕРУ

Приведено решение краевой задачи для потенциала скоростей жидкости, возмущённых совершающим продольные колебания судном, которое движется с постоянной скоростью по мелководному фарватеру. Решение строится для математической модели тонкого (мичеловского) судна путём применения к потенциалу метода Фурье разделения переменных и экспоненциального Фурье-преобразования. Потенциал возмущённых скоростей жидкости определён в замкнутом виде, т.е. в виде интегрального оператора, содержащего известные функции и заданные константы.

Ключевые слова: потенциал излучения, краевая задача функции излучения, метод Фурье разделения переменных, экспоненциальное Фурье-преобразование.

В последние годы в отечественной и зарубежной специальной литературе стали появляться теоретические исследования, связанные с использованием математической модели тонкого (Мичеловского) судна для решения гидродинамических задач, связанных с теорией волнового сопротивления и качки судов на волнении. Если в работах [1], [2] определены гидродинамические характеристики продольной качки тонкого судна, не имеющего хода на глубокой воде, то в [3] решена более общая задача об определении потенциала скоростей жидкости, вызванного продольными колебаниями тонкого судна, движущегося на глубокой воде. В настоящей статье получен потенциал скоростей при продольных гармонических колебаниях с частотой σ тонкого судна, которое движется с постоянной скоростью v по мелководному параметру с постоянной глубиной H .

Потенциал скоростей $\varphi(x, y, z, t) = \text{Re}[\Phi(x, y, z)e^{i\sigma t}]$, а его комплексная амплитудная функция удовлетворяет следующей дифференциальной системе [4]

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \Phi(x, y, z) = 0, \quad (x, y, z) \in E_0; \quad (1)$$

$$\left(\sigma^2 + 2iv\sigma \frac{\partial}{\partial x} - v^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} + g \frac{\partial}{\partial z} \right) \Phi(x, y, 0) = 0, \quad (x, y) \in \Sigma_0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \Phi(x, \pm 0, z) = \begin{cases} f(x, z), & (x, z) \in S_0 \\ 0, & (x, z) \notin S_0 \end{cases} \quad (3)$$

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

Функция $\Phi(x, y, z) \exp(i\sigma t)$ должна удовлетворять принципу излучения, согласно которому волны, вызванные колебаниями судна, расходятся от него во все стороны.

В системе (1)-(4) E_0 – слой $0 \leq z \leq H$ с исключенной диаметральной плоскостью судна S_0 (рис.1), Σ_0 – свободная поверхность, представляющая собой горизонтальную плоскость $z = 0$ с исключенным отрезком $\left[-\frac{L}{2} < x < \frac{L}{2}, y = 0 \right]$, L – длина, T – осадка судна.

Поскольку судно совершает продольные колебания

$$\begin{aligned} \Phi(x, +y, z) &= \Phi(x, -y, z); \\ \frac{\partial}{\partial y} \Phi(x, +y, z) &= -\frac{\partial}{\partial y} \Phi(x, -y, z) \end{aligned} \quad (5)$$

В связи с симметрией (5) далее рассматривается половина слоя $0 \leq z \leq H, y \geq 0$.

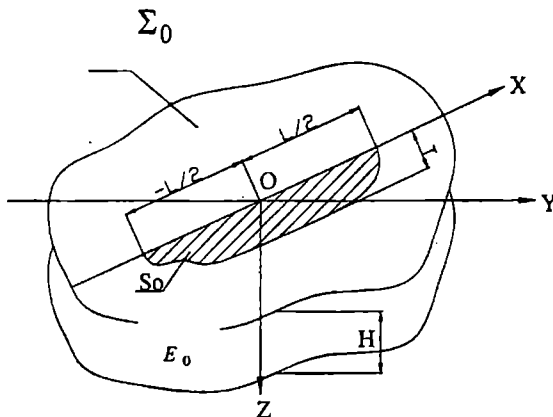


Рис.1. Система координат

Введём в рассмотрение пару экспоненциальных преобразований Фурье.

$$u^*(q) = \int_{-\infty}^{\infty} u(x) \exp(iqx) dx, \quad (6)$$

$$u(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} u^*(q) \exp(-iqx) dq$$

Применим к системе (1)-(4) экспоненциальное преобразование Фурье по x с параметром q . Тогда

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - q^2 \right) \Phi^*(q, y, z) = 0, \quad (y, z) \in [0, \infty); \quad (7)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + k \right) \Phi^*(q, y, 0) = 0, \quad (y, z) \in [0, \infty), k = \frac{1}{g} (\sigma + \nu q)^2; \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \Phi^*(q, +0, z) = \begin{cases} f^*(q, z), & 0 \leq z \leq T \\ 0, & z > T \end{cases}; \quad (9)$$

$$f^*(q, z) = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} f(x, z) \exp(iqx) dx. \quad (10)$$

Поскольку $f(x, z) = 0$ при $|x| > \frac{L}{2}$.

Следуя процедуре, описанной в [5], и применяя к краевой задаче (7)-(10) в области $y > 0$ метод Фурье, получим полную ортогональную систему функций на отрезке $0 \leq z \leq H$

$$Z_0(z) = N_0^{-\frac{1}{2}} \operatorname{ch} \alpha_0 (z - H), \quad Z_m(z) = N_m^{-\frac{1}{2}} \cos \alpha_m (z - H), \quad (11)$$

где

$$N_0 = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\operatorname{sh} 2\alpha_0 H}{2\alpha_0 H} \right], \quad N_m = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\sin 2\alpha_m H}{2\alpha_m H} \right], \quad (12)$$

$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 \dots$ — последовательность действительных положительных корней трансцендентного уравнения

$$\alpha_m \operatorname{tg} \alpha_m H + k = 0, \quad (13)$$

α_0 — единственный положительный корень трансцендентального уравнения.

$$\alpha_0 \operatorname{th} \alpha_0 H = k. \quad (14)$$

Разложение $\Phi^*(q, y, z)$ по этой системе имеет следующий вид

$$\Phi^*(q, y, z) = F_0(q, y)Z_0(z) + \sum_{m=1}^{\infty} F_m(q, y)Z_m(z), \quad (15)$$

$$F_0(q, y) = \frac{1}{H} \int_0^H \Phi^*(q, y, z) Z_0(z) dz; \quad (16)$$

$$F_m(q, y) = \frac{1}{H} \int_0^H \Phi^*(q, y, z) Z_m(z) dz.$$

Подберём $F_0(q, y)$, $F_m(q, y)$ так, чтобы функция $\Phi^*(q, y, z)$ удовлетворяла уравнению (7). Учитывая, что система (11)-(14) ортогональна, и принимая во внимание условие (9), получаем

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial y^2} - (q^2 - \alpha_0^2) \right] F_0(q, y) = 0, \quad y \in [0, \infty) \quad (17)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} F_0(q, +0) = \gamma_0(q), \quad (18)$$

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial y^2} - (\alpha_m^2 + q^2) \right] F_m(q, y) = 0, \quad y \in [0, \infty) \quad (19)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} F_m(q, +0) = \gamma_m(q), \quad (20)$$

Свяжем функции $\gamma_0(q)$ и $\gamma_m(q)$ с граничным значением $f^*(q, z)$ нормальной производной $\frac{\partial}{\partial y} \Phi^*(q, +0, z)$. Учитывая равенства (16), (9) и (10), получаем

$$\begin{aligned} \gamma_0(q) &= \frac{1}{H} \int_0^T f^*(q, z) Z_0(z) dz, \\ \gamma_m(q) &= \frac{1}{H} \int_0^T f^*(q, z) Z_m(z) dz. \end{aligned} \quad (21)$$

В (21) верхние пределы интегрирования по z изменены с H на T , поскольку при $T < z \leq H$ $f^*(q, z) \equiv 0$.

Ограниченное на бесконечности решение краевой задачи (19), (20) получаем в виде

$$F_m(q, y) = -\frac{\gamma_m(q)}{\sqrt{\alpha_m^2 + q^2}} \exp\left(-y\sqrt{\alpha_m^2 + q^2}\right). \quad (22)$$

Характер решения краевой задачи (17), (18) существенно зависит от знака разности $(\alpha_0^2 - q^2)$. Если $\alpha_0^2 - q^2 > 0$, то общее решение уравнения (17) имеет вид

$$F_0(q, y) = A \exp\left(iy\sqrt{\alpha_0^2 - q^2}\right) + B \exp\left(-iy\sqrt{\alpha_0^2 - q^2}\right) \quad (23)$$

Согласно условию излучения волны, вызванные колебаниями тела, должны уходить от него в данном случае вправо, т.е. к $y \rightarrow +\infty$. Поскольку экспоненциально-временной множитель процесса принят в виде $\exp(i\sigma t)$, из условия излучения следует, что в выражении (23) $A \equiv 0$. Учитывая (18), получаем, что при $\alpha_0^2 - q^2 > 0$

$$F_0(q, y) = i \frac{\gamma_0(q)}{\sqrt{\alpha_0^2 - q^2}} \exp\left(-iy\sqrt{\alpha_0^2 - q^2}\right) \quad (24)$$

Если же $\alpha_0^2 - q^2 < 0$, то ограниченное всюду общее решение уравнения (17), удовлетворяющее условию (18), получаем в виде

$$F_0(q, y) = -\frac{\gamma_0(q)}{\sqrt{q^2 - \alpha_0^2}} \exp\left(-y\sqrt{q^2 - \alpha_0^2}\right). \quad (25)$$

Подставляя в (15) полученные результаты, имеем

$$\Phi^*(q, y, z) = Z_0(z) \left\{ \begin{array}{l} \frac{i\gamma_0(q)}{\sqrt{\alpha_0^2 - q^2}} \exp\left(-iy\sqrt{\alpha_0^2 - q^2}\right) \text{ при } \alpha_0^2 - q^2 > 0 \\ -\frac{\gamma_0(q)}{\sqrt{q^2 - \alpha_0^2}} \exp\left(-y\sqrt{q^2 - \alpha_0^2}\right) \text{ при } \alpha_0^2 - q^2 < 0 \end{array} \right\} - \sum_{m=1}^{\infty} Z_m(z) \frac{\gamma_m(q)}{\sqrt{\alpha_m^2 + q^2}} \exp\left(-y\sqrt{\alpha_m^2 + q^2}\right) \quad (26)$$

Значение комплексной амплитуды $\Phi(z, y, x)$ функции излучения $\varphi(x, y, z, t)$ легко найти, применяя к (26) обратное преобразование Фурье из (6)

$$\Phi(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi^*(q, y, z) \exp(-iqx) dq. \quad (27)$$

В процессе численной реализации обратного преобразования Фурье (27) следует применить ряд тонких вычислительных приёмов. Наиболее интересные из них будут описаны в нашей следующей статье, где предполагается привести результаты сопоставления расчётов гидродинамических характеристик качки для конкретного судна с данными модельного эксперимента, выполненного в опытовом бассейне Одесского национального морского университета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидюк А.В. Присоединенные массы и коэффициенты демпфирования при продольной качке тонкого судна // Вісник ОДМУ. – Одеса: Вид-во ОДМУ. – 2002. – № 9. – С. 34-44.
2. Демидюк А.В. Определение дифракционных сил при продольной качке тонкого судна на глубокой воде // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2003. – № 11. – С. 48-66.
3. Воробьёв Ю.Л., Демидюк А.В. Задача излучения для продольной качки тонкого судна, движущегося на глубокой воде // Вісник ОНМУ. – Одеса: Вид-во ОНМУ. – 2005. – № 18. – С. 40-48.
4. Хаскинд М.Д. Гидродинамическая теория качки корабля. – М.: Наука, 1973. – 327 с.

5. Воробьёв Ю.Л. Потенциал скорости жидкости при продольной качке тонкого судна на мелководье // Известия АН СССР. – МЖГ. – 1979. – № 1. – С. 204-208.

Надійшла 14.01.06

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ УЛУЧШЕНИЯ ФОРМЫ СУДНА

В статье рассмотрен способ изменения формы судна, снижающего его сопротивление движению при неизменном водоизмещении. Способ основан на использовании функции, определяемой уравнением Эйлера.

Ключевые слова: функционал сопротивления, вариация формы судна.

Изучение сопротивления воды движению судна имеет своей практической целью получить решение двух основных задач. Первая задача заключается в определении силы сопротивления воды движению судна заданной формы при заданной скорости. Вторая задача состоит в определении формы судна заданных размеров и водоизмещения, которая при заданной скорости обеспечивала бы наименьшее сопротивление. Обе задачи имеют характер проблем и, вследствие возникающих трудностей, до настоящего времени не получили окончательного теоретического решения.

Из указанных двух задач приоритетной является первая, так как, только имея функционал, выражающий зависимость сопротивления от формы судна, можно ставить задачу отыскания формы, дающей наименьшее сопротивление. Однако аналитическое решение задачи о форме корпуса минимального сопротивления при заданных водоизмещении и скорости движения редко может дать форму, приемлемую с точки зрения целого ряда других требований, предъявляемых к форме проектируемого судна. Ниже изложен способ последовательного изменения формы корпуса, снижающего сопротивление и позволяющего непосредственно контролировать влияние этих изменений на другие требования, предъявляемые к форме судна. Способ основан на использовании вариации сопротивления воды при элементарных изменениях формы.

Представим судно, движущееся с постоянной скоростью v по поверхности спокойной жидкости. Обтекание судна будем рассматривать в системе координат, связанной с судном. Плоскость xOy совместим с плоскостью невозмущенной поверхности жидкости, плоскость xOz – с диаметральной плоскостью, а плоскость yOz – с плоскостью миделя. Ось Ox направим в нос, ось Oy – на правый борт, а ось Oz – вертикально вниз. В нашей системе координат судно будет неподвижно, а набегающий поток на бесконечности будет иметь скорость $-v$.

Поверхность судна задается уравнением

$$y = \pm f(x, z). \quad (1)$$

Допустим, что нам известен функционал, дающий зависимость сопротивления воды от формы судна (например, интеграл Мичелла, его модернизации, решение Н.Е. Кочина и др.). Этот функционал в качестве функциональных аргументов может содержать как саму функцию $f(x, z)$, так и ее частные производные различных порядков по x и по z . Запишем функционал R в виде

$$R = \iint_{\Omega} F(y, p_1, p_2, \dots, p_n, q_1, q_2, \dots, q_m) dx dz, \quad (2)$$

где Ω – проекция смоченной поверхности судна на его диаметральную плоскость, и, кроме того, обозначено

$$\frac{\partial^k f}{\partial x^k} = p_k; \quad \frac{\partial^k f}{\partial z^k} = q_k,$$

а F есть удельная сила сопротивления в точке (x, z) .

Если теперь поставить задачу отыскать функцию $y = f(x, z)$, которая давала бы наименьшее значение функционалу R при наперед заданном значении другого функционала

$$2 \iint_{\Omega} f(x, z) dx dz = V, \quad (3)$$

где V – объемное водоизмещение судна, то получим типичную изопериметрическую задачу для двукратного интеграла. Для таких задач [1], [2] известен метод решения, основанный на теореме Эйлера о том, что существует такая постоянная λ , при которой функция $f(x, z)$ есть экстремаль функционала

$$\iint_{\Omega} H(f(x, z)) dx dz, \quad (4)$$

где $H = F - 2\lambda f$ удовлетворяет уравнению Эйлера

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial H}{\partial p_1} \right) + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial H}{\partial p_2} \right) - \dots + (-1)^n \frac{\partial^n}{\partial x^n} \left(\frac{\partial H}{\partial p_n} \right) - \\ - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial H}{\partial q_1} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{\partial H}{\partial q_2} \right) - \dots + (-1)^m \frac{\partial^m}{\partial z^m} \left(\frac{\partial H}{\partial q_m} \right) = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя вместо $H(y)$ его значение, убеждаемся, что λ войдет только в первый член уравнения Эйлера, т.е. будем иметь

$$\frac{\partial H}{\partial y} = \frac{\partial F}{\partial y} - 2\lambda; \quad \frac{\partial H}{\partial p_k} = \frac{\partial F}{\partial p_k}; \quad \frac{\partial H}{\partial q_k} = \frac{\partial F}{\partial q_k}.$$

Теперь уравнение Эйлера переписется в виде

$$\begin{aligned} -2\lambda = & -\frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial F}{\partial p_1} \right) - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial F}{\partial p_2} \right) + \dots - (-1)^n \frac{\partial^n}{\partial x^n} \left(\frac{\partial F}{\partial p_n} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial F}{\partial q_1} \right) - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{\partial F}{\partial q_2} \right) + \dots - (-1)^m \frac{\partial^m}{\partial z^m} \left(\frac{\partial F}{\partial q_m} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Нетрудно увидеть, что если в уравнение Эйлера подставить функцию $y = f(x, z)$, не дающую экстремума функционала H , то всегда возможно подобрать такое λ , которое в этом случае будет уже не константой, а функцией x и z , при которой уравнение Эйлера будет удовлетворено для всех x и z . Другими словами, в этом случае уравнение Эйлера определит некоторую функцию $\lambda(x, z)$.

Покажем теперь, что найденная таким образом функция $\lambda(x, z)$ дает возможность определить, как нужно изменить первоначально взятую форму корпуса, т.е. функцию $f(x, z)$, чтобы, оставляя постоянным водоизмещение, выражаемое функционалом V , уменьшить сопротивление, выражаемое функционалом R .

Установим сначала физический смысл функции $\lambda(x, z)$. Для этого проварьируем первоначально взятую поверхность $y = f(x, z)$, дав ей приращение $\delta f(x, z)$ в малой области ω вблизи точки (x_0, z_0) так, что $\delta f > 0$, если $(x, z) \in \omega$ и $\delta f = 0$, если $(x, z) \notin \omega$. Помножим обе части выражения (6) на $\delta f(x, z)$ и проинтегрируем по области ω , тогда получим

$$\begin{aligned} -2 \iint_{\omega} \lambda \delta f \, dx \, dz = & \iint_{\omega} \left(-\frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial F}{\partial p_1} \right) - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial F}{\partial p_2} \right) + \dots - (-1)^n \frac{\partial^n}{\partial x^n} \left(\frac{\partial F}{\partial p_n} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial F}{\partial q_1} \right) - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{\partial F}{\partial q_2} \right) + \dots - (-1)^m \frac{\partial^m}{\partial z^m} \left(\frac{\partial F}{\partial q_m} \right) \right) \delta f \, dx \, dz \end{aligned}$$

По теореме о среднем левую часть этого равенства можно запи-

сать в виде

$$-2(\lambda(x_0, z_0) + \varepsilon) \iint_{\omega} \delta f \, dx \, dz = -(\lambda(x_0, z_0) + \varepsilon) \delta V,$$

где $\delta V = 2 \iint_{\omega} \delta f \, dx \, dz$ – приращение водоизмещения, а ε стремится к нулю вместе с ω .

Правая же часть представляет приращение функционала R с обратным знаком, т.е.

$$\begin{aligned} & \iint_{\omega} \left(-\frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial F}{\partial p_1} \right) - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial F}{\partial p_2} \right) + \dots - (-1)^n \frac{\partial^n}{\partial x^n} \left(\frac{\partial F}{\partial p_n} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial F}{\partial q_1} \right) - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{\partial F}{\partial q_2} \right) + \dots - (-1)^m \frac{\partial^m}{\partial z^m} \left(\frac{\partial F}{\partial q_m} \right) \right) \delta f \, dx \, dz = -\delta R. \end{aligned}$$

Стягивая область ω к точке (x_0, z_0) , в пределе получим

$$-\lambda(x_0, z_0) \delta V = -\delta R$$

и окончательно

$$\lambda(x_0, z_0) = \frac{\delta R}{\delta V}, \tag{7}$$

т.е. функция $\lambda(x, z)$, определяемая выражением (6), представляет отношение приращения сопротивления R к приращению объемного водоизмещения V при элементарном изменении поверхности судна в произвольной точке (x, z) .

В том случае, когда функция $y = f(x, z)$ соответствует экстремуму функционала R , функция $\lambda(x, z)$ обращается в константу. При произвольном выборе формы судна λ будет функцией точки диаметральной плоскости и сопротивление R будет получать разные изменения при равных приращениях водоизмещения в разных точках поверхности судна. Это дает возможность улучшить первоначально взятую форму, т.е. уменьшить сопротивление при неизменном водоизмещении.

Действительно, пусть для выбранной нами формы функция $\lambda(x, z)$ в точке $A_1(x_1, z_1)$ равна λ_1 , а в точке $A_2(x_2, z_2)$ равна λ_2 и

пусть, например, $\lambda_1 < \lambda_2$. Тогда, предполагая непрерывность функции $\lambda(x, z)$ в окрестностях точки A_1 , дадим положительное приращение функции $f(x, z)$, а в окрестности точки A_2 – отрицательное приращение, но такие, что приращение водоизмещения от первой операции δV_1 равно потере водоизмещения δV_2 от второй, т.е. $\delta V_1 = -\delta V_2 = \delta V$. В результате такого изменения формы судна его водоизмещение не изменится, а сопротивление судна от первой операции увеличится на $\delta R_1 = \lambda_1 \delta V_1$, а от второй – уменьшится на $-\delta R_2 = \lambda_2 (-\delta V_2)$ и в итоге полное сопротивление изменится на величину

$$\delta R = \delta R_1 - \delta R_2 = (\lambda_1 - \lambda_2) \delta V < 0, \quad (8)$$

так как по условию $\lambda_1 - \lambda_2 < 0$.

В результате мы получили новую форму, обладающую прежним водоизмещением и меньшим сопротивлением, т.е. мы действительно улучшили форму и определили выигрыш в сопротивлении δR .

Точки A_1 и A_2 вообще произвольны, должны лишь удовлетворять условию $\lambda_1 \neq \lambda_2$ и, значит, всегда можно улучшить форму судна в указанном выше смысле. Единственный случай, когда этого сделать нельзя, это случай $\lambda(x, z) = const$, т.е. когда первоначально взятая форма соответствует наименьшему сопротивлению и тогда $\lambda_1 = \lambda_2$ и $\delta R = 0$.

Если в какой-нибудь области диаметральной плоскости будет $\lambda(x, z) < 0$, то приращение водоизмещения в этой области приведет к снижению сопротивления.

Одновременно с уменьшением сопротивления можно контролировать то, как предполагаемые изменения формы отразятся на других предъявляемых к ней требованиях и, в случае нежелательности изменения формы в соответствии с этими требованиями, по выражению (8) можно оценить потери в уменьшении сопротивления.

Функция $\lambda(x, z)$ зависит от формы судна и изменяется вместе с ней, поэтому формула для изменения сопротивления тем точнее для повторных улучшений формы, чем меньше первоначальное ее улучшение по сравнению с формой $f(x, z)$, для которой определена функция $\lambda(x, z)$.

Вопрос о вычислении изменения $\lambda(x, z)$ при изменении формы $f(x, z)$ в этой статье мы рассматривать не будем. Заметим только, что

такой расчет определяется той же формулой (6). Вообще говоря можно расширить задачу, рассматривая в качестве функционала R не только буксировочное сопротивление судна, но и силу засасывания, создаваемую на корпусе судна работающим гребным винтом. Если же в функционал R включить еще изменение упора гребного винта из-за попутного потока, создаваемого корпусом судна в месте его расположения, то можно указанным выше приемом улучшать форму судна, приближая ее к форме судна наивысшего пропульсивного коэффициента.

В заключение следует отметить, что в настоящее время активно разрабатываются численные методы расчета сопротивления воды движению судна без разделения его на вязкостную и гравитационную составляющие. При достаточной точности таких методов возможно вычисление значений функции $\lambda(x, z)$ непосредственно по выражению (7).

Задавая около отдельных точек (x, z) малые изменения формы δf и численно рассчитывая изменения δR по выражению

$$\delta R = R [f + \delta f] - R[f],$$

а изменение водоизмещения – по выражению

$$\delta V = 2 \iint_{\omega} \delta f \, dx \, dz,$$

для взятых точек найдутся значения функции

$$\lambda(x, z) = \frac{\delta R}{\delta V},$$

используя которые можно улучшить форму судна указанным выше способом.

В качестве исходной целесообразно брать форму, удовлетворяющую всем требованиям проекта и возможно близкую к наивыгоднейшей, исходя из современных данных о влиянии формы судна на его сопротивление движению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьев М., Люстерник Л. Основы вариационного исчисления. Т. 1. Ч. 2. – М.: ОНТИ НКТП, 1935.
2. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т. 4. – М.: Высшая школа, 1951.

Надійшла 11.01.06

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОНТОНА

Описана новая методика экспериментального определения поля давлений по поверхности корпуса судна. Приведены результаты эксперимента для модели понтона.

Ключевые слова: понтон, распределение давлений, аэродинамический эксперимент, аэродинамическая труба.

В настоящее время особую актуальность приобрели задачи освоения мирового океана и, прежде всего, континентального шельфа. Освоение шельфа связано с созданием специфических плавучих конструкций – различных платформ, понтонов, доков и т.п. Такие объекты часто имеют форму прямоугольного параллелепипеда или близкую к ней [1].

Эти обстоятельства послужили толчком для усиленной разработки вопросов, связанных с изучением гидродинамики плохо обтекаемых объектов.

Один из наиболее эффективных способов изучения обтекания тела состоит в исследовании распределения давлений по его поверхности. В аэродинамической трубе ОНМУ была решена задача экспериментального изучения распределения давлений по поверхности модели, имеющей форму прямоугольного параллелепипеда.

Традиционный метод изучения распределения давлений [2, 3] состоит в том, что каждая точка на поверхности тела, в которой измеряется давление, дренируется и соединяется с манометром. Недостатком этого метода является его сложность из-за необходимости использования большого количества манометров, соединительных трубок и т.д. Кроме того, если возникает потребность в дополнительных измерениях, требуется достаточно сложная переделка модели.

С целью повышения эффективности исследований была создана новая экспериментальная методика, основанная на использовании закона Паскаля. Идея метода состоит в следующем: если в герметичной полости модели имеется отверстие и эта модель помещена в воздушный поток, то через некоторое время давление внутри модели станет равным давлению в точке дренажа. Поместив внутрь модели датчик манометра, получим возможность измерять давление в точке. Для замера давления в другой точке достаточно закрыть отверстие (в эксперименте заклеивались скот-

чем) и проделать новое. Недостатком метода является длительность эксперимента, но это компенсируется экономией времени на подготовку модели.

Для реализации методики из оргстекла была изготовлена дублированная модель подводной части плавучего дока, имеющая следующие размеры: длина $L = 450$ мм; ширина $B = 150$ мм; высота $2T = 56$ мм. На днищевой, бортовой, носовой и кормовой стенках модели просверлены отверстия диаметром 0,8 мм. Дренажные отверстия легко закрываются клейкой лентой. Принятая система координат показана на рис. 1. Относительные координаты дренажных отверстий приведены в таблице 1. Для контроля получаемых результатов предусмотрено в двух точках измерять гидродинамические давления традиционным методом. Смысл контрольного измерения состоит в том, что при нулевом угле атаки давления в симметричных точках должны быть равны. Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. В процессе эксперимента измерения давлений выполнялись микроманометром МН240(5)-1,0.

Таблица 1

Безразмерные ординаты точек замера давлений

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Днище | x/L | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| | y/B | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Борт | x/L | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| | z/H | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Носовой транец | y/B | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | | |
| | z/H | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |
| Кормовой транец | y/B | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | | |
| | z/H | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |

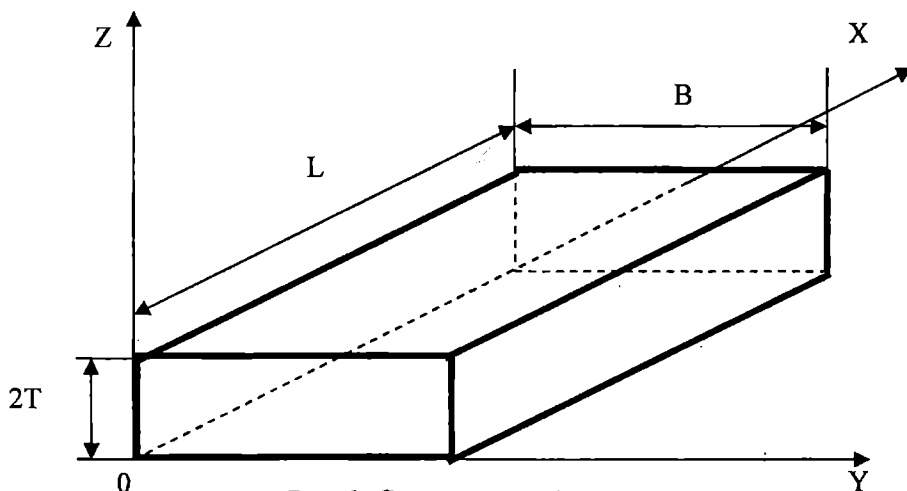


Рис. 1. Система координат

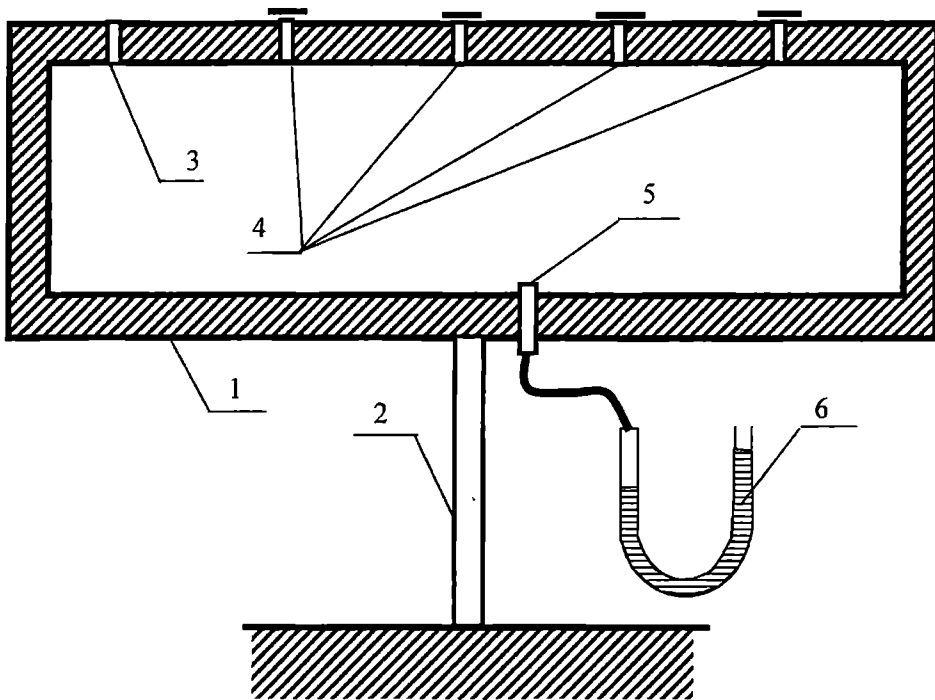


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

1 – модель; 2 – державка; 3 – открытое дренажное отверстие; 4 – закрытые дренажные отверстия; 5 – штуцер для присоединения манометра; 6 – манометр.

В результате экспериментов были получены зависимости давлений от скорости $P=f(v)$ для каждого дренажного отверстия.

Полученные значения давлений приведены к безразмерному виду и представлены в виде коэффициентов давления

$$C_P = \frac{2P_T}{\rho v^2}, \quad (1)$$

где P_T – давление в точке;

ρ – плотность воздуха;

V – скорость набегающего потока воздуха.

Скорость набегающего потока определяется измерением скоростного напора

$$v = \sqrt{\frac{2P_V}{\rho}}. \quad (2)$$

Учитывая (2), выражение для коэффициента давления можно представить в виде

$$C_P = \frac{P_T}{P_V}. \quad (3)$$

Такая форма представления результатов позволяет уйти от учета плотности воздуха, зависящей от атмосферного давления, влажности и температуры. Этим обеспечивается более высокая точность результатов эксперимента.

В качестве примера на рис. 3 представлена зависимость коэффициента давления измеренного на днище понтона в точке с координатами $x/L = 0,10$ и $y/B = 0,5$ от скорости набегающего потока.

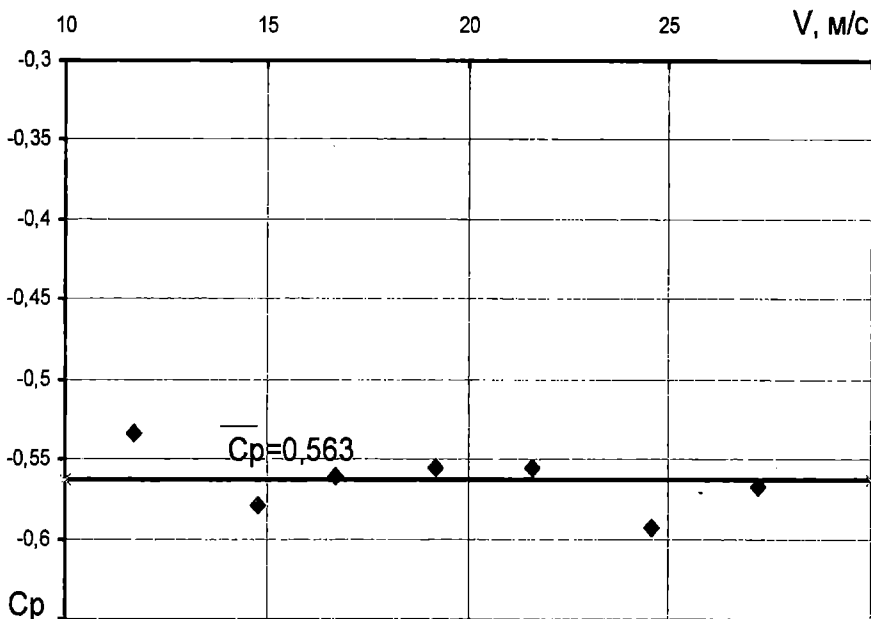


Рис. 3. Зависимость коэффициента давления от скорости набегающего потока

Видно, что полученные экспериментально значения коэффициента давления практически не зависят от скорости набегающего потока. Скорости потока соответствуют числам Рейнольдса, вычисленным по длине модели, от $3 \cdot 10^5$ до $9 \cdot 10^5$. Это свидетельствует о достижении эффекта автомодельности — независимости значений коэффициента давления от скорости обтекания.

Для вычисления средних значений C_p и погрешности его определения результаты эксперимента были подвергнуты статистическому анализу. При этом сильно выпадающие величины отбрасывались сразу т.к. это связано с грубыми ошибками при измерении. Результаты приведены в таблицах 2 и 3 и на графиках рис. 4 и 5.

Таблица 2
Распределение давлений по транцам понтона

| Носовой ($x/L = 0; z/2T = 0,50$) | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|------------|-------------------------------|
| Координата, у/В | Среднее значения коэффициента давления, $\overline{C_p}$ | Дисперсия, D | \sqrt{D} | $\overline{C_p} \pm \sqrt{D}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0,1 | 0,884 | $0,393 \cdot 10^{-3}$ | 0,006 | $0,884 \pm 0,006$ |
| 0,20 | 0,971 | $0,350 \cdot 10^{-4}$ | 0,006 | $0,971 \pm 0,006$ |
| 0,30 | 0,990 | $0,256 \cdot 10^{-4}$ | 0,005 | $0,990 \pm 0,005$ |
| 0,40 | 0,997 | $0,864 \cdot 10^{-4}$ | 0,009 | $0,997 \pm 0,009$ |
| 0,50 | 1,000 | 0 | 0 | 1 |
| Кормовой ($x/L = 1; z/2T = 0,50$) | | | | |
| 0,1 | -0,179 | $0,392 \cdot 10^{-4}$ | 0,006 | $-0,179 \pm 0,006$ |
| 0,20 | -0,174 | $0,647 \cdot 10^{-4}$ | 0,008 | $-0,174 \pm 0,008$ |
| 0,30 | -0,151 | $0,412 \cdot 10^{-4}$ | 0,006 | $-0,151 \pm 0,006$ |
| 0,40 | -0,153 | $0,722 \cdot 10^{-4}$ | 0,008 | $-0,153 \pm 0,004$ |
| 0,50 | -0,144 | $0,663 \cdot 10^{-4}$ | 0,008 | $-0,144 \pm 0,008$ |

Таблица 3
Распределение давлений по борту и днищу понтона

| Борт ($y/B = 0; z/2T = 0,50$) | | | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|------------|-------------------------------|
| Координата, x/L | Среднее значение коэффициента давления, $\overline{C_p}$ | Дисперсия, D | \sqrt{D} | $\overline{C_p} \pm \sqrt{D}$ |
| 0,05 | -0,543 | $0,289 \cdot 10^{-4}$ | 0,005 | $-0,543 \pm 0,005$ |
| 0,1 | -0,563 | $0,128 \cdot 10^{-3}$ | 0,011 | $-0,563 \pm 0,0011$ |
| 0,15 | -0,582 | $0,613 \cdot 10^{-4}$ | 0,008 | $-0,582 \pm 0,008$ |
| 0,20 | -0,448 | $0,866 \cdot 10^{-4}$ | 0,009 | $-0,448 \pm 0,009$ |
| 0,30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,40 | 0,0358 | $0,143 \cdot 10^{-4}$ | 0,0038 | $0,0358 \pm 0,0038$ |
| 0,50 | 0,0203 | $0,843 \cdot 10^{-5}$ | 0,0029 | $0,0203 \pm 0,0029$ |
| 0,60 | -0,0185 | $0,474 \cdot 10^{-4}$ | 0,0069 | $-0,0185 \pm 0,0069$ |
| 0,70 | -0,0231 | $0,136 \cdot 10^{-4}$ | 0,0037 | $-0,0231 \pm 0,0037$ |
| 0,80 | -0,0261 | $0,405 \cdot 10^{-6}$ | 0,0006 | $-0,0261 \pm 0,0006$ |
| 0,90 | -0,0529 | $0,203 \cdot 10^{-4}$ | 0,0045 | $-0,0529 \pm 0,0045$ |
| Днище ($y/B = 0,5; z/T = 0$) | | | | |
| 0,05 | -0,492 | $0,325 \cdot 10^{-4}$ | 0,006 | $-0,492 \pm 0,006$ |
| 0,10 | -0,541 | $0,347 \cdot 10^{-4}$ | 0,006 | $-0,541 \pm 0,006$ |
| 0,15 | -0,572 | $0,163 \cdot 10^{-4}$ | 0,004 | $-0,572 \pm 0,004$ |
| 0,20 | -0,530 | $0,150 \cdot 10^{-4}$ | 0,004 | $-0,530 \pm 0,004$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|---------|-----------------------|--------|----------------------|
| 0,30 | -0,268 | $0,636 \cdot 10^{-4}$ | 0,007 | $-0,258 \pm 0,007$ |
| 0,40 | -0,072 | $0,281 \cdot 10^{-4}$ | 0,005 | $-0,072 \pm 0,005$ |
| 0,50 | -0,013 | $0,200 \cdot 10^{-5}$ | 0,001 | $-0,013 \pm 0,001$ |
| 0,60 | -0,014 | $0,125 \cdot 10^{-6}$ | 0,0003 | $-0,0140 \pm 0,0003$ |
| 0,70 | -0,024 | $0,149 \cdot 10^{-5}$ | 0,001 | $-0,024 \pm 0,001$ |
| 0,80 | -0,069 | $0,253 \cdot 10^{-4}$ | 0,005 | $-0,060 \pm 0,005$ |
| 0,90 | -0,0827 | $0,103 \cdot 10^{-4}$ | 0,003 | $-0,0827 \pm 0,003$ |

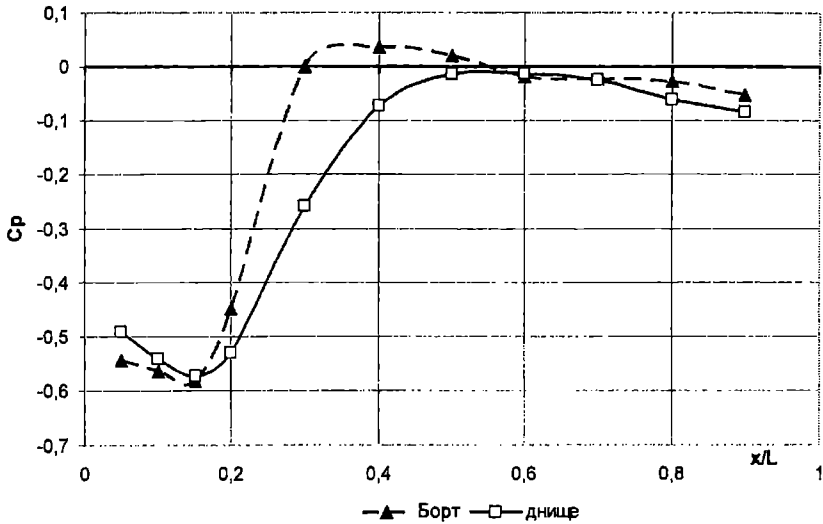


Рис. 4. Распределение коэффициента давления по борту и дну понтона

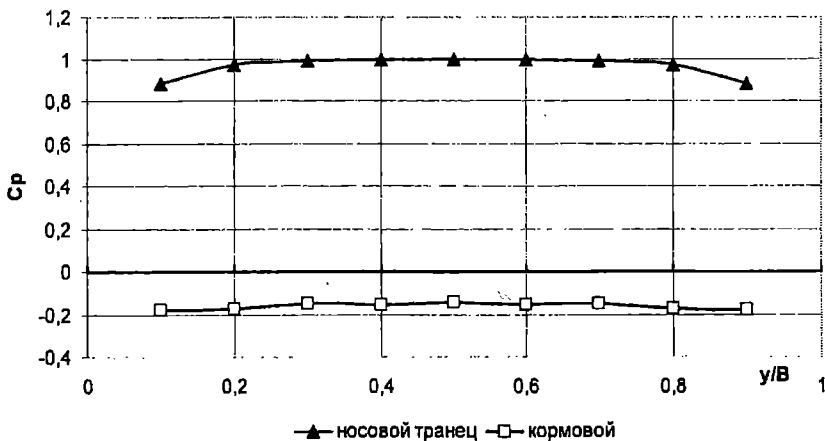


Рис. 5. Распределение коэффициента давления по носовому и кормовому транцам понтона

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробйов Ю.Л., Баскаков С.М. Технічні засоби освоєння континентального шельфу. – Одеса: ОНМУ, 2003. – 108 с.
2. Пэнкхерст Р., Холдер Д. Техника эксперимента в аэродинамических трубах. – М.: Иностранная литература, 1953. – 667 с.
3. Мартынов А.К. Экспериментальная аэродинамика. М.: Оборонная промышленность, 1953. – 348 с.

Надійшла 12.01.06

УДК 629.12.073.243

Г.В. Егоров
В.И. Тонюк

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ КАЧКИ ТРИМАРАНА, ДВИЖУЩЕГОСЯ НА ГЛУБОКОЙ ВОДЕ

Рассматривается краевая задача для потенциала скоростей жидкости, возмущенных продольными колебаниями тримарана с корпусами, симметричными относительно собственных диаметралей, при его движении с постоянной скоростью на глубокой воде. Систематическое использование аппарата интегральных преобразований и теории дифференциальных уравнений позволяет получить выражение искомого потенциала излучения в предположении о «тонкости» корпусов тримарана.

Ключевые слова: тримаран, продольные колебания, модель тонкого судна, интегральные преобразования, функция излучения.

Математическая модель тонкого судна использовалась различными авторами при постановке и решении краевых задач для потенциала скоростей движения жидкости, возмущенных продольной качкой этого судна. В конце 70-х годов прошлого столетия большой комплекс гидродинамических задач о продольной качке тонкого судна был решен Ю.Л. Воробьевым [1, 2] на основе систематического применения аппарата интегрального преобразования Фурье-Митчеля.

В числе упомянутых задач рассматривалась продольная качка катамарана [4]. Новый оригинальный подход к определению гидродинамических характеристик продольной качки тримарана продемонстрирован в работе [6]. Однако во всех упомянутых разработках предполагалось отсутствие хода судна. Новый шаг в развитии гидродинамической теории продольной качки тонкого судна, сделанный в последнее время, связан с рассмотрением его движения с постоянной средней скоростью [3]. Следует специально отметить методологическую преемственность решений обоих классов задач в связи с использованием представления искомого потенциала скоростей с помощью интегрального преобразования Фурье-Митчеля по вертикальной координате.

Для теоретического определения гидродинамических сил, действующих на судно при качке, следует решить две краевые задачи: задачу излучения и дифракционную задачу. Зная функцию излучения, то есть потенциал скоростей, возмущенных гармоническими колебаниями судна, идущего на тихой воде, можно вычислить инерционные и демпфирующие силы, которые действуют на качающееся судно при его движении на ре-

гулярном волнении. Решив дифракционную задачу, то есть определив потенциал дифрагированного волнового движения при набегании регулярного волнения на движущееся без качки судно, можно рассчитать действующие на него возмущающие силы.

Общая структура краевых задач излучения и дифракции одинакова, и этот факт использован в [5] при решении дифракционной задачи для тонкого судна, не имеющего хода. В настоящей работе поставлена и решена краевая задача для потенциала излучения тримарана, движущегося на глубокой воде (рис.1).

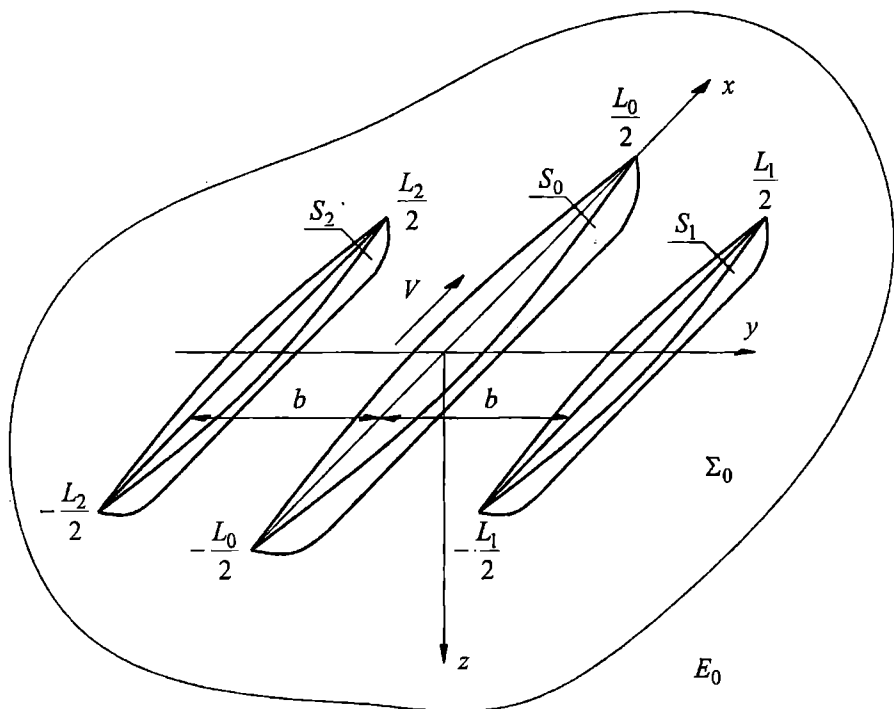


Рис.1. Оси координат и расположение корпусов тримарана

Предполагается, что все три корпуса тримарана являются тонкими телами, а диаметрали идентичных боковых корпусов S_1 и S_2 расположены симметрично относительно диаметрали S_0 центрального корпуса на расстояниях $y = \pm b$. Пусть тримаран движется со скоростью V на глубокой воде, совершая при этом продольные гармонические колебания с круговой частотой σ . Будем искать потенциал возмущенных скоростей $\varphi(x, y, z, t) = \text{Re}[\Phi(x, y, z)e^{i\sigma t}]$ в предположениях линейной теории волновых движений жидкости. Амплитудная функция этого потенциала $\Phi(x, y, z)$ удовлетворяет следующей дифференциальной системе:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \Phi(x, y, z) = 0, \quad (x, y, z) \in E_0; \quad (1)$$

$$\left(\sigma^2 + 2iV\sigma \frac{\partial}{\partial x} - V^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} + g \frac{\partial}{\partial z} \right) \Phi(x, y, 0) = 0, \quad (x, y) \in \Sigma_0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \Phi(x, \pm 0, z) = \begin{cases} \pm f_0(x, z), & (x, z) \in S_0; \\ 0, & (x, z) \notin S_0; \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \Phi(x, b \pm 0, z) = \begin{cases} \pm f_1(x, b, z), & (x, z) \in S_1; \\ 0, & (x, z) \notin S_1; \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \Phi(x, -b \mp 0, z) = \begin{cases} \pm f_2(x, -b, z), & (x, z) \in S_2; \\ 0, & (x, z) \notin S_2; \end{cases} \quad (5)$$

$$\lim_{z \rightarrow \infty} \overline{\text{grad}} \Phi(x, y, z) = 0. \quad (6)$$

Функция $\Phi(x, y, z)e^{i\sigma t}$ должна, кроме того, удовлетворять принципу Зоммерфельда, согласно которому волны, вызванные колебаниями тримарана, отходят от него в разные стороны. В системе (1)-(6) E_0 – нижнее полупространство $z \geq 0$ с исключенными диаметральными плоскостями S_0, S_1, S_2 ; Σ_0 – свободная поверхность, представляющая собой горизонтальную плоскость $z = 0$ с исключенными отрезками

$$\left[\frac{-L_0}{2} \leq x \leq \frac{L_0}{2}, y = 0 \right], \left[\frac{-L_2}{2} \leq x \leq \frac{L_2}{2}, y = -b \right],$$

$$\left[\frac{-L_1}{2} \leq x \leq \frac{L_1}{2}, y = b \right],$$

причем L_0, L_1 и L_2 – длины центрального и боковых корпусов тримарана. Поскольку боковые корпуса тримарана идентичны по форме,

$$S_1 = S_2, L_1 = L_2, f_1(x, b, z) = f_2(x, -b, z).$$

При продольных колебаниях функция $\Phi(x, y, z)$ симметрична относительно плоскости $y = 0$, то есть

$$\begin{aligned} \Phi(x,+y,z) &= \Phi(x,-y,z), \quad y > 0; \\ \frac{\partial}{\partial y} \Phi(x,+y,z) &= -\frac{\partial}{\partial y} \Phi(x,-y,z), \quad y > 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Учитывая (7), рассмотрим краевую задачу (1)-(6) в нижнем полупространстве $y \geq 0, 0 \leq z < \infty$.

Введем в рассмотрение пару Фурье-преобразований [5]

$$u^F(q) = \int_{-\infty}^{\infty} u(x) \exp(iqx) dx; \quad u(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} u^F(q) \exp(-iqx) dq. \quad (8)$$

Очевидно, что
$$\left(\frac{d^n u(x)}{dx^n} \right)^F = (-iq)^n u^F(q).$$

Применим преобразование (8) по x с параметром q к дифференциальной системе (1)-(6). Получим

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - q^2 \right) \Phi^F(q, y, z) = 0, \quad (y, z) \in [0, \infty); \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial z} + k \right) \Phi^F(q, y, 0) = 0, \quad (y, z) \in [0, \infty), \quad k = \frac{1}{g}(\sigma + Vq)^2;$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \Phi^F(q, +0, z) = \begin{cases} f_0^F(q, z), & 0 \leq z \leq T_0; \\ 0, & z > T_0; \end{cases} \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \Phi^F(q, b \pm 0, z) = \begin{cases} \pm f_1^F(q, b, z), & 0 \leq z \leq T_1; \\ 0, & z > T_1. \end{cases} \quad (11)$$

Здесь T_0 и T_1 – осадки центрального и бокового корпусов тримарана соответственно, а функции $f_0^F(q, z)$, $f_1^F(q, b, z)$ определяются так

$$f_0^F(q, z) = \int_{-\infty}^{\infty} f_0(x, z) \exp(iqx) dx, \quad f_1^F(q, b, z) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x, b, z) \exp(iqx) dx. \quad (12)$$

Представим функцию $\Phi^F(q, y, z)$ интегралом Фурье-Митчеля в соответствии с процедурой, которая подробно рассмотрена в [1] и [2]

$$\Phi^F(q, y, z) = \int_0^{\infty} G(q, y, \mu) \psi(z, \mu) \frac{\mu^2 d\mu}{\mu^2 + k^2} + \Gamma(q, y, k) e^{-kz}; \quad (13)$$

$$G(q, y, \mu) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \Phi^F(q, y, z) \psi(z, \mu) dz; \quad \Gamma(q, y, k) = 2k \int_0^{\infty} \Phi^F(q, y, z) e^{-kz} dz; \quad (14)$$

$$\psi(z, \mu) = \cos \mu z - \frac{k}{\mu} \sin \mu z. \quad (15)$$

В силу ортогональности функций $\psi(z, \mu)$ и e^{-kz} на луче $0 \leq z < \infty$ получаем две отдельные краевые задачи для функций $G(q, y, \mu)$ и $\Gamma(q, y, k)$. Так, для функции $G(q, y, \mu)$ имеем

$$\left[\frac{d^2}{dy^2} - (\mu^2 + q^2) \right] G(q, y, \mu) = 0, \quad y \in [0, \infty); \quad (16)$$

$$\frac{d}{dy} G(q, 0, \mu) = g_0(q, \mu); \quad \frac{d}{dy} G(q, b \pm 0, \mu) = \pm g_1(q, b, \mu); \quad (17)$$

где

$$g_0(q, \mu) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} f_0^F(q, z) \psi(z, \mu) dz; \quad g_1(q, b, \mu) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} f_1^F(q, b, z) \psi(z, \mu) dz. \quad (18)$$

Для функции $\Gamma(q, y, k)$ имеем

$$\left[\frac{d^2}{dy^2} + (k^2 - q^2) \right] \Gamma(q, y, k) = 0, \quad y \in [0, \infty); \quad (19)$$

$$\frac{d}{dy} \Gamma(q, 0, k) = \gamma_0(q, k); \quad \frac{d}{dy} \Gamma(q, b \pm 0, k) = \pm \gamma_1(q, b, k); \quad (20)$$

где

$$\gamma_0(q, k) = 2k \int_0^{\infty} f_0^F(q, z) e^{-kz} dz; \quad \gamma_1(q, b, k) = 2k \int_0^{\infty} f_1^F(q, b, z) e^{-kz} dz. \quad (21)$$

Решения сформулированных краевых задач (16)-(18) для функции $G(q, y, \mu)$ и (19)-(21) для функции $\Gamma(q, y, k)$ будем искать на каждом из интервалов $0 \leq y \leq b-0$, $b+0 \leq y < \infty$ в отдельности.

Обратимся сначала к задаче (16)-(18).

На интервале $0 \leq y \leq b-0$ общее решение обыкновенного однородного дифференциального уравнения второго порядка (16) имеет вид

$$G(q, y, \mu) = A \exp(-y\sqrt{\mu^2 + q^2}) + B \exp(y\sqrt{\mu^2 + q^2}). \quad (22)$$

Произвольные постоянные A и B определяются из граничных условий (17) в виде

$$A = -\frac{g_0 \exp(b\sqrt{\mu^2 + q^2}) + g_1}{2\sqrt{\mu^2 + q^2} \operatorname{sh}(b\sqrt{\mu^2 + q^2})}; \quad B = -\frac{g_0 \exp(-b\sqrt{\mu^2 + q^2}) + g_1}{2\sqrt{\mu^2 + q^2} \operatorname{sh}(b\sqrt{\mu^2 + q^2})}. \quad (23)$$

На интервале $b+0 \leq y < \infty$ ограниченное решение дифференциального уравнения (16), удовлетворяющее условию (15), имеет вид

$$G(q, y, \mu) = -\frac{g_1 \exp[-(y-b)\sqrt{\mu^2 + q^2}]}{\sqrt{\mu^2 + q^2}}. \quad (24)$$

Рассмотрим теперь решения задачи (19)-(21). Вид этих решений зависит от величины $k^2 - q^2$, причем решения различны при $k^2 - q^2 > 0$ и $k^2 - q^2 < 0$.

Положим, что $k^2 - q^2 > 0$.

На интервале $0 \leq y \leq b-0$ общее решение обыкновенного однородного дифференциального уравнения (19) в этом случае имеет вид

$$\Gamma(q, y, k) = C_1 \cos(y\sqrt{k^2 - q^2}) + C_2 \sin(y\sqrt{k^2 - q^2}). \quad (25)$$

Произвольные постоянные решения C_1 и C_2 определяются из граничных условий (20) в виде

$$C_1 = \frac{\gamma_0 \cos(b\sqrt{k^2 - q^2}) - \gamma_1}{\sqrt{k^2 - q^2} \sin(b\sqrt{k^2 - q^2})}; \quad C_2 = \frac{\gamma_0}{\sqrt{k^2 - q^2}}. \quad (26)$$

Учитывая, что временной множитель в задаче принят в виде $\exp(i\sigma t)$, решения дифференциального уравнения (19) на интервале $b + 0 \leq y < \infty$, которые удовлетворяют граничному условию (20) и принципу Зоммерфельда, получаем в виде

$$\Gamma(q, y, k) = i \gamma_1 \frac{\exp\left[-i(y-b)\sqrt{k^2 - q^2}\right]}{\sqrt{k^2 - q^2}}. \quad (27)$$

Положим теперь, что $k^2 - q^2 < 0$.

На интервале $0 \leq y \leq b - 0$ решение дифференциального уравнения (19), удовлетворяющее граничным условиям (20), имеет вид

$$\Gamma(q, y, k) = D_1 \exp\left(-y\sqrt{q^2 - k^2}\right) + D_2 \exp\left(y\sqrt{q^2 - k^2}\right), \quad (28)$$

$$D_1 = -\frac{\gamma_0 \exp\left(b\sqrt{q^2 - k^2}\right) + \gamma_1}{2\sqrt{q^2 - k^2} \operatorname{sh}\left(b\sqrt{q^2 - k^2}\right)}; \quad D_2 = -\frac{\gamma_0 \exp\left(-b\sqrt{q^2 - k^2}\right) + \gamma_1}{2\sqrt{q^2 - k^2} \operatorname{sh}\left(b\sqrt{q^2 - k^2}\right)}. \quad (29)$$

Ограниченное на интервале $b + 0 \leq y < \infty$ и удовлетворяющее граничному условию (20) решение дифференциального уравнения (19) имеет вид

$$\Gamma(q, y, k) = -\frac{\gamma_1}{\sqrt{k^2 - q^2}} \exp\left[-(y-b)\sqrt{q^2 - k^2}\right]. \quad (30)$$

Учитывая решения (22)-(30) и разложение (13), легко выписать Фурье-преобразование $\Phi^F(q, y, z)$ искомой амплитуды $\Phi(x, y, z)$ функции излучения. В соответствии с (8) эта амплитуда может быть получена в виде обратного Фурье-преобразования функции $\Phi^F(q, y, z)$

$$\Phi(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi^F(q, y, z) \exp(-iqx) dq \quad (31)$$

и представлена в виде $\Phi(x, y, z) = \sum_{m=1}^4 \Phi_m(x, y, z)$.

На интервале $0 \leq y \leq b - 0$

$$\Phi_1(x, y, z) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{g_0(q, \mu) \operatorname{ch}[(b-y)\sqrt{q^2 + \mu^2}] + g_1(q, b, \mu) \operatorname{ch}(y\sqrt{q^2 + \mu^2})}{\sqrt{q^2 + \mu^2} \operatorname{sh}(b\sqrt{q^2 + \mu^2})} \times \\ \times \psi(z, \mu) \frac{\exp(-iqx) \mu^2 d\mu dq}{\mu^2 + k^2}; \quad (32)$$

$$\Phi_2(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{q_2}^{\infty} \frac{\gamma_0(q, k) \cos[(y+b)\sqrt{k^2 - q^2}] - \gamma_1(q, b, k) \cos(y\sqrt{k^2 - q^2})}{\sqrt{k^2 - q^2} \sin(b\sqrt{k^2 - q^2})} \times \\ \times \exp[-(kz + iqx)] dq; \quad (33)$$

$$\Phi_3(x, y, z) = -\frac{1}{2\pi} \int_{q_1}^{q_2} \frac{\gamma_0(q, k) \operatorname{ch}[(b-y)\sqrt{q^2 - k^2}] + \gamma_1(q, b, k) \operatorname{ch}(y\sqrt{q^2 - k^2})}{\sqrt{q^2 - k^2} \operatorname{sh}(b\sqrt{q^2 - k^2})} \times \\ \times \exp[-(kz + iqx)] dq; \quad (34)$$

$$\Phi_4(x, y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{q_1} \frac{\gamma_0(q, k) \cos[(y+b)\sqrt{k^2 - q^2}] - \gamma_1(q, b, k) \cos(y\sqrt{k^2 - q^2})}{\sqrt{k^2 - q^2} \sin(b\sqrt{k^2 - q^2})} \times \\ \times \exp[-(kz + iqx)] dq; \quad (35)$$

На интервале $b + 0 \leq y < \infty$

$$\Phi_1(x, y, z) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{g_1(q, b, \mu) \exp[-(y-b)\sqrt{\mu^2 + q^2}]}{\sqrt{\mu^2 + q^2}} \times \\ \times \psi(z, \mu) \frac{\exp(-iqx) \mu^2 d\mu dq}{\mu^2 + k^2}; \quad (36)$$

$$\Phi_2(x, y, z) = \frac{i}{2\pi} \int_{q_2}^{\infty} \frac{\gamma_1(q, b, k) \exp[-i(y-b)\sqrt{k^2 - q^2}]}{\sqrt{k^2 - q^2}} \times \\ \times \exp[-(kz + iqx)] dq; \quad (37)$$

$$\Phi_3(x, y, z) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-q_1}^{q_2} \frac{\gamma_1(q, b, k) \exp\left[-(y-b)\sqrt{q^2 - k^2}\right]}{\sqrt{q^2 - k^2}} \times \\ \times \exp\left[-(kz + iqx)\right] dq; \quad (38)$$

$$\Phi_4(x, y, z) = \frac{i}{2\pi} \int_{-\infty}^{q_2} \frac{\gamma_1(q, b, k) \exp\left[-i(y-b)\sqrt{k^2 - q^2}\right]}{\sqrt{k^2 - q^2}} \times \\ \times \exp\left[-(kz + iqx)\right] dq. \quad (39)$$

В заключение рассмотрим вопрос об определении знака разности $k^2 - q^2$. Заметим, что $k^2 - q^2 = (k - q)(k + q) =$

$$= \frac{1}{g^2} \left[\sigma^2 + (2\sigma V - g)q + V^2 q^2 \right] \left[\sigma^2 + (2\sigma V + g)q + V^2 q^2 \right].$$

Очевидно, что

знак разности $k^2 - q^2$ совпадает со знаком первой скобки $\sigma^2 + (2\sigma V - g)q + V^2 q^2$. Это выражение положительно при всех q , если дискриминант $(2\sigma V - g)^2 - 4\sigma^2 V^2 = g(g - 4\sigma V) < 0$, то есть если

$$V > \frac{g}{4\sigma} = \frac{c}{4} = \frac{\sqrt{g\lambda}}{4} \quad (c - \text{фазовая скорость прогрессивных волн с}$$

частотой σ и длиной λ). Если же $V < \frac{g}{4\sigma}$, то $k^2 - q^2 < 0$ при

$q \in (q_1, q_2)$ и $k^2 - q^2 > 0$ при $q \in (-\infty, q_1) \cup (q_2, \infty)$, где

$$q_{1,2} = \frac{(g - 2\sigma V) \mp \sqrt{g(g - 4\sigma V)}}{2V^2}. \quad \text{Поэтому в процессе выполнения}$$

обратного преобразования Фурье в формулах (33), (34) и (35), а также (37), (38) и (39) при $q = q_1$ и $q = q_2$ одно преобразование заменятся другим.

В заключение отметим, что формулы (32)-(39) универсальны, поскольку дают значения потенциала возмущенных скоростей для функций $f_0(x, z)$, $f_1(x, z)$ достаточно общего вида. Необходимо только, чтобы эти функции были интегрируемы по x и по z на интервалах

$$\left[-\frac{L_0}{2} \leq x \leq \frac{L_0}{2} \right], \quad \left[-\frac{L_1}{2} \leq x \leq \frac{L_1}{2} \right] \quad \text{и} \quad [0 \leq z \leq T_0], \quad [0 \leq z \leq T_1]$$

соответственно.

Поэтому, если функции $f_0(x, z)$ и $f_1(x, z)$ описывают граничные условия на корпусах тримарана при продольной качке, формулы (31)-(39) дают конкретные значения функции излучения для продольных колебаний. Если же функции $f_0(x, z)$ и $f_1(x, z)$ соответствуют граничным условиям на корпусах тримарана при набегании прогрессивных волн на движущийся без качки тримаран, полученный по формулам (31)-(39) потенциал является потенциалом дифрагированного волнового движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Ю.Л. Асимптотическая линейная теория продольной качки судна на глубокой воде // *Прикладная механика АН УССР*. – 1975. – Т. XI. Вып. II. – С. 106-112.
2. Воробьев Ю.Л. О продольных колебаниях тонкого судна на глубокой воде // *Прикладная механика АН УССР*. – 1979. – Т. XV. № 6. – С. 104-109.
3. Воробьев Ю.Л., Демидюк А.В. Задача излучения для продольной качки тонкого судна, движущегося на глубокой воде // *Вісник ОНМУ*. – Одесса: Вид-во ОНМУ. – 2005. – С. 40-48.
4. Воробьев Ю.Л. Потенциал скоростей и возмущающие силы при продольной качке катамарана на глубокой воде // *Асимптотические методы в теории систем*. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. – 1980. – С. 148-157.
5. Диткин В.Л. Интегральные преобразования и операционное исчисление / В.Л. Диткин, А.П. Прудников. – М.: ГИФМЛ, 1961. – 524 с.
6. Егоров Г.В., Тонюк В.И. Особенности проектирования многокорпусных судов // *Труды НТК по СМК памяти проф. П.Ф. Папковича*. – СПб.: ЦНИИ им акад. А.Н. Крылова, 2005. – С. 12-13.

Надійшла 04.01.06

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОДОЛЬНОЙ КАЧКЕ СУДОВ НА РЕГУЛЯРНЫХ ВОЛНАХ КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ

Приведены результаты численных расчетов нелинейной продольной качки ряда судов на регулярных волнах конечной амплитуды. Определена область влияния нелинейных эффектов на амплитуды процессов вертикальной и килевой качки по крутизне волн. Представлены данные, иллюстрирующие влияние на нелинейность продольной качки судов скорости поступательного движения, осадки и полноты корпуса, распределения массы судна по длине.

Ключевые слова: морские суда, продольная качка, волны Стокса, конечные амплитуды, нелинейность.

Расчеты продольной качки судов на волнении играют важную роль при обеспечении их прочности и мореходности в условиях эксплуатации на волнении. Решение вопросов общей и местной прочности корпусов судов, оценки слеминга, заливаемости и других мореходных качеств судна при действии на него морских волн невозможны без выполнения расчетов продольной качки.

Общая линейная гидродинамическая теория качки судна на регулярных волнах малой амплитуды разработана в основном в 60-80-е годы прошлого столетия, основываясь на фундаментальных работах А.Н. Крылова и М.Д. Хаскинда [1, 2]. Дальнейшее привлечение спектральных методов теории преобразования стационарных случайных процессов линейными динамическими системами позволило расширить линейную теорию качки судов и для общего случая действия на судно нерегулярного волнения [3, 4]. Опыт многочисленных расчетов, модельных и натуральных испытаний судов на волнении в общем подтвердил приемлемую точность линейной теории качки судов, так что, например, по амплитудам процессов продольной качки она находится в пределах 15-20% интервала разброса данных [4, 5].

В то же время испытания моделей судов в опытовых бассейнах, а затем и численные расчеты продольной качки судов на волнах конечной амплитуды показали, что с возрастанием крутизны волн в процессах качки начинают заметно проявляться нелинейные эффекты [6-9]. В 80-е годы прошлого столетия большую работу в изучении нелинейных эффектов в продольной качке и прочности судов провели японские исследователи (см., например, работы [6, 7] и более полную библиографию в

[10, 11]) в связи с серией серьезных повреждений и аварий скоростных контейнеровозов и крупнотоннажных балкеров в условиях интенсивного волнения.

Целью данной статьи является анализ области применимости линейной теории продольной качки судов на регулярных волнах по крутизне волн, а также оценка влияния различных характеристик судна (скорости движения, осадки, распределения массы по длине корпуса и др.) на нелинейные эффекты на основе анализа результатов систематических численных расчетов нелинейной продольной качки шести судов основных типов и размерений. Расчеты нелинейной продольной качки и нагрузок на суда проводились во временной области по технологии TDC (Time Domain Calculations) [10, 11] для серии судов (см. табл. 1) в широком диапазоне изменения крутизны регулярных волн $h_\lambda = h_w / \lambda = 0,02 - 0,14$, относительных длин волн $\lambda_L = \lambda / L = 0,75 - 2,0$, чисел Фруда $Fr = 0,0 - 0,35$, а также при варьировании осадки (груз/балласт) и продольного распределения массы судна (при значениях продольного радиуса инерции масс $r_G / L = 0,16 - 0,30$).

Таблица 1

Основные характеристики судов

| № | Судно | L , м | B , м | D , м | d , м | C_b | α |
|---|---------------------------------|---------|---------|---------|---------------------------|----------------|----------------|
| 1 | Контейнеровоз «S175» | 175,0 | 25,2 | 16,0 | 9,8 | 0,575 | 0,713 |
| 2 | Сухогруз «Mariner» | 158,5 | 23,1 | 13,7 | 8,4 | 0,614 | 0,726 |
| 3 | Ролкер «Атлантика» | 204,0 | 30,0 | 21,0 | 10,0 | 0,566 | 0,764 |
| 4 | Лихтер «Севморпуть» | 250,0 | 32,3 | 18,3 | 10,8 | 0,688 | 0,850 |
| 5 | Балкер «Зоя Космодемьянская» | 201,6 | 31,8 | 17,0 | 12,3 ^{*)} 6,1 | 0,815 0,787 | 0,879 0,813 |
| 6 | Супертанкер | 273,0 | 40,2 | 21,5 | 14,9 | 0,817 | 0,885 |

*) первая строчка – судно в грузу, а вторая – в балласте

Теоретические основы нелинейных методов расчета продольной качки и нагрузок судов изложены в работах автора [10, 11]. При разработке методов были учтены нелинейные эффекты в гидродинамических характеристиках набегающих волн (волновом профиле, поле давлений и скоростей), переменность и непрямобортность мгновенной смоченной судовой поверхности, возможное оголение и полное погруже-

ние носовой оконечности корпуса в волны, зависимость гидродинамических характеристик судовых контуров (коэффициентов присоединенных масс и демпфирования) от мгновенной волновой осадки. Интегрирование уравнений продольной качки производилось численным методом, основанным на минимизации взвешенной локальной невязки решения дифференциальных уравнений качки с шагом порядка $1/36-1/24$ периода качки [10, 11].

Проверка результатов работы алгоритма и программы расчета выполнялась сравнением числовых данных автора с данными испытаний в опытовых бассейнах моделей контейнеровоза, сухогруза, лихтеровоза и танкера, а также с данными независимых численных расчетов (как традиционных линейных [5], так и нелинейных по технологии TDC [6, 8, 9]) для контейнеровоза другими авторами (см. примеры сравнения в работах [10-12]). По совокупности результаты сравнения можно оценить как хорошие.

Числовые значения характеристик вертикальной качки $\zeta_0(t)$ нормировались величиной $D/2$, а килевой качки $\psi_0(t)$ – отношением D/L , что фактически определяло вертикальные перемещения на миделе и на носовом перпендикуляре корпуса суда в долях от полувысоты борта. Продольно-горизонтальная качка $\xi_0(t)$ была исключена из рассмотрения, так как расчеты показали, что она практически не влияет на указанные основные виды продольной качки, однако требует специального алгоритма для компенсации накапливающегося продольного дрейфа в процессе численного интегрирования уравнений качки.

Обратимся теперь к результатам численных расчетов нелинейной продольной качки указанных выше судов. В первую очередь отметим следующее обстоятельство. Использование мгновенных значений гидродинамических характеристик судовых контуров является приближенным методом учета нелинейных эффектов в гидродинамической нагрузке, связанной с вносимыми судном возмущениями за счет качки и дифракции набегающих волн. Хотя при этом не учитываются нелинейные эффекты на свободной волновой поверхности, метод, в силу своей простоты, широко используется в приближенных расчетах нелинейной качки судов [6-11].

Более общее приближение основывается на использовании граничных интегральных уравнений (ГИУ) для определения потенциала скоростей возмущенного волнового движения [8]. Однако эта технология почти на два порядка увеличивает время счета и ресурсы памяти вычислительной машины [8], поскольку требует численного решения ГИУ с учетом волновой поверхности на каждом шаге интегрирования по времени. Фактически такие расчеты можно выполнять только на суперкомпьютерах типа mainframe [8].

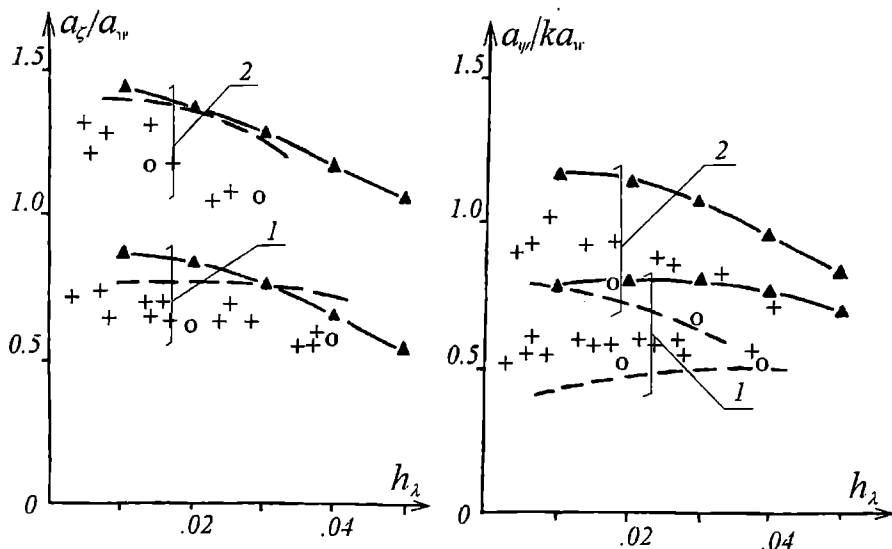


Рис. 1. Данные расчетов качки для контейнеровоза S-175:
 - - - численные расчеты приближенным методом [8];
 + + + - данные модельных испытаний и O;
 O - численные
 расчеты с использованием ГИУ [8];
 Δ-Δ-Δ - численные расчеты автора;
 1 - $\lambda_L = 1,0$; 2 - 1,20

На рис. 1 показан пример расчета продольной качки контейнеровоза S-175 приближенным методом и с использованием ГИУ [8]. Как видно, общий метод дает результаты, более близкие к данным модельных испытаний, однако, на наш взгляд, достигаемые уточнения не столь очевидны и значительны.

Рассмотрим теперь основные нелинейные эффекты, которые возникают в процессах продольной качки судов на регулярных волнах конечной амплитуды.

Расчеты показали, что возбуждение кратных гармоник и формирование средних за период качки значений характеристик качки выражены значительно слабее, чем в волновых нагрузках и внутренних усилиях в корпусе (например, изгибающих моментах), рис. 2. На рис. 3 показана зависимость средних смещений $a_{\zeta, \psi}^{(0)}$ и амплитуд второй гармоники

$a_{\zeta, \psi}^{(2)}$ от крутизны волн для полных и острых судов и, как видно из рисунка, эти величины (как показатели нелинейности процессов) начинают интенсивно возбуждаться только при крутизне волн 0,06 и выше практически для всех типов судов.

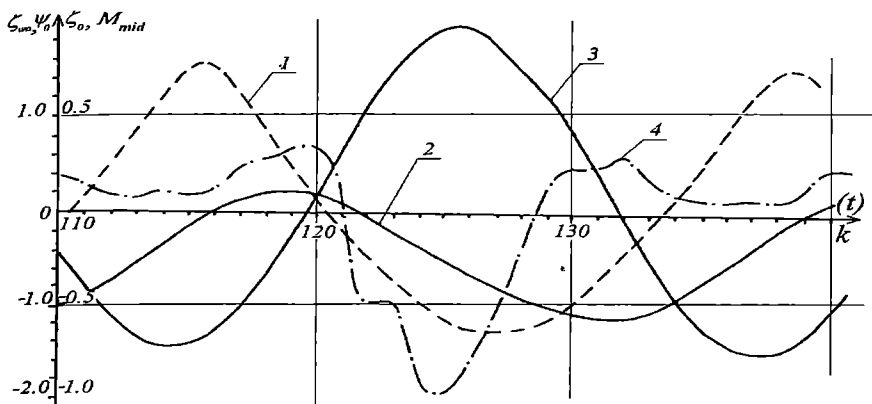


Рис. 2. Динамические процессы для сухогруза Mariner за период качки при $Fr = 0,13$; $\lambda_L = 1,0$; $h_\lambda = 1/9$:

- 1 – волновой профиль на миделе судна;
- 2 – вертикальная качка;
- 3 – килевая качка;
- 4 – изгибающий момент на миделе ($\times 0,1$)

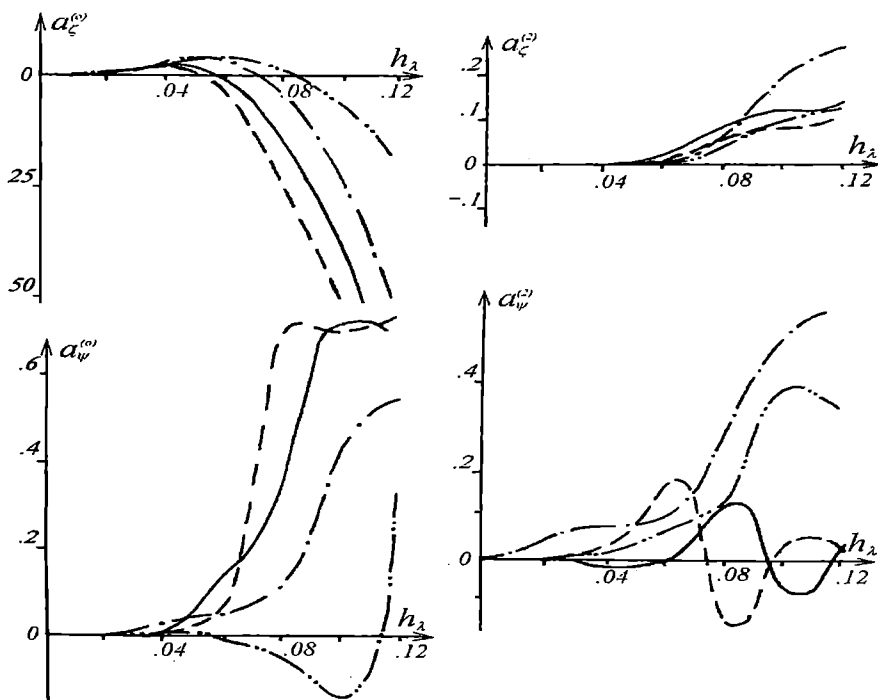


Рис. 3. Зависимость от крутизны волн средних смещений и амплитуд второй гармоники в процессах продольной качки для судов различных типов: лихтеровоз (— · —); ролкер (— · · —); балкер в грузу (— —); супертанкер (—)

Важным фактором, влияющим на возникновение нелинейных эффектов в качке судов, является скорость движения судна на волнении. На рис. 4 приведены результаты расчетов для контейнеровоза при малых и умеренных числах Фруда $Fr = 0,05; 0,10; 0,15$.

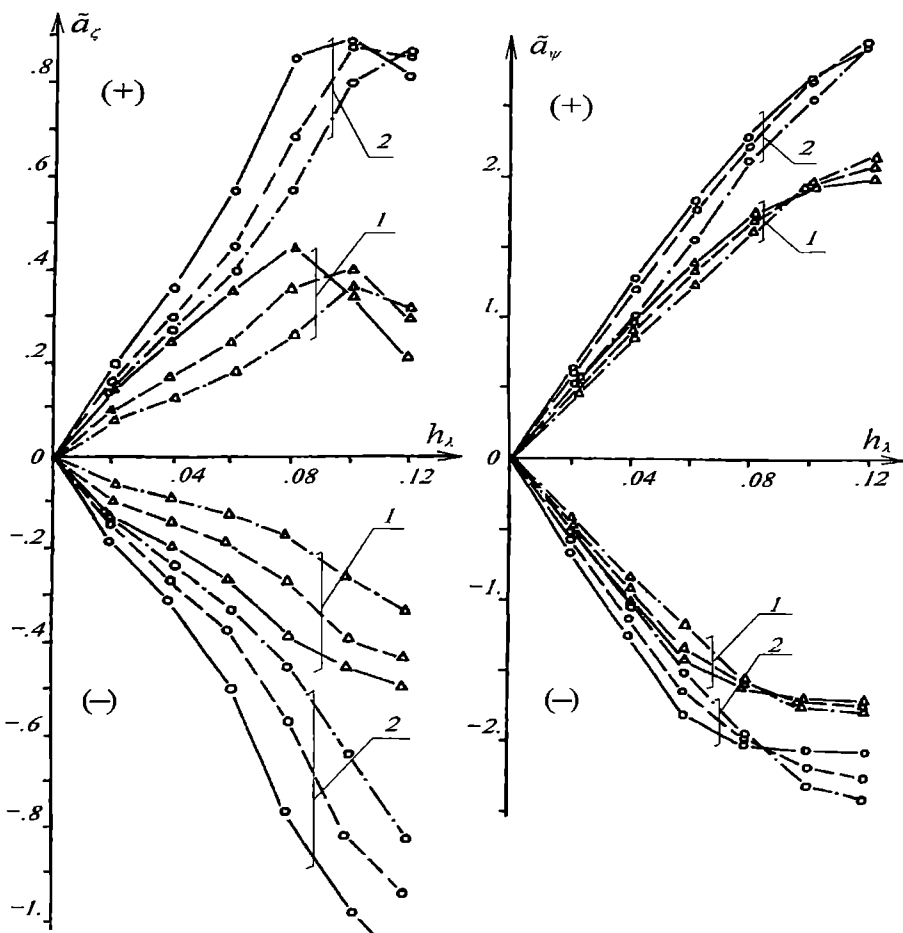


Рис. 4. Положительные (+) и отрицательные (-) амплитуды продольной качки контейнеровоза S175 при:

1 - $\lambda_L = 1,0$; 2 - 1,25 и $Fr = 0,05$ (- · -); 0,10 (- -); 0,15 (—)

Как видно из рисунка, эти изменения скорости движения судна мало влияют на амплитудные значения килевой качки. Однако для амплитуд вертикальной качки влияние скорости уже очевидно (в сторону увеличения амплитуд примерно на 30-40 %). Близкие результаты имеют место и для других судов с острыми обводами корпуса. Обратим внима-

ние на то, как проявляется влияние нелинейности на амплитуды качки этих судов. Если относительно килевой качки для всего диапазона крутизны волн нелинейность является «мягкой», то для вертикальной качки при крутизнах до 0,04 и после 0,08 имеет место «мягкая» нелинейность, а в промежуточном диапазоне значений крутизны волн – «жесткая» нелинейность.

На слабых и умеренных режимах волнения быстроходные суда эксплуатируются со скоростями до 25-30 узлов и поэтому представляет интерес оценить влияние нелинейных эффектов на процессы качки для этого диапазона скоростей движения. Соответствующие результаты иллюстрирует рис. 5 для контейнеровоза при $Fr = 0,273$; $\lambda_L = 1,1$ и малых крутизнах волн до $1/20$, из которого видно, что при больших скоростях движения судна нелинейные эффекты имеют место даже при действии достаточно пологих волн, для которых в традиционных расчетах постулируются гипотезы линейного приближения [2-5].

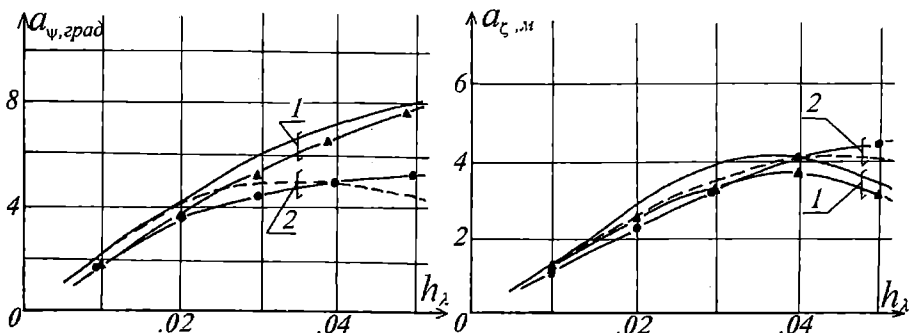


Рис. 5. Положительные (1) и отрицательные (2) амплитуды продольной качки контейнеровоза S175 при $Fr = 0,273$; $\lambda_L = 1,1$:
 линии без значков – расчеты согласно [9];
 линии со значками – расчеты автора

Таким образом, если для малых и умеренных скоростей движения судна на регулярных волнах нелинейные эффекты в продольной качке начинают проявляться при крутизне 0,05-0,06, то при больших скоростях движения пороговое значение крутизны снижается до величины порядка 0,025-0,03.

Обратимся теперь к результатам расчетов, в которых варьировался тип судна и условия его загрузки. На рис. 6 приведены амплитуды качки при $\lambda_L = 1,25$; $Fr = 0,10$ для всех типов судов из табл. 1. Обратим внимание на то, что для вертикальной качки зависимости $\tilde{a}_\zeta(h_\lambda)$ весьма близки между собой у лихтеровоза, ролкера, контейнеро-

воза и балкера в балласте. Эти результаты показывают, что основное влияние на нелинейность оказывает не тип судна, а высота надводного борта, так что при низком надводном борте раньше начинают проявляться эффекты заливания носовой оконечности, приводящие к редукции амплитуд качки. Кроме того, на особо крутых волнах с пологими подошвами и острыми гребнями имеет место общая просадка судна, что также влияет на формирование среднего смещения при вертикальной качке.

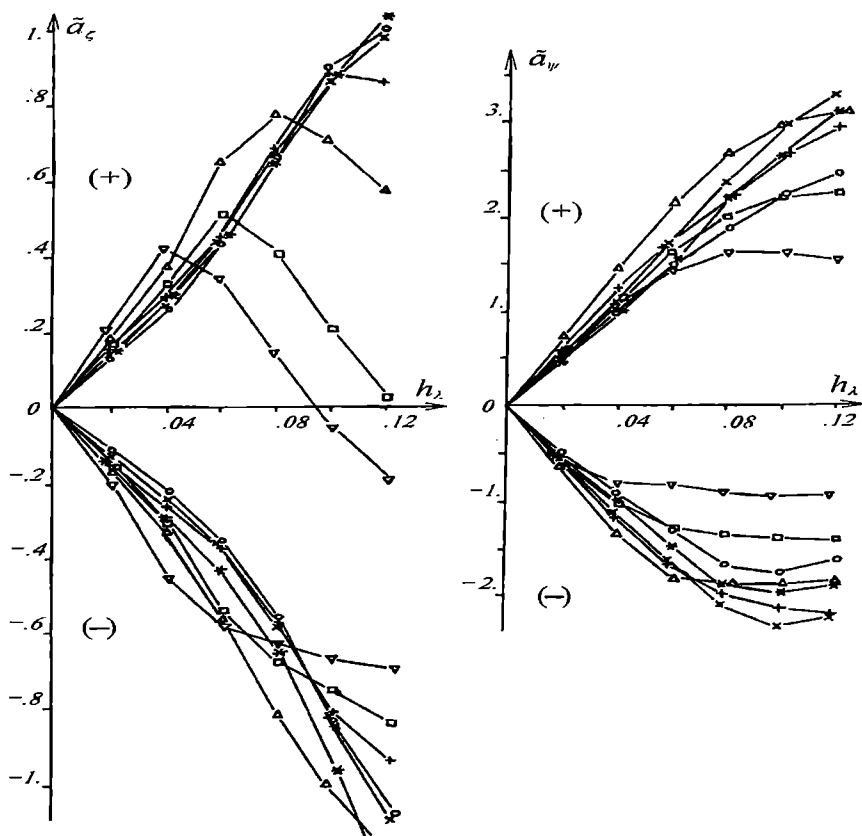


Рис. 6. Положительные (+) и отрицательные (-) амплитуды продольной качки судов различных типов при $\lambda_L = 1,25$; $Fr = 0,10$:

- ролкер (— o —);
- лихтеровоз (— x —);
- контейнеровоз (— + —);
- сухогруз (— Δ —);
- супертанкер (— □ —);
- балкер в балласте (— * —);
- балкер в грузу (— ∇ —)

Для килевой качки указанная выше группировка кривых $\tilde{a}_\zeta(h_\lambda)$,

соответствующих разным типам судов, не столь очевидна, но и здесь для судов с низким надводным бортом (супертанкер, балкер в грузу и, в меньшей степени, сухогруз) редуцирующее влияние эффекта заливания начинает проявляться более сильно и при меньшей крутизне волн (порядка 0,04).

Влияние высоты надводного борта особенно хорошо видно на рис. 7, где в сравнении показаны результаты расчетов для балкера в грузу и в балласте (осадка на миделе в два раза меньше грузовой) при изменении длины набегающих волн. Для амплитуд вертикальной качки балкера изменение загрузки при переходе от балластной к грузовой резко изменяет характер нелинейности, приводя к формированию высоких редуцирующих эффектов за счет заливания носовой оконечности корпуса. Таким же образом в килевой качке эти эффекты усиливают степень «мягкой» нелинейности с пороговыми значениями крутизны волн порядка 0,04.

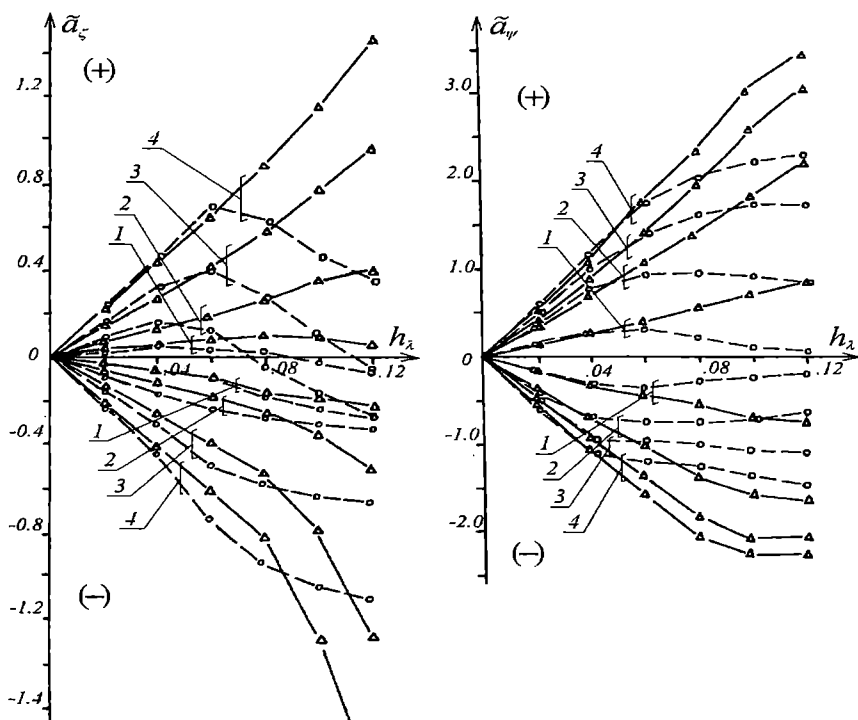


Рис. 7. Положительные (+) и отрицательные (-) амплитуды продольной качки балкера в грузу (—○—) и в балласте (—△—):

1 — $\lambda_L = 0,75$; 2 — 1,0; 3 — 1,25; 4 — 1,50 и $Fr = 0,05$

Наконец, для сухогруза были выполнены расчеты при варьировании характера распределения массы по длине корпуса для значений относительного радиуса инерции масс $2r_G/L = 0,345$ (масса преобладает в районе миделя), 0,490 (нормальное распределение массы) и 0,593 (почти равномерное распределение массы), что позволило оценить влияние этого фактора на нелинейные эффекты в продольной качке. Соответствующие результаты при $Fr = 0,13$ и $\lambda_L = 1,0; 1,25$ представлены на рис. 8. Как и следовало ожидать, перераспределение массы к оконечностям увеличивает инерционные характеристики корпуса и поэтому увеличивается интенсивность процессов продольной качки. А это, в свою очередь, приводит к появлению эффектов оголения и заливания носовой оконечности и, соответственно, к редукции амплитудных значений на волнах меньшей крутизны.

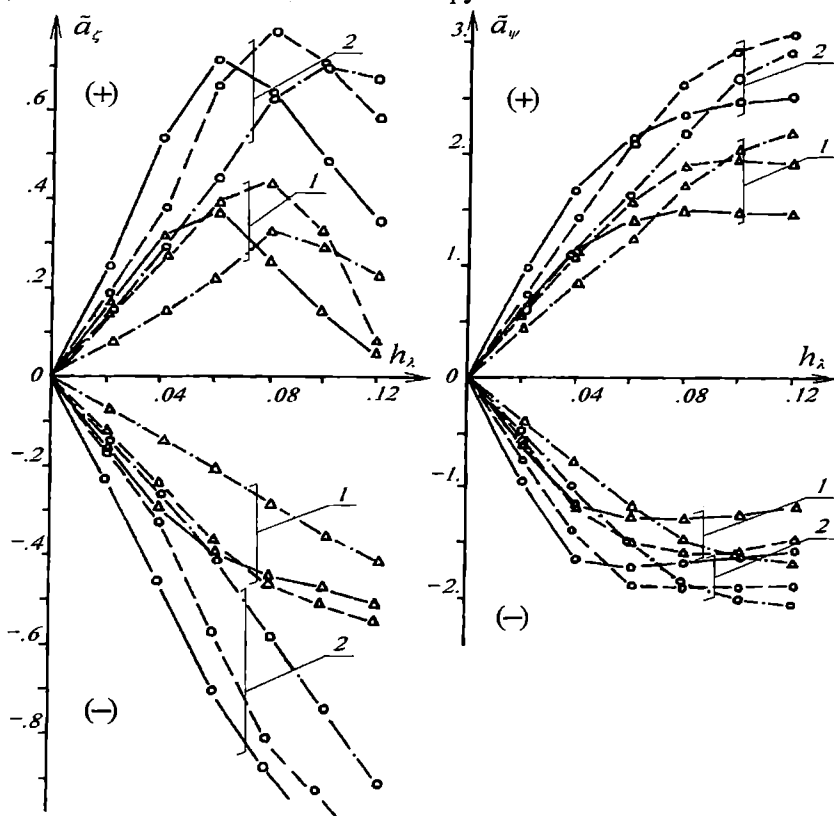


Рис. 8. Положительные (+) и отрицательные (-) амплитуды продольной качки сухогруза при варьировании распределения массы по длине корпуса: $Fr = 0,13$; 1 - $\lambda_L = 1,0$; 2 - 1,25 и $2r_G/L = 0,345$ (— · —), 0,490 (---) 0,593 (—)

В заключение отметим, что было проанализировано влияние нелинейных эффектов на фазы процессов качки (по отношению к волновому профилю на миделе судна). Оказалось, что в общем имеет место сравнительно слабое изменение фаз с увеличением крутизны волн.

Выводы

1. При малых и умеренных скоростях движения судна нелинейные эффекты в амплитудах продольной качки начинают существенно проявляться при крутизне волн 0,05-0,06 и выше в зависимости от высоты надводного борта судна, определяющей условия заливания носовой оконечности корпуса. При больших скоростях движения быстроходных судов с острыми обводами (контейнеровозы, ролкеры) нелинейные эффекты начинают проявляться уже при крутизне волн порядка 0,025-0,03.

2. Для килевой качки зависимость амплитуд от крутизны волн в основном имеет характер «мягкой» нелинейности, тогда как для амплитуд вертикальной качки в диапазоне крутизн волн 0,02-0,12 характер этой зависимости чередуется, так что поочередно проявляются слабая «мягкая», «жесткая» и снова сильная «мягкая» нелинейности, обусловленные эффектами заливания.

3. Ключевым параметром является высота надводного борта корпуса судна, поскольку даже полное судно (балкер) в балласте качается почти так же, как и судно с острыми обводами и избыточным надводным бортом. В то же время для полных судов с низким надводным бортом нелинейные эффекты в продольной качке существенно сильнее из-за эффектов заливания носовой оконечности судов данного типа.

4. При перераспределении массы судна и грузов к оконечностям корпуса интенсивность продольной качки увеличивается и, соответственно, усиливается влияние нелинейных эффектов на амплитудные значения процессов качки.

Литература

1. Крылов А.Н. *Общая теория качки корабля на волнении. Избранные труды.* – М.: Изд. АН СССР, 1958. – С. 7-92.
2. Хаскинд М.Д. *Гидродинамическая теория качки корабля.* – М.: Наука, 1973. – 327 с.
3. Ремез Ю.В. *Качка корабля.* – Л.: Судостроение, 1983. – 328 с.
4. *Principles of Naval Architecture. Volume III / Motions in Waves and Controllability // Publication by SNAME.* – N.Y., – 1989. – 429 p.
5. *Final Report on Wave Response Calculation for IACS Ship: Techn. Report OED-83014 // ABS, Ocean Engineering Division, USA.* – 1983. – 250 p.

6. *Nonlinear effects for ship motion in head seas / Yamamoto Y., Fukasawa T., Arai M., Kajita E. // Int. Shipb. Progress – 1982. – Vol. 29. № 333. – P. 118-124.*
7. *Fujino M., Yoon B.S. A practical method of estimating ship motions and wave loads in large amplitude waves / M. Fujino, D.S. Yoon // Int. Shipb. Progress – 1986. – Vol. 33, № 385. – P. 159-171.*
8. *Dynamic Loading for Structural Analysis of Fine Form Container Ship Based on Non-Linear Large Amplitude Motions and Loads Method / Shiu Y-S., Chung J.S., Lin W.M., Zhang S., Engle A. // Trans. SNAME. – 1997. – Vol. 105. – P. 127-154.*
9. *Fonseca N., Soares C.G. Time-Domain Analysis of Large-Amplitude Vertical Ship Motions and Wave Loads / N. Fonseca, C.G. Soares // J. Ship Research. – 1998. – Vol. 42. № 2. – P. 139-153.*
10. *Сердюченко А.Н. Динамика морских волн и судна в шторме с учетом нелинейных эффектов // Гидромеханика: Межвед. сборн. научн. тр. – К., 1998. – Т. 72. – С. 112-134.*
11. *Сердюченко А.М. Нелінійні коливання твердих тіл, плаваючих на хвильовій поверхні // Прикл. гідромеханіка. – 2001. – Т. 3(75). – № 4. – С. 65-83.*
12. *Сердюченко А.Н. Нелинейные эффекты в расчетах АЧХ продольной качки и изгибающих моментов корпусов судов на волнах конечной амплитуды // Труды второй межд. конф. по судостр. / Секция С (ISC'98). – СПб.: ЦНИИ им. Крылова. – 1998. – С. 262-269.*

Надійшла 19.01.06

ОСТАТОЧНАЯ ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА В РАСЧЕТАХ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ БОРЬБЫ ЗА ЖИВУЧЕСТЬ. КРИТЕРИИ И ПРИМЕРЫ

Изложены условия остаточной общей прочности в форме критерия предельной пластической прочности с учетом изменения внешней нагрузки и снижения несущей способности корпуса в аварийной ситуации. Предлагается вариант критерия для использования в оперативных условиях. Сформулированы требования к предельным длинам отсеков по условиям аварийной прочности. Приведено подробное описание борьбы за живучесть четырех судов, когда требования прочности являлись определяющими.

Ключевые слова: *остаточная прочность корпуса, непотопляемость, борьба за живучесть, предельная длина отсеков.*

Живучесть в соответствии с [1] принято представлять как свойство корпуса судна сохранять или восстанавливать в достаточной мере свои эксплуатационные качества после аварийного изменения нагрузки и несущей способности корпуса, а также после выхода из строя технических средств. При этом под непотопляемостью понимается живучесть при нарушении водонепроницаемости корпуса и затоплении части отсеков.

До настоящего времени требования Регистра судоходства Украины и других классификационных обществ к непотопляемости судов регламентируют обеспечение аварийной плавучести и остойчивость поврежденных судов (навалочников, танкеров, химовозов, газовозов, пассажирских судов, а также сухогрузных судов длиной более 80 м и ряда других типов) при достаточно больших расчетных размерах повреждений.

В соответствии со статистическими данными [1] глубина и длина нормативных пробоин достаточно близки к средним значениям.

В процессе проектирования судов эти требования учитываются при делении корпуса на отсеки, когда наибольшими оказываются длины отсеков в средней части, а наименьшими – в районах, близких к оконечностям.

В процессе эксплуатации судов нормативы аварийной посадки и остойчивости проверяются с помощью «Информаций об аварийной посадке и остойчивости» и судовых программ расчета непотопляемости и борьбы за живучесть.

Исходя из фактических размеров повреждений и изменения нагрузки судна из-за поступления забортной воды, можно утверждать, что в число последствий аварий необходимо включать существенное уменьшение общей прочности. Целью настоящей статьи является формулировка критерия аварийной прочности и проверка действия его на ряде реальных примеров.

Следует учитывать, что пробоины не являются единственными повреждениями корпуса в результате посадки на мель, столкновений или взрывов. Согласно [2] отношение площади пробоины к площади поврежденной части корпуса составляет в среднем 0,127, причем для расчетов автором предлагалась величина 0,5.

Имеющаяся статистика аварийных повреждений корпусов судов из работы [1] подтверждает эти выводы.

Собственно пробоина занимает относительно небольшое пространство в сравнении с зоной трещин, разрывов, деформаций обшивки и набора, что самым непосредственным образом влияет на работу попавших в эту зону связей за счет физической потери их площади, уменьшения присоединенного пояска и протяженности по длине, заваливания и сильных остаточных деформаций балок, изменения условий опирания, снижения устойчивости. Возникает так называемый эффект «тени», т.к. поврежденный участок оставляет за собой зону из физически неповрежденных продольных связей, не участвующих или частично участвующих в общем изгибе при сильных деформациях и разрушении борта, поперечных переборок, рамных поперечных связей, чем нарушается взаимодействие крайних поясков «эквивалентного» бруса корпуса судна.

Условие обеспечения предельной пластической прочности поврежденного судна в сечении с абсциссой x_i можно представить в виде

$$\mu(M_{ТВ}^0(x_i) + \Delta M_{ТВ}(x_i)) + M_{ВОЛН}(x_i) \leq (W_{\min}^0 - \Delta W) \varphi_{Пл} \varepsilon \sigma_T^H, \quad (1)$$

где $\varphi_{Пл}$, ε – редуцированные коэффициенты, учитывающие соответственно начальную погибь, устойчивость оставшихся продольных связей и влияние нескольких силовых факторов, включая бимомент; $M_{ВОЛН}(x_i)$ – максимальное значение волнового момента на трассе кратковременного перехода (буксировки) в ближайший порт-убежище; $W_{\min}^0 - \Delta W$ – минимальный момент сопротивления корпуса после повреждения; $M_{ТВ}^0 + \Delta M_{ТВ}$ – изгибающий момент в сечении x_i на тихой воде с учетом аварийного изменения нагрузки; μ – коэффициент уменьшения изгибающего момента при значительных потерях жесткости; величины с индексом «0» относятся к неповрежденному состоянию судна.

Используя подробный анализ аварий судов норвежского флота за 1970-1978 г. и судов японского флота за 1965-1974 г., М.Н. Александров

[2] отметил, что наибольшее число аварий происходит при хорошей и удовлетворительной погоде; при слабом ветре и состоянии моря от спокойного до среднего. В [3] также было отмечено, что аварии обычно происходят при относительно благоприятном состоянии моря (волны и ветер менее 5 баллов).

Однако подобные выводы можно сделать при оценке аварийных ситуаций. Если рассматривать только катастрофы морских судов, то удельная значимость погодных условий возрастает. Так, согласно [4], в 1987 году из 43 потерянных при посадке на мель судов 18 погибли в шторм.

Согласно данным [3] всего лишь 14,5% аварий происходит в открытом море, остальные в портах, каналах, реках и прибрежной (12-мильной) зоне, т. е. в районах повышенной интенсивности судоходства. Конечно, посадки на мель и касание грунта происходят только на мелководье. Но столкновение с судами и иными плавающими объектами довольно часты в открытом море (9 из 31 случая в 1987 году произошли именно там). При этом, как отмечалось в [5], именно в открытом море, когда скорости движения судов повышены, результаты столкновений наиболее катастрофичны.

В аварийной статистике совершенно не учитывается последующая буксировка поврежденного судна до ближайшего порта-убежища, а затем и к месту ремонта. Так, танкер «Eххон Valdez», севший на риф у берегов Аляски, был после снятия отбуксирован в п. Сан-Диего на расстояние 2200 миль, рудовоз «Smederevo» после получения пробоины у берегов Чили – на Дальний Восток на расстояние 10 тысяч миль.

Таким образом, при расчетах волновых нагрузок для рассматриваемой ситуации следует учитывать, что судно движется (или его буксируют) с достаточно малой скоростью (5-6 узлов); продолжительность нахождения судна в данном состоянии относительно невелика в сравнении со сроком службы (от нескольких часов до месяца); во время буксировки выбираются более мягкие для поврежденного корпуса условия и курсы.

Расчетные волновые нагрузки можно определять из условия наиболее тяжелого стационарного режима волнения в период следования к ближайшему порту-убежищу

$$M_{\text{волн}}(x_i) = \Gamma_R \sigma_{\text{sw}} \varphi(x),$$

где $\Gamma_R = \sqrt{2 \ln N}$ – характеристика безопасности; $N = T : T_E$ – относительная продолжительность стационарного режима; T – длительность стационарного режима (не более 2 суток); $T_E = 0,8 \bar{L}$ – эффективный период волнения; $\sigma_{\text{sw}} = 1,025 h_{3\%} K_A X_0 X_1 U_M B L^2$ – стандарт волнового момента; $K_A = 0,60\alpha - 0,1$ – коэффициент «статической постановки» на

волну; $X_0 = \left(1,3 - 2 \frac{B}{L}\right) \left(0,65 - 2,1 \frac{d}{L}\right)$ – гидродинамический коэффициент; $X_1 = 1,2 - 0,3\alpha - (3 + 20Fr) \cdot 0,02 + (4,2 - 4\alpha)Fr$ – коэффициент влияния скорости; $U_M = 0,15$ – коэффициент «настройки»; $\varphi(x)$ – коэффициент положения (для миделя принимается равным 1).

Величины изгибающих моментов на тихой воде можно получить прямым расчетом, оценить с помощью единичных эпюр или линий влияния, в зависимости от степени полноты и достоверности исходных данных.

Вместо выражения $(W_{\min} - \Delta W) \varphi_{\text{пл}} \epsilon \sigma_T^H$, используя результаты [1], можно принять $\frac{W_{\min} K_{\sigma} \sigma_T^H}{K_{\Delta} K_{\text{вн}} K_{\theta}}$, где K_{σ} – коэффициент запаса; K_{Δ} – коэффициент, учитывающий возрастание нормальных напряжений из-за потери части продольных связей и состояния косоугольного изгиба; $K_{\text{вн}}$ – коэффициент возрастания напряжений в сильноповрежденных сечениях открытого типа из-за бимоментов; K_{θ} – коэффициент возрастания нормальных напряжений при статическом крене.

Полагая $K_{\sigma} = 0,8$ и $\mu = 1,0$ (как это принято для разовых переговоров судов) формулу (1) перепишем в виде

$$\frac{M_{\text{ТВ}}(x_i) + M_{\text{ВОЛН}}(x_i)}{W_{\min}^0} \leq \frac{0,8}{K_{\Delta} K_{\text{вн}} K_{\theta}} \sigma_T^H \quad (2)$$

Формулу (2) целесообразно принять в качестве дополнительной характеристики живучести поврежденного судна наряду с аварийной посадкой и остойчивостью на всех стадиях оценки живучести, включая проектные расчеты, обоснование мер по борьбе за живучесть, обоснование аварийно-спасательных работ.

Значения коэффициента K_{Δ} для среднестатистических повреждений и типовых сечений корпусов судов приведены в [1].

Для оперативных действий следует рекомендовать экипажу и специалистам-спасателям вырезать пластины с трещинами, дабы не дать им развиться, и выравнять края рваных пробоин с целью снижения коэффициента концентрации. Связи, попавшие в оставшуюся зону повреждений, из расчетов несущей способности следует исключить, что приведет к ошибке в безопасную сторону, но позволит значительно быстрее оценить остаточную прочность корпуса.

Учитывая, что аварии часто происходят близко от порта, полагаем $M_{\text{ВОЛН}} = 0$. В этом случае (2) достаточно просто выполнить при не очень

больших повреждениях за счет активного изменения $\Delta M_{ТВ}(x_i)$ с помощью балластировки [6, 7]. При этом принципиальную роль играют оценки допускаемой величины изгибающего момента на тихой воде

$$[M_{ТВ}(x_i)] = 0,8 \cdot (K_{\Delta} K_{Ві} K_{\theta}) \cdot \sigma_T^H \cdot W_{\min}^0 - M_{\text{волн}}. \quad (3)$$

Например, суммарный коэффициент запаса при $\sigma_T K_{зан} = 0,8 K_{\Delta} K_{Ві} K_{\theta}$ для типовых повреждений балкеров при столкновениях составляют 0,20, что примерно в 1,5 раза меньше, чем для неповрежденного судна.

Считая, что в поврежденный отсек с абсциссой ЦТ x_i может влиться вода массой $\Delta P = 1,025 \mu_{ГР} \mu_{ТР} \mu_{КОН} B(x_i) T(x_i) \ell(x_i)$, где $\mu_{ГР}$ – коэффициент проницаемости груза; $\mu_{КОН}$ – коэффициент проницаемости отсека, учитывающий наличие поврежденных двойных бортов, двойного дна, подпалубных цистерн; $T(x_i)$ – аварийная осадка, определяемая после затопления отсека в сечении x_i ; $B(x_i)$ – ширина отсека; $\ell(x_i)$ – длина отсека; $\overline{M}_{O_i}(\alpha, X_F, \text{форма ВЛ})$ – относительная ордината эпюры изгибающего момента, и, учитывая графики максимумов единичных эпюр изгибающих моментов из [8], сформулируем новые требования к предельной длине отсека по критерию аварийной остаточной прочности

$$\frac{l(x_i)}{L} = \frac{10}{(\mu_{ГР} \mu_{ТР} \mu_{КОН} B(x_i) T(x_i) \overline{M}_{O_i} L^2) ([M_{ТВ}] - M_{ТВ})}. \quad (4)$$

В соответствии с (4) вопреки традиционному подходу с позиций предельной линии погружения допускаемые длины отсеков оказываются минимальными в средней части, а максимальными в оконечностях.

Таким образом при назначении длин отсеков следует учитывать условие (4) наряду с традиционными кривыми предельных длин отсеков.

Обобщенную оценку степени опасности любых случаев затопления судов можно получить из условия

$$\Delta M_{ТВ} \leq [M_{ТВ}] - [M_{ТВ}]_0, \quad \Delta N_{ТВ} \leq [N_{ТВ}] - [N_{ТВ}]_0. \quad (5)$$

где принято, что исходные усилия на тихой воде равны допускаемым при нормальной эксплуатации. Величины в квадратных скобках без индексов – допускаемые для аварийных ситуаций согласно (3).

Для анализа критерия остаточной общей прочности (2) приведем описания процесса борьбы за живучесть в нескольких аварийных ситуациях.

1. 16 сентября 1986 года северокорейский сухогруз «Мун Док» ($L \times B \times H = 156,55 \text{ м} \times 20,4 \text{ м} \times 12,8 \text{ м}$) с грузом 11439 т кокса (исходные осадки носом 8,5 м и кормой 9,3 м), следуя Баб-Эль-Мандебским проливом со скоростью 10,2 узла, столкнулся с танкером «Лубны», который своим форштевнем ударил его в левый борт в районе трюма № 2. Аварийное судно проследовало на выход из пролива в Аденский залив и село носовой оконечностью на береговую отмель с отдачей правого якоря (рис. 1).

17 сентября к аварийному судну прибыл ледокол-спасатель «Афанасий Никитин». Данные обследования сухогруза «Мун Док»: осадка носом – 12,5 м, осадка кормой – 7,2 м, дифферент – 5,3 м; трюма № 1, № 2 затоплены, груз в трюмах № 1, № 2 под водой; пробоина в левом борту в районе трюма № 2 (шп. 131-148) от ОП до верхней палубы длиной 12 м, ее площадь приблизительно равна 132 м^2 ; часть груза из трюма в твиндеке № 2 высыпалась в море; танки двойного дна левого борта под трюмом № 2 затоплены.

За счет затопления наибольший изгибающий момент с 268000 кНм вырос до 352000 кНм (в аварийной зоне составил 159000 кНм). Проведем проверку общей прочности судна с учетом коэффициента роста нормальных напряжений для подобного конструктивного типа судов и типового повреждения после столкновения, учитывая влияние бимоента $K_{\Delta} \cdot K_{\text{вн}} = 2,39 \cdot 2,3 = 5,50$:

- для миделя

$$\frac{M_{\text{тв}}}{W_{\text{min}}^0} = \frac{352000}{4,46 \cdot 10^{-3}} = 78,9 \text{ мПа} < 0,8 \cdot 240 = 192 \text{ мПа};$$

- для аварийной зоны (трюм 2)

$$\frac{M_{\text{тв}}}{W_{\text{min}}^0} = \frac{159000}{3,40 \cdot 10^{-3}} = 46,7 \text{ мПа} > 0,8 \cdot \frac{240}{5,50} = 34,9 \text{ мПа}.$$

Правильно оценив обстановку и степень опасности, угрожавшей аварийному судну, спасатели провели комплекс аварийно-спасательных работ, включавший заделку пробоин между трюмами, подкрепление переборок и откачку воды из трюма № 1. После полного осушения трюма № 1 судно «Мун Док» имело осадку $T_{\text{н}} = 10,4 \text{ м}$, $T_{\text{к}} = 8,6 \text{ м}$, дифферент – 1,8 м. Благодаря этому изгибающий момент в опасном сечении уменьшился до 124000 кНм, что снизило действующие нормальные напряжения на 30% примерно до допускаемого уровня

$$\frac{M_{\text{тв}}}{W_{\text{min}}^0} = \frac{124000}{3,40 \cdot 10^{-3}} = 36,5 \text{ мПа} \approx 0,8 \cdot \frac{240}{5,50} = 34,90 \text{ мПа}.$$

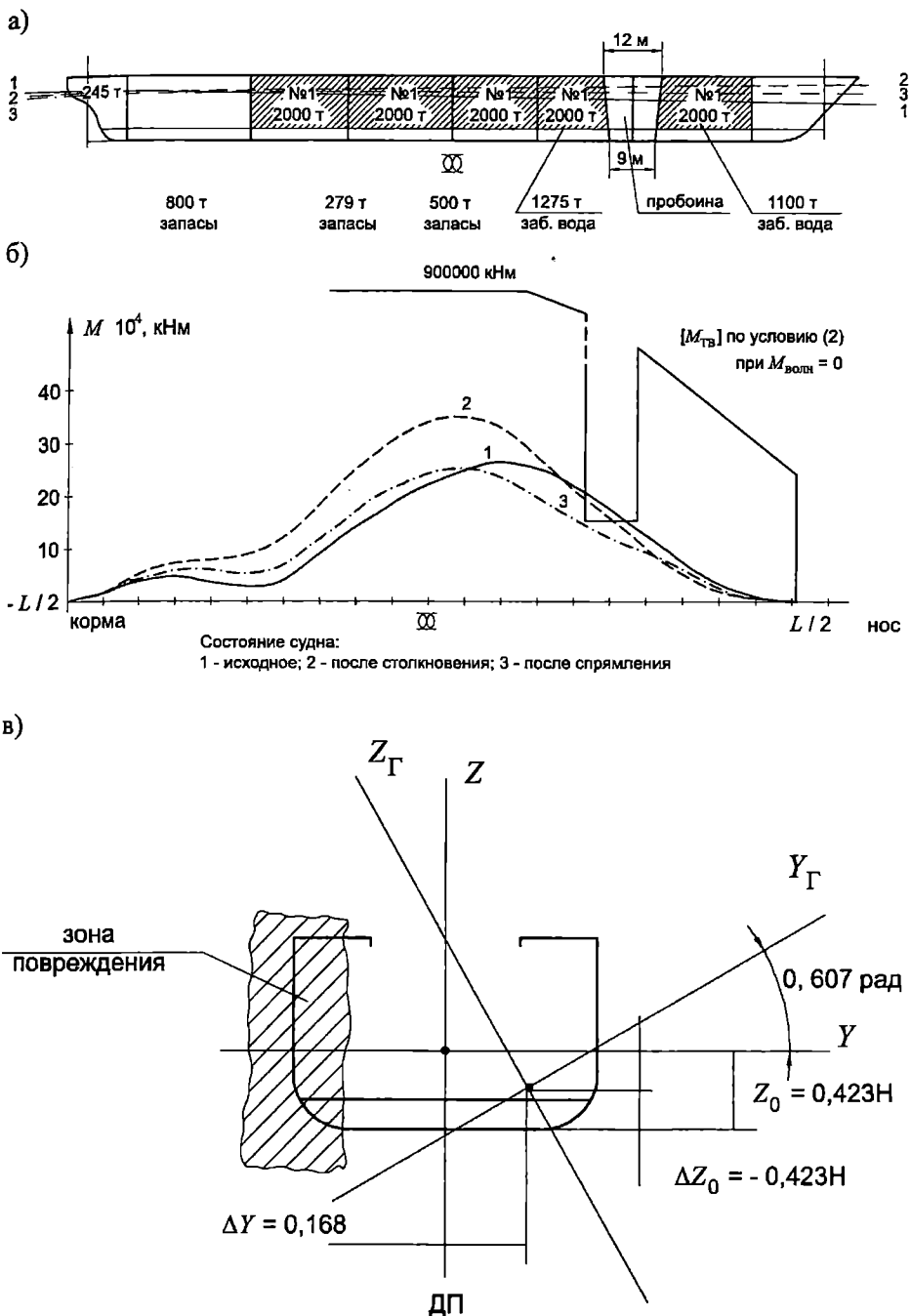


Рис. 1. Удифферентовка и аварийная прочность универсального сухогруза «Мун Док» после столкновения с танкером «Лубны»:
 а) схема судна с повреждением;
 б) эпюра изгибающих моментов;
 в) поперечное сечение

В результате проведенных работ аварийное судно получило достаточную плавучесть, остойчивость и прочность для следования в порт Аден в сопровождении спасателя.

2. 9 декабря 1987 года сухогруз СМП «Профессор Владимир Попов» ($L \times B \times H = 116,8 \text{ м} \times 16,4 \text{ м} \times 7,5 \text{ м}$) с грузом 2000 т. листовой стали и 2500 т поливинилхлорида в мешках (исходные осадки носом 5,35 м и кормой 5,60 м), следуя на якорное место порта Порт-Саид со скоростью 2,5 узла, столкнулся с китайским судном – Daye Tientcin, который своим форштевнем ударил его в правый борт в районе поперечной переборки шп. 78 между трюмами № 2 и № 3. По данным водолазного осмотра пробоина в подводной части размером $3 \times 5 \text{ м}$. Судно приняло в трюма № 2 и № 3 1300 т. забортной воды, крен составил 11 градусов. Изгибающий момент в районе шп. 78 вырос более чем в 6 раз от исходной величины 18200 кНм до значения 113800 кНм. При этом влияние потери части продольных связей оказалось не очень большим даже с учетом наличия большого крена – коэффициент $K_{\Delta} K_{\theta} \approx 1,31$

$$\frac{M_{\text{тв}}}{W_{\text{min}}^0} = \frac{113800}{2,23 \cdot 10^{-3}} = 51,0 \text{ мПа} < 0,8 \cdot \frac{290}{1,31} = 177,1 \text{ мПа} .$$

Для исправления крена было принято 800 т воды в бортовые танки левого борта в районе затопленных трюмов. Крен уменьшился до 4 градусов. Осадка составила 6.95 м практически без дифферента, при этом увеличился изгибающий момент в опасном сечении до 174800 кНм, а коэффициент роста нормальных напряжений K_{Δ} упал до 1,16

$$\frac{M_{\text{тв}}}{W_{\text{min}}^0} = \frac{174800}{2,23 \cdot 10^{-3}} = 78,0 \text{ мПа} < 0,8 \cdot \frac{290}{1,16} = 200,0 \text{ мПа} .$$

Затем была произведена выгрузка груза из трюмов № 1, № 4 на баржи. Крен составил 3 градуса. Судно подвели к причалу для дальнейшего осмотра и ремонта. Изгибающий момент в районе шп. 78 вырос до 241000 кНм и соответственно

$$\frac{M_{\text{тв}}}{W_{\text{min}}^0} = \frac{241000}{2,23 \cdot 10^{-3}} = 108,0 \text{ мПа} < 0,8 \cdot \frac{290}{1,16} = 200,0 \text{ мПа} .$$

Анализ этой аварии весьма поучителен с позиций активного управления усилиями на тихой воде, т.к. на этапе спрямления действия экипажа полностью определялись борьбой с креном, что привело к росту изгибающего момента в опасном сечении на 53% и могло иметь катастрофические последствия в случае штормовой погоды или более значительного прогибающего момента в исходном состоянии загрузки.

Следует отметить, что на этапе разгрузки к процессу аварийно-спасательных работ были подключены специалисты экспедиционного отряда АСПТР ЧМП, которые провели оценку общей прочности аварийного судна и дали обоснованный прогноз ситуации при выгрузке (рис. 2).

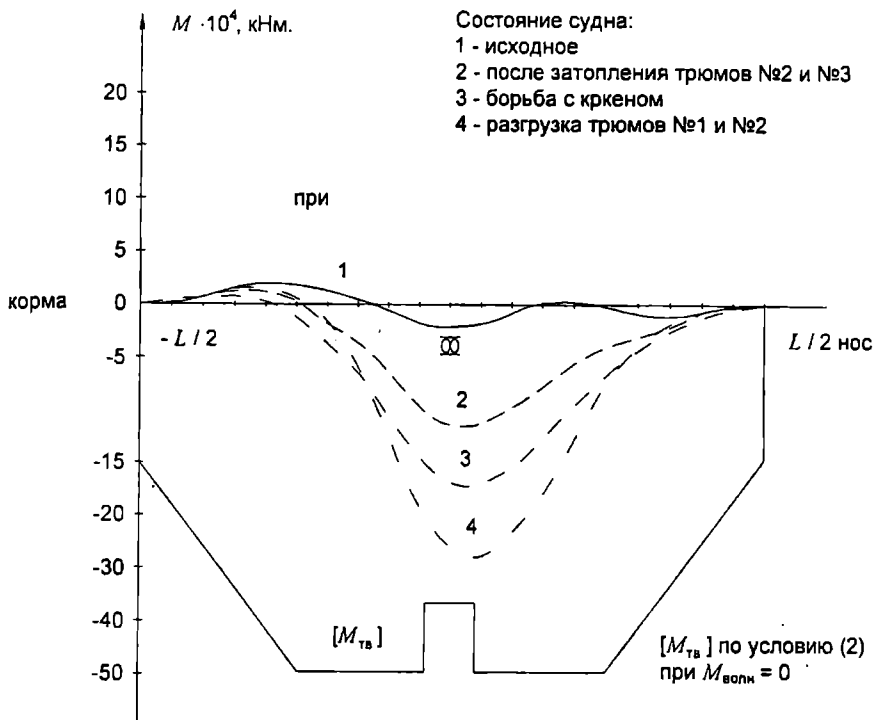


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов для сухогруза «Профессор В. Попов» после столкновения с *Daye Tientcin*

3. 12 мая 1990 года сухогруз УДП «Андрей Кижеватов» ($L \times B \times H = 117 \text{ м} \times 15,0 \text{ м} \times 6,5 \text{ м}$) с грузом 1060 т стали в рулонах, следуя из Текирдага в Стамбул в Мраморном море со скоростью 9,0 узлов, столкнулся при расхождении с встречным ролкером «Тузла» (Румыния), который своим форштевнем ударил его в левый борт в районе шп. 72 трюма № 2.

В результате столкновения судно приняло 810 т забортной воды. Крен составил 10 градусов. После спрямления судно было отбуксировано на верфь в п. Стамбул.

Осмотр в доке показал, что пробоина и сопутствующие повреждения захватили половину поперечного сечения корпуса «Андрея Кижеватова»: разрушена палуба бака по всей высоте в районе 64-80 шп., днищевые конструкции до ДП в районе 65-72 шп., продольная переборка между трюмом № 2 и сухим бортовым отсеком правого борта в районе 56-78 шп., деформирована верхняя палуба в районе 56-78 шп. на всю ши-

рину прохода между комингсом грузового люка и бортом с частичным разрушением палубного стрингера в районе 64-75 шп., деформирован в направлении к ДП судна комингс трюма с максимальной стрелкой прогиба 500 мм. За счет выхода из строя продольных связей, косоугольного изгиба и влияния бимоментов наибольшие нормальные напряжения в верхнем пояске выросли в $K_{\Delta} \times K_{\theta} \times K_{B_i} = 1,47 \times 1,15 \times 2,40 = 4,06$ раз, в днище у левого борта – в $K_{\Delta} \times K_{\theta} = 3,122 \times 1,15 = 4,40$ раз, в днище в ДП – в $K_{\Delta} \times K_{\theta} \times K_{B_i} = 3,22 \times 1,15 \times 2,40 = 8,89$ раз в сравнении с наибольшими напряжениями, действовавшими в верхней палубе неповрежденного судна.

Изгибающий момент в зоне пробоины вырос с исходного 5080 кНм до 40400 кНм, при допуске для неповрежденного корпуса 107590 кНм. Благодаря столь малой величине усилий в поврежденном сечении и отсутствию волновой компоненты условие общей прочности было соблюдено

$$\frac{M_{TB}}{W_{min}^0} = \frac{171200}{1,97 \cdot 10^{-3}} = 86,9 \text{ мПа} < 0,8 \cdot \frac{290}{8,89} = 26,1 \text{ мПа}.$$

Анализ ситуации показывает, что при иной нагрузке, например, при загрузке того же груза – стали в рулонах в трюма № 2 и № 4 по грузовую марку (рекомендованный вариант размещения из «Инструкции о загрузке») масса влившейся забортной воды составила бы 1116 т, наибольший изгибающий момент в опасном сечении равнялся 171200 кНм. При этом условие общей прочности не выполняется

$$\frac{M_{TB}}{W_{min}^0} = \frac{171200}{1,97 \cdot 10^{-3}} = 86,9 \text{ мПа} < 0,8 \cdot \frac{290}{8,89} = 26,1 \text{ мПа}.$$

Ситуация еще более усугубилась традиционной схемой спрямления – приемом балласта с левого борта трюма № 2, который привел к росту момента до 184700 кНм. Несмотря на некоторое уменьшение $K_{\Delta} \times K_{B_i} = 3,22 \times 2,40 = 7,73$ условие (2) не удовлетворено

$$\frac{M_{TB}}{W_{min}^0} = \frac{184700}{1,97 \cdot 10^{-3}} = 95,2 \text{ мПа} < 0,8 \cdot \frac{290}{7,73} = 30,1 \text{ мПа}.$$

Расчет спрямления с учетом условия (2) для варианта полной загрузки судна позволяет уменьшить изгибающий момент до 160200 кНм, но в силу малого запаса плавучести не позволяет решить проблему полностью

$$\frac{M_{\text{тр}}}{W_{\text{min}}^0} = \frac{160200}{1,97 \cdot 10^{-3}} = 81,3 \text{ мПа} < 0,8 \cdot \frac{290}{7,73} = 30,1 \text{ мПа} .$$

Для рассматриваемого реального затопления судна методики из работы [6] позволяют найти оптимальное спрямление, уменьшающее крен, дифферент и смягчающее выполнение требований общей прочности (изгибающий момент в поврежденном сечении уменьшается до 13930 кНм.) и создающее нормальные условия для буксировки (рис. 3).

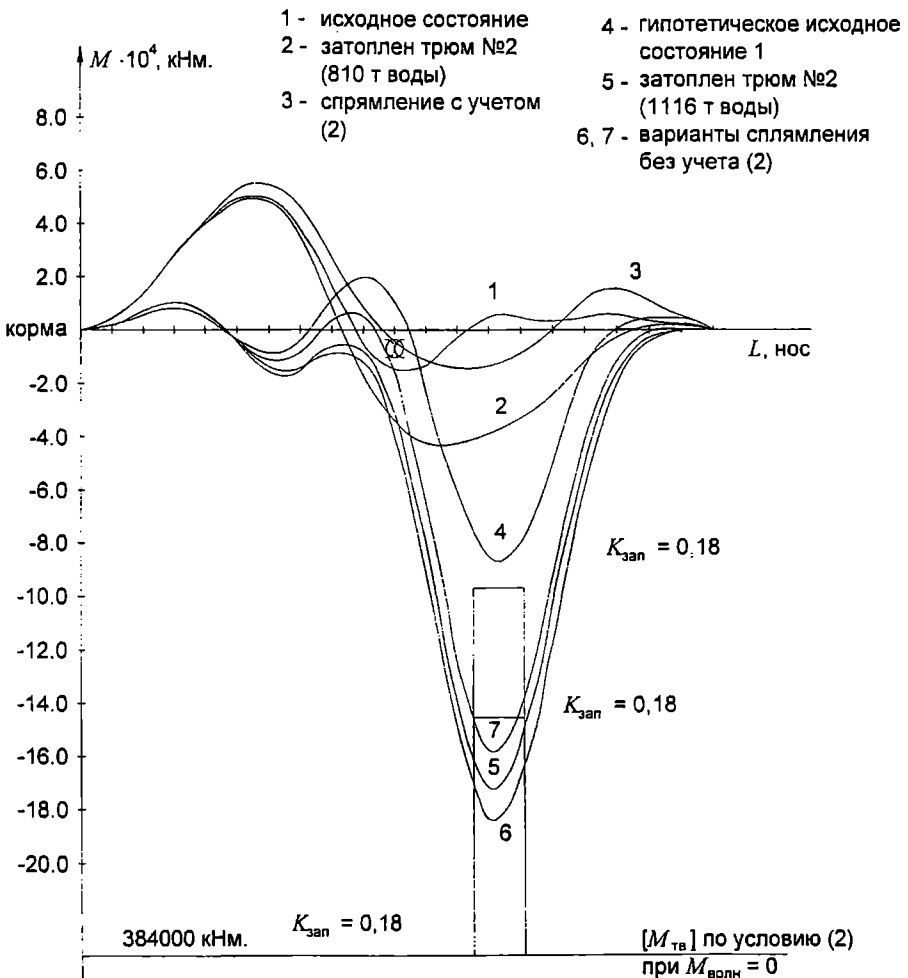
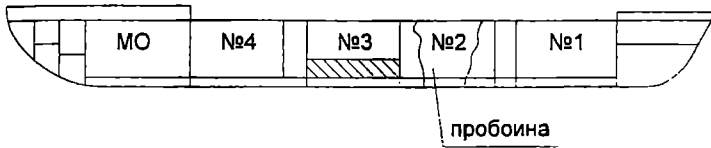


Рис. 3. Анализ общей прочности сухогруза «Андрей Кижеватов» после столкновения

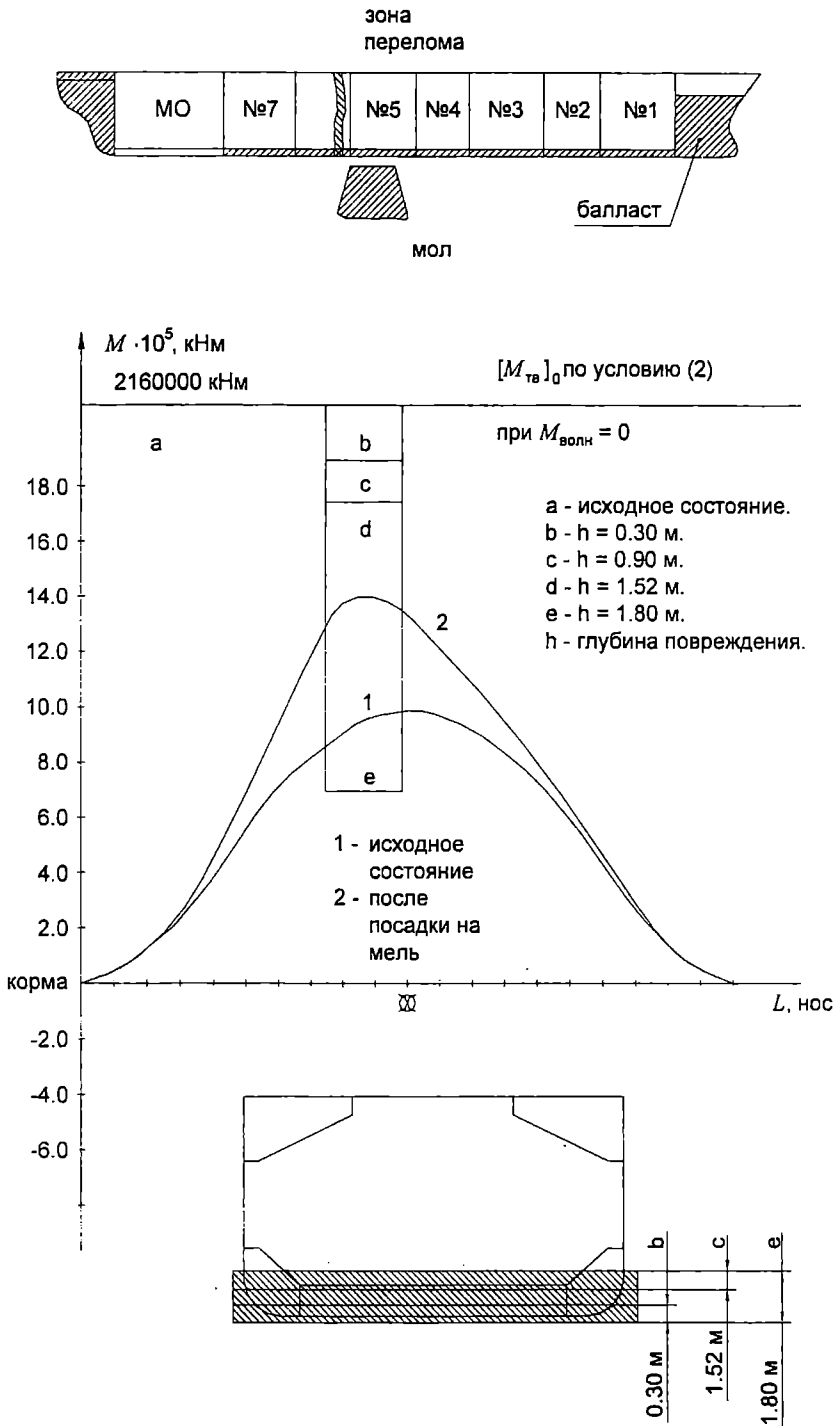


Рис. 4. Анализ перелома корпуса балкера «Вихрен» после посадки на мель

4. 19 Февраля 1992 года болгарский балкер «Вихрен» (типа «Художник Моор», проект 584, $L \times B \times H \times d = 171,56 \times 22,8 \times 14,15 \times 22,8 \times 10,10$ м. построен в 1981 г., состояние корпуса хорошее) был выкинут штормом на каменный мол недалеко от створа порта Туапсе.

В связи со срочной необходимостью покинуть порт, судно успело принять только 5000 т балласта и имело сильный перегиб (эпюры изгибающих моментов приведены на рис. 4, наибольший изгибающий момент $M_{тв}$ равен 968700 кНм.). Реакция мола, приложенная в районе 120-140 шп, усилила прогиб, максимальный изгибающий момент $M_{тв}$ составил 1405000 кНм, $M_{тв}$ в районе действия реакции – 1370000 кНм. При посадке на мель вышли из строя днищевые продольные связи. Волнение с наибольшими высотами волн до 5.5 м и значительный перегиб усилили повреждения – были деформированы продольные связи второго дна.

Исходный минимальный момент сопротивления корпуса по палубе составлял 9.96 м^3 . При глубине повреждений $h = 0,30$ м момент сопротивления днища составил 8.39 м^3 , при глубине повреждений $h = 0,90$ м – $7,53 \text{ м}^3$, а при глубине повреждений $h = 1,52$ м составил $6,87 \text{ м}^3$. Наконец, при полном выходе их строя двойного дна произошло падение момента сопротивления до величины $3,16 \text{ м}^3$. При этом коэффициент роста нормальных напряжений составлял 1,19; 1,32; 1,45 соответственно и в итоге

$$\frac{M_{тв}}{W_{\min}^0} = \frac{1370000}{9,56 \cdot 10^{-3}} = 137,6 \text{ мПа} > 0,8 \cdot \frac{290}{3,15} = 73,7 \text{ мПа}.$$

Обращает на себя внимание тот факт, что условие достаточной прочности (2) выполнялось до момента выхода из строя второго дна. Именно после этого процесс разрушения корпуса резко ускорился и судно переломилось в районе 140 шп. (трюм № 6). Уменьшение изгибающего момента за счет зоны пониженной жесткости (остаточная жесткость сечения после потери двойного дна составила 33% от первоначальной на длине около 2 шпаций, фактор $A = 4$) было практически незаметным ($\approx 1\%$) и никакого влияния на процесс разрушения не оказало.

Анализ подобных реальных и гипотетических аварий морских судов позволяет отметить некоторые принципиальные особенности:

1. Затопление носовых трюмов в силу повышенного коррозионного износа под воздействием волновых нагрузок через трещины и вырванные участки бортовой обшивки только с позиций усилий на тихой воде опасности не представляют. Однако при этом отмечается значительный рост изгибающих моментов в средней части корпуса (до 40-80% $[M_{тв}]_0$) и перерезывающих сил в районе оконечности (до 30-60% $[N_{тв}]_0$), что во

взаимодействии с динамическими факторами и недостатками конструкции может привести к потере прочности.

2. Затопление грузовых трюмов крупнотоннажных судов в средней части (особенно пустых) приводит к значительному увеличению, а иногда и к изменению знака изгибающего момента на тихой воде. При этом посадка и остойчивость остаются, как правило, удовлетворительными. Часто такие варианты затопления даже не рассматриваются как наименее опасные в традиционных представлениях в «Информации о непотопляемости». Учет условий обеспечения прочности (2) принципиально меняет ситуацию. При исходном предельном для эксплуатации прогибе подобное затопление может быть опасно даже на тихой воде.

3. При посадках на мель условие обеспечения прочности выполняется, как правило, до момента выхода из строя связей второго дна.

4. Наиболее опасными являются ситуации, когда зоны наибольших усилий на тихой воде и зоны повреждений корпуса совпадают. Для столкновений – это пробоина в средней части при исходном состоянии прогиба, для посадок на мель – приложение реакции грунта в средней части корпуса при исходном перегибе.

5. Наиболее опасными с позиций аварийной прочности являются случаи чередующейся и неравномерной загрузки судов, когда с одной стороны велика исходная осадка, а с другой – имеются большие пустые объемы в отсеках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Г.В. *Разработка методов оптимизации прочностных решений при эксплуатации судов: Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук.* – Одесса: ОИИМФ, 1993. – 431 с.
2. Александров М.Н. *Безопасность человека на море.* – Л.: Судостроение, 1983. – 206 с.
3. Юнтер А.Д. *Повреждения и ремонт корпусов морских судов.* – М.: Транспорт, 1973. – 216 с.
4. *Casualty return 1987.* – *Lloyd's Register of shipping.* – London, 1988.
5. Юдович А.Б. *Столкновения морских судов, их причины и предупреждение.* – М.: Транспорт, 1972. – 112 с.
6. Егоров Г.В. *Автоматизированный расчет спрямления поврежденного судна на бортовой ПЭВМ // Современные проблемы судостроения и судоремонта: Сб. трудов ОИИМФ.* – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1990. – С. 26-30.
7. Егоров Г.В. *Автоматизированный расчет разгрузки крупнотоннажного судна, севшего на мель // Судостроение и судоремонт: Сб. трудов ОИИМФ.* – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1992. – С. 15-20.

8. *Егоров Г.В. Определение элементов изгиба корпуса судна с применением единичных эпюр // Проблемы техники. – 2005. – № 1. – С. 3-14.*

Надійшла 05.01.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ВНУТРЕННИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ОТКРЫТЫХ ПАЛУБ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

В статье описываются способы определения вместимости и площадей внутренних помещений и открытых палуб пассажирских судов внутреннего и смешанного плавания (ПСВСП) на начальных стадиях проектирования, в зависимости от проектного коэффициента комфортабельности судна.

Ключевые слова: Пассажирские суда, проектирование, определение площадей внутренних помещений и открытых палуб, категория комфортабельности.

При проектировании современных пассажирских судов внутреннего и смешанного плавания (ПСВСП) все большее внимание уделяется рационализации архитектурно-планировочных решений и, прежде всего, корректному соотношению площадей разнофункциональных помещений в составе всего судна в целом. При круизной форме обслуживания пассажиров сбалансированность распределения площадей основных групп помещений является одним из важнейших признаков общего уровня комфортабельности судна и его коммерческого успеха на рынке [2].

Серии судов пополнявших отечественный речной круизный флот характеризуются неоптимальными соотношениями площадей разных групп помещений и открытых палуб [1]. Это является одним из факторов несоответствия цены и качества туристического продукта и приводит к необоснованному подорожанию круизного продукта.

С целью установления рациональных диапазонов площадей жилых, общественных, машинных и других помещений, а также открытых палуб в общей площади всего судна, отражающих сегодняшние тенденции в проектировании ПСВСП, была исследована структура архитектурно-планировочных решений современных ПСВСП работающих на внутренних водных путях Европы и в смешанном сообщении «река-море» постройки последних 10 лет. Существующие методики проектирования пассажирских судов [3] практически не учитывают круизной специализации сегодняшнего флота.

Приведенные ниже данные можно использовать на начальных этапах проектирования судна с целью разработки эскиза общей компонов

ки помещений, чертежа бокового вида и общего расположения, а также для сравнительного анализа имеющихся ПСВСП, предназначенных для круизных рейсов. Определение площадей внутренних помещений и открытых палуб рекомендуется производить после того, как определены и приняты для дальнейшего расчета общая площадь судна, его главные размерения и характеристики.

Для определения граничных размеров функциональных блоков помещений в процентном отношении к общей площади судна можно воспользоваться статистическими данными пассажирских судов внутреннего плавания постройки 1995-2004 г., приведенными в таблице 1.

Таблица 1

Распределение площадей функциональных блоков помещений

| Наименование блоков помещений | Категория комфортабельности судна | | |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|
| | *** | **** | ***** |
| Общественные помещения для пассажиров | 9,6-15,3 | 13,9-17,9 | 16,0-21,0 |
| Каюты для пассажиров | 19,4-27,4 | 28,7-37,2 | 28,7-37,2 |
| Комплекс услуг | 1,7-2,2 | 1,7-2,2 | 1,7-2,2 |
| Камбузный блок (с учетом провизионных помещений.) | 4,8-5,7 | 4,8-5,7 | 4,8-5,7 |
| Вспомогательные помещения | 9,5-11,6 | 9,5-11,6 | 9,5-11,6 |
| Прочие помещения | 0,8-1,1 | 0,8-1,1 | 0,8-1,1 |
| Машинные помещения | 7,9-11,8 | 7,9-11,8 | 7,9-11,8 |
| Помещения экипажа | 9,9-11,1 | 9,9-11,1 | 9,9-11,1 |
| Открытые палубы | 5,8-7,7 | 5,8-7,7 | 5,8-7,7 |

Площади таких помещений как рестораны, салоны, бары и пассажирские каюты регламентируются отечественными Санитарными правилами. Если судно проектируется для зарубежного заказчика либо его работа предполагается под флагом другого государства, не имеющего требований к площадям вышеуказанных помещений, можно использовать статистические данные, приведенные в таблице 2.

Помимо относительной площади, немаловажное значение при выборе общей площади того или иного общественного помещения, предназначенного для пассажиров (либо группы помещений), играет вместимость общественных помещений в процентах от пассажироместности судна. Статистические данные по вместимости помещений приведены в таблице 3.

Таблица 2

Относительные площади общественных помещений и
пассажи́рских кают, м²/место

| Помещения | Категория комфортабельности | | | | |
|---------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| | * | ** | *** | **** | ***** |
| Рестораны | 1,2 | 1,2-1,3 | 1,3-1,6 | 1,4-2,1 | 2,0-2,2 |
| Салоны | ок.1,5-1,8 | 1,7-2,1 | 1,7-2,1 | 1,7-2,1 | 1,7-2,1 |
| Бары | ок. 1,2 | 1,2-1,5 | 1,2-1,9 | 2,3-2,7 | 2,3-2,7 |
| Пассажи́рские каюты | 2,4-2,8 | 2,8-4,8 | 4,8-5,8 | 6,3-8,1 | 8,7-9,6 |

Таблица 3

Вместимость общественных помещений в процентах
от пассажировместимости

| Помещения | Категория комфортабельности | | | | |
|----------------------|-----------------------------|-------|--------|--------|-----------|
| | * | ** | *** | **** | ** *** |
| Рестораны | 50 | 50 | 50-100 | 80-100 | 90-100 |
| Салоны | ок. 19 | 19-25 | 45-60 | 70-100 | ок.100 |
| Бары | 15-20 | 15-20 | 20-30 | 20-30 | 20-30 |
| Пассажи́рские каюты* | 32-41 | 41-43 | 44-50 | 47-50 | 50 |

* суммарная вместимость пассажирских кают здесь представляет собой отношение общего количества кают для пассажиров к общей пассажировместимости и характеризует наличие на судне кают вместимостью более 2 чел. Чем больше на судне многоместных (3-х, 4-х местных) кают, тем ниже этот показатель.

Суммарная площадь общественных помещений определяется, исходя из следующего уравнения:

$$S_{on} = S_{рест} + S_{сл} + S_{б}, \quad (1)$$

где $S_{рест}$ – суммарная площадь ресторанов, м²;
 $S_{сл}$ – суммарная площадь салонов, м²;
 $S_{б}$ – суммарная площадь баров, м².

Площадь ресторанов с учетом изоляции и зашивки продольных и поперечных переборок можно определить по формуле

$$S_{рест} = s'_{рест} n'_{рест} Nk_{рест}, \quad (2)$$

где $s'_{рест}$ – минимальная площадь ресторана на 1 посадочное место, регламентируемая санитарными правилами, (для Украины – 1,2 м²/место);

$n'_{рест}$ – коэффициент вместимости:

- для односменного питания – 1 (для судов категорий комфортабельности – 3, 4, 5 звезд);
- для двухсменного питания – 0,5 (для судов категорий комфортабельности – 1, 2, 3 звезды);
- для судов с «плавающим» временем питания – 0,75-0,8 (для судов 4-5 звезд);

N – пассажировместимость, чел;

$k_{рест}$ – статистический коэффициент увеличения площади:

- для судов категорий комфортабельности 1,2 звезды – 1;
- для судов уровня комфортабельности 3 звезды – 1,08-1,28;
- для судов уровня комфортабельности 4 звезды – 1,28-1,40;
- для судов уровня комфортабельности 5 звезд – 1,4 и выше.

Если найденную площадь по разным причинам не удается вписать в одно помещение, на судне устраиваются два ресторана

Площадь салонов (музыкальных, для игр и активного отдыха и проч.) определяется по формуле

$$S_{сл} = s'_{сл} n'_{сл} N k_{сл}, \quad (3)$$

где $s'_{сл}$ – минимальная площадь салонов на 1 посадочное место, регламентируемая санитарными правилами, (для Украины – 1,0 м²/место).

$n'_{сл}$ – коэффициент вместимости:

- для судов категории комфортабельности 2 звезды – 0,2-0,3;
- для судов категорий комфортабельности 3 звезды – 0,3-0,5;
- для судов категорий комфортабельности 4, 5 звезд – 0,7-0,9.

$k_{сл}$ – статистический коэффициент увеличения площади:

- для судов всех категорий комфорта 1,54-1,83.

Суммарную площадь всех баров и кафе на судне можно определить по формуле

$$S_{б} = s'_{б} n'_{б} N k_{б}, \quad (4)$$

где $s'_{б}$ – минимальная площадь бара на 1 посадочное место, регламентируемая санитарными правилами, (для Украины – 0,5 м²/место).

$n'_{б}$ – коэффициент вместимости:

- для судов категории комфортабельности 2, 3 звезды – 0,1-0,15;
- для судов категории комфортабельности 4, 5 звезд – 0,2-0,3;

$k_{б}$ – статистический коэффициент увеличения площади:

- для судов категории комфортабельности 2, 3 звезды – 2,3-3,4;

- для судов категории комфортабельности 4, 5 звезд – 3,4-5,0.
Площадь помещений комплекса услуг определяется по формуле

$$S_{нку} = S_{прач} + S_{бж} + S_{прк} + S_{мб}, \quad (5)$$

где $S_{прач}$ – суммарная площадь помещений прачечных, гладильных, складов белья, сушильных;

$S_{бж}$ – суммарная площадь багажных помещений;

$S_{прк}$ – суммарная площадь парикмахерских;

$S_{мб}$ – суммарная площадь амбулатории, изолятора и прочих медицинских помещений.

Суммарную площадь помещений прачечных, гладильных, складов белья, сушильных можно определить по формуле

$$S_{прач} = s'_{прач} (N + n_{эк}), \quad (6)$$

где $s'_{прач}$ – относительная площадь помещений прачечного блока от суммарного количества пассажиров и членов экипажа – 0,1 м²/чел

$n_{эк}$ – количество членов экипажа, чел. Формула определения количества членов экипажа приведена ниже по тексту.

Площадь помещения парикмахерской можно определить по формуле

$$S_{прк} = s'_{прк} n_{прк}, \quad (7)$$

где $s'_{прк}$ – относительная площадь помещения парикмахерской – 4 м²/место.

$n_{прк}$ – количество посадочных мест (как правило – 2-3 места).

Как правило, отдельная парикмахерская обустраивается на судах категории комфортабельности – 2, 3 звезды. Для судов категории комфортабельности – 4, 5 звезд рекомендуется обустраивать отдельное помещение оздоровительного комплекса, в который входят помещения сауны, джакузи, бассейна, массажной, парикмахерской, барная стойка, помещения тренажеров. Общая площадь таких помещений, как правило, находится в диапазоне 50-100 м² (на отдельных судах суммарная площадь помещения оздоровительного комплекса достигает 180 м²).

Суммарная площадь помещений медицинского назначения на судах внутреннего плавания определяется согласно Государственных санитарных правил для морских и речных судов.

Также, на круизных судах, совершающих продолжительные круизные рейсы, рекомендуется обустраивать багажные помещения – для багажа пассажиров. Необходимость таких помещений и их площадь выбирается индивидуально в каждом конкретном случае по желанию заказчика.

Суммарная площадь вспомогательных помещений определяется, исходя из следующего соотношения:

$$S_{всп} = S_{корр} + S_{скл} + S_{басс} + S_{пр}, \quad (8)$$

где $S_{корр}$ – суммарная площадь коридоров пассажирского блока, м²
 $S_{скл}$ – суммарная площадь складских помещений судна, м²
 $S_{басс}$ – площадь помещения бассейна, м².
 $S_{пр}$ – площадь прочих помещений, м².

Суммарную площадь коридоров в пределах пассажирского блока помещений можно определить по формуле

$$S_{корр} = s'_{корр} N, \quad (9)$$

где $s'_{корр}$ – относительная площадь коридоров в пределах пассажирского блока помещений, м²/пасс:

- для судов категории комфорта 2, 3, 4 звезды – 1,77-2,18 м²/пасс;
- для судов уровня комфорта 5 звезд – 2,2-2,8 м²/пасс.

Суммарную площадь складских помещений пассажирского блока помещений можно определить по формуле

$$S_{скл} = s'_{скл} N, \quad (10)$$

где $s'_{скл}$ – относительная площадь складских помещений в пределах пассажирского блока помещений (0,18-0,26 м²/пасс).

Суммарную площадь прочих помещений (гладильных помещений самообслуживания, вахтенных помещений и т.п.) можно определить по формуле

$$S_{пр} = s'_{пр} N, \quad (11)$$

где $s'_{пр}$ – относительная площадь прочих помещений в пределах пассажирского блока (0,18 - 0,25 м²/пасс).

Площадь и размещение плавательных бассейнов принимается из условий остойчивости и посадки судна. Как правило, площадь плавательного бассейна $S_{басс}$ не превышает 20-30 м².

Суммарную площадь пассажирских кают можно определить по формуле

$$S_{нк} = \sum (n_i \cdot s'_i \cdot k_i) \cdot k_u, \quad (12)$$

где n_i – количество кают заданного уровня комфорта и вместимости;

s'_i – минимальная площадь каюты на 1 пассажира регламентируемая санитарными правилами для речных и морских судов Украины;

k_u – коэффициент, учитывающий площадь, занимаемую переборками и выгородками между каютами, коридорами, толщину изоляционного слоя между бортами и внутренними декоративными панелями; рекомендуется принимать 1,08.

k_i – статистический коэффициент увеличения внутренней площади пассажирских кают, см. таблицу 4.

Таблица 4

Коэффициент увеличения внутренней площади пассажирских кают

| Категория комфортабельности судна | Каюты | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 местные | 2 местные | 3 местные | 4 местные |
| * | 1,8-1,85 | 3,8-4,43 | 5,4 | 4,2 |
| ** | 1,8-1,85 | 3,8-4,43 | 5,4 | 4,2 |
| *** | 1,85-2,36 | 4,43-5,02 | 6,51-7,46 | х |
| **** | 1,85-2,36 | 5,67-6,79 | х | х |
| ***** | х | 8,5-9,0 | х | х |

Полученные площади необходимо сравнить со среднестатистическими площадями стандартных пассажирских кают на существующих судах (без учета площади занимаемой переборками и изоляционной зашивкой), приведенными в табл. 5.

Таблица 5

*Площади стандартных пассажирских кают
(каюты повышенной комфортабельности не включены)*

| Категория комфортабельности судна | Площадь стандартной пассажирской каюты, м ² |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| * | 5-11 |
| ** | 5-11 |
| *** | 11-13 |
| **** | 14-16 |
| ***** | 16 и выше |

Минимальная площадь кают повышенной комфортабельности не нормируется отечественными санитарными правилами, однако, исходя из опыта современного строительства пассажирских судов, рекомендуются следующие величины:

- для судов категории комфортабельности – 1-3 звезды – 11-15 м²/чел;
- для судов категории комфортабельности – 4 звезды – 18-20 м²/чел;
- для судов категории комфортабельности 5 звезд – 20 м²/чел и выше.

Суммарную площадь камбузного блока можно определить исходя из следующего уравнения:

$$S_{\text{кбз}} = S_{\text{кном}} + S_{\text{пров}}, \quad (13)$$

где $S_{\text{кном}}$ – суммарная площадь камбуза, буфетных, транспортных лифтов и прочих помещений связанных с приготовлением пищи для пассажиров и экипажа (если для экипажа не предусмотрено отдельное помещение камбуза)

$S_{\text{пров}}$ – суммарная площадь провизионных помещений.

Суммарную площадь $S_{\text{кном}}$ можно определить по формуле

$$S_{\text{кном}} = s'_{\text{кном}} N, \quad (14)$$

где $s'_{\text{кном}}$ – относительная площадь камбузных помещений (0,54-0,80) м²/пасс

Суммарная площадь провизионных помещений определяется согласно требований Государственных санитарных правил для речных и морских судов Украины, либо по прототипу с учетом требований санитарных правил.

В суммарную площадь экипажного блока включены площади кают для проживания, кают-компаний, столовых, камбуза для экипажа, коридоров расположенных в пределах экипажного блока, а также прочих помещений назначение которых связано с проживанием экипажа судна.

Суммарную площадь экипажного блока $S_{\text{ЭК}}$ можно определить по формуле

$$S_{\text{ЭК}} = s'_{\text{ЭК}} n_{\text{ЭК}}, \quad (15)$$

где $s'_{\text{ЭК}}$ – относительная площадь помещений экипажа (8,30-9,93) м²/чл.ЭК;

$n_{\text{ЭК}}$ – количество членов экипажа судна:

Необходимое количество членов экипажа для проектируемого судна можно определить по формуле

$$n_{\text{ЭК}} = N / b, \quad (16)$$

где b – статистический коэффициент, представляющий собой отношение

максимальной пассажировместимости судна к количеству членов экипажа:

- для судов категорий комфортабельности 3-4 звезды – 3,6-4,2 пасс/чл. эк.;
- для судов категории комфортабельности 5 звезд – 3,0-3,6 пасс/чл. эк.

В данном случае при расчете общего количества членов экипажа следует иметь в виду, что экипаж судна – это все люди, зачисленные в штат судна и связанные с деятельностью данного судна, учитывая персонал, обслуживающий как пассажиров, так и экипаж.

В суммарную площадь открытых палуб включены площади прогулочных палуб предназначенных для пассажиров, площади служебных палуб (швартовные палубы, палубы для экипажа), а также неиспользуемые участки открытых палуб.

Суммарную площадь открытых палуб $S_{нал}$ можно определить по формуле

$$S_{нал} = s'_{нал} N, \quad (17)$$

где $s'_{нал}$ – относительная площадь открытой палубы (0,54-1,02 м²/пасс), определяется в зависимости от речного бассейна. При этом, меньшие значения $s_{нал}$ рекомендуется применять для судов, эксплуатирующихся в речных бассейнах Рейна, Майна, Дуная, большие значения – в бассейне Днепра, Волги и смешанном сообщении.

Площадь служебных палуб в составе общей площади открытых палуб судна можно определить по формуле

$$S_{служ} = s'_{служ} S_{нал}, \quad (18)$$

где $s'_{служ}$ – статистический коэффициент, определяющий долю служебных участков открытых палуб в составе общей площади открытых палуб. Как правило, для бассейнов Дуная, Днепра, Волги и смешанного сообщения $s'_{служ} = 0,34-0,58$. Суда, работающие в бассейнах Майна, Рейна и прочих западно-европейских рек, в силу конструктивных особенностей, связанных с навигационными ограничениями, в большинстве своем не имеют прогулочных палуб для пассажиров по бортам и в кормовой части, поэтому для таких судов $s'_{служ} = 1,0$.

Площадь открытых прогулочных палуб для пассажиров (кормовых и бортовых террас, соляриев) определяется по формуле

$$S_{прог} = S_{нал} - S_{служ}. \quad (19)$$

В суммарную площадь блока машинных помещений включены площади помещений машинного отделения, центрального поста управ-

ения, шахт машинного отделения, кондиционерных, вентиляторных, подруливающего устройства, румпельного отделения, станций очистки сточных вод и подготовки питьевой воды, инсинератора, аккумуляторных, аварийного дизель-генератора, а также прочих помещений, назначение которых связано с технической эксплуатацией судна.

Площадь блока машинных помещений можно вычислить по формуле

$$S_{мп} = \frac{S_{пб} + S_{кбз} + S_{эк} + S_{нал}}{100 - k_{мп}} \cdot k_{мп}, \quad (20)$$

где $S_{пб}$ – площадь пассажирского блока помещений, м².

$$S_{пб} = S_{он} + S_{нку} + S_{всн} \quad (21)$$

$k_{мп}$ – коэффициент выражающий в процентном отношении долю площади машинных помещений в общей полезной площади судна:

- для судов с винто-рулевыми колонками и установками типа «Pump-Jet» – 6-10;
- для судов с гребными винтами – 10-13.

При выборе коэффициента $k_{мп}$ меньшие значения рекомендуется выбирать для судов имеющих общую площадь менее 4000 м².

Используя описанную выше методику, можно получить результаты, приведенные в таблице 6.

Как видно из таблицы 6, практически все группы помещений попали в рекомендуемые среднестатистические диапазоны, приведенные в таблице 1 для судов четырехзвездочного уровня комфорта, работающих на р. Дунай. Вместе с тем, доля площади пассажирских кают, группы прочих помещений, открытых палуб в составе общей площади судна несколько отличаются от рекомендуемых. Данное обстоятельство связано с тем, что при определении площадей указанных помещений не совсем корректно были выбраны статистические коэффициенты s'_i и k_i в рекомендуемых диапазонах. В этом случае необходимо произвести соответствующую корректировку коэффициентов s'_i и k_i с последующим пересчетом площадей помещений и всего судна в целом. Относительная площадь пассажирского блока проектируемого судна составила 14,9 м²/пасс, что соответствует сегодняшнему четырехзвездочному уровню комфорта судна. Доля площади помещений пассажирского блока составила 69,5 % от общей площади судна, что в целом отражает негоднящие тенденции в проектировании пассажирских судов внутреннего и сметанного плавания.

Сопоставительные результаты

| Характеристика | Проектируемое судно | | Суда-прототипы | |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------|--------------------|------------------------|
| | Числовые показатели | Доля помещений в общей площади судна, % | Т/х «a'Rosa Donna» | Т/х «Donau-prinzessin» |
| Категория комфортабельности, звезд | 4 | – | 4 | 4 |
| Пассажировместимость, чел | 200 | – | 200 | 215 |
| Площадь ресторана, м ² | 312 | 7,3 | 406 | 292 |
| Площадь салонов, м ² | 272 | 6,3 | 331 | 195 |
| Площадь баров, м ² | 125 | 2,9 | 52 | 185 |
| Площадь помещений комплекса услуг, м ² | 92 | 2,1 | 82 | 120 |
| Суммарная площадь пассажирских кают, м ² | 1664 | 38,8 | 1265 | 1400 |
| Площадь вспомогательных помещений, м ² | 475 | 11,1 | 682 | 474 |
| Площадь прочих помещений, м ² | 46 | 1,1 | 85 | 45 |
| Суммарная площадь камбузного блока, м ² | 220 | 5,0 | 201 | 260 |
| Суммарная площадь экипажного блока, м ² | 456 | 10,6 | 479 | 438 |
| Суммарная площадь машинных помещений, м ² | 430 | 10,0 | 433 | 657 |
| Площадь открытых палуб, м ² | 205 | 4,8 | 351 | 363 |
| Общая площадь, м ² | 4297 | 100 | 4367 | 4429 |
| Площадь помещений пассажирского блока, м ² | 2986 | 69,5 | 2903 | 2711 |
| Относительная площадь помещений пассажирского блока, м ² /пасс | 14,9 | – | 14,5 | 12,6 |

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сёмин А.А. Учет уровня комфортабельности при проектировании круизных судов внутреннего и смешанного плавания // Судостроение. – 2005. – № 3.*
2. *Морские пассажирские суда / Ю.А.Будницкий, Г.П. Пилипенко, А.Г. Чукавин, В.С. Петухов – Л.: Судостроение, 1989. – 224 с.*
3. *Вицинский В.В., Страхов А.П. Основы проектирования судов внутреннего плавания. – Л.: Судостроение, 1970. – 454 с.*

Надійшла 18.01.06

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ РАЗМЕРОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОРПУСА БЫСТРОХОДНЫХ ОДНОКОРПУСНЫХ ВОДОИЗМЕЩАЮЩИХ СУДОВ

Рассмотрен вопрос о возможных размерах повреждений днища быстроходных судов с учетом материала, из которого выполнен корпус. Приняты во внимание современные требования различных национальных классификационных обществ.

Ключевые слова: *быстроходное водоизмещающее судно, размеры повреждения.*

В High Speed Craft Code (HSC Code), Правилах Germanischer Lloyd [1] и Российских Правилах классификации и постройки высокоскоростных судов [2] быстроходное судно определено как судно, способное развить максимальную пороговую скорость в метрах в секунду, равную или превышающую

$$v_{\max} \geq 3,7 \nabla^{0,1667}, \quad (1)$$

где ∇ – водоизмещение, соответствующее расчетной ватерлинии, м³.

Режим движения судна характеризуется числом Фруда по водоизмещению $Fr_{\nabla} = \frac{v}{\sqrt{g^3 \nabla}}$ или $v = 3,13 Fr_{\nabla} \nabla^{0,1667}$. Из этого соотношения и соотношения (1) следует, что пороговая скорость соответствует $Fr_{\nabla} = 1,18$. Иначе говоря, судно можно считать высокоскоростным при $Fr_{\nabla} \geq 1,18$.

Водоизмещающий режим в Правилах [1] и [2] рассматривается, как режим движения, при котором вес судна, как при движении, так и в состоянии покоя, полностью или преимущественно поддерживается гидростатическими силами. Разобьем диапазон чисел Fr_{∇} от 1 до 3, которые характерны для переходного режима движения от водоизмещающего к глиссирующему, наполовину. Можно предположить, что гидростатические силы преобладают до значений чисел $Fr_{\nabla} = 2$. Поэтому в данной статье рассмотрены суда, для которых характерны числа Фруда от 1,18 до 2.

В HSC Code применительно к судам категории *A* установлена возможная длина повреждения днища, равная $0,1 L$, или $3m+0,03 L$, или 11 метров, в зависимости оттого, что меньше. Для судов категории *B*, предлагается увеличить возможную длину повреждения днища на 50% в случае повреждения носовой части судна. Повреждение по высоте предполагается на полную высоту конструкции, а по ширине на полную ширину днища судна или на 7 м, смотря по тому, что меньше.

Заметим, что под судном категории *A* понимают любое высокоскоростное пассажирское судно, на котором была продемонстрирована высокая вероятность того, что в случае эвакуации в любой точке маршрута все пассажиры и члены экипажа могут быть спасены в течение периода времени, необходимого для того, чтобы люди, находящиеся в спасательных шлюпках или плотках, не подвергались воздействию окружающей среды, вызывающему гипотермию, то есть в течение 4 часов. Суда категории *A* могут перевозить не более 450 пассажиров. Под судном категории *B* понимают любое высокоскоростное пассажирское судно, не являющееся судном категории *A*, которое устроено так, что в случае повреждения или затопления, выводящего из строя любые механизмы и системы безопасности ответственного назначения в одном отсеке, судно сохраняет способность безопасно плавать.

Быстроходные суда имеют высокую скорость, следовательно, обладают большей кинетической энергией и в случае возможной аварии получают значительные повреждения. Влияние скорости и свойств материала корпуса на размеры повреждений документами ИМО и Правилами не учитываются, хотя в этих нормативных документах рассматриваются суда, построенные из стали и сплавов алюминия.

В. Ю. Минорский в работе [3] предполагает, что длина повреждения может быть рассчитана по формуле

$$l_{np} = \alpha \sqrt{dE}, \quad (2)$$

где α – коэффициент, зависящий от местной прочности поврежденного судна;

dE – поглощенная при столкновении энергия.

В работе G. Woisin [4] предлагается находить dE по формуле

$$dE = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} * \frac{v_{рез}^2}{2}, \quad (3)$$

где m_1 – масса принимающего удар судна;

m_2 – масса наносящего удар судна;

$v_{рез}$ – результирующая скорость столкновения судов.

Расчеты по формулам (2) и (3) предполагают случай столкновения двух судов. При аварии, которая возникает из-за контакта с подводным препятствием, расчеты по этим формулам затруднены.

По данным ИМО средняя длина пробоины составляет:

- для судов длиной менее 70 м. – 2,5 м;
- для судов длиной (70-108 м.) – 6,2 м; для судов длиной (109-131 м.) – 7,8 м;
- для судов длиной (132-145 м.) – 9,5 м;
- для судов длиной свыше 145 м. – 11,8 м.

В этих данных нет информации о скорости движения поврежденных судов, материале корпуса и ширине пробоины. Некоторые аварии, произошедшие с быстроходными судами, показали, что предлагаемые в нормативных документах величины повреждения, соответствующие 10% и 15% от длины судна, не совсем точно отображают картину повреждений. В работе датских исследователей говорится, что протяженность пробоины днища по всей длине быстроходного судна возможна у 1 из 7 судов, длиной 60-70 м, и у 1 из 14 судов длиной около 30 м [5].

В [6] предложена зависимость между деформацией и напряжением, которые возникают в материале конструкции в случае упруго-пластической деформации.

$$\sigma = E[e - \lambda(e - e_m)], \quad (4)$$

где E – модуль Юнга материала корпуса;

e – линейная деформация материала корпуса;

e_m – линейная деформация материала корпуса, соответствующая пределу текучести (для деревянных конструкций – пределу упругости);

λ – коэффициент, характеризующий пластичность материала.

Для идеально пластичного материала $\lambda = 1$ и уравнение (4) принимает вид $\sigma = Ee_m$. Сила сопротивления материала

$$R = E \frac{l_{np}}{L} bt, \quad (5)$$

где E – модуль Юнга;

l_{np} – длина пробоины;

b – ширина пробоины;

t – толщина обшивки.

Приравниваем кинетическую энергию движущегося судна работе сил сопротивления на участке длины пробоины

$$\frac{mv^2}{2} = Rl_{np} \quad (6)$$

Отсюда

$$l_{np} = \sqrt{\frac{mv^2 L}{2Ebt}} \quad (7)$$

Для примера был проведен расчет возможной длины пробоины быстроходного судна длиной $L=60$ м, движущегося со скоростью 30 узл., при различном материале корпуса (сталь, АМг, дерево). Результаты приведены в таблице.

Таблица

Длина пробоины, в долях от L

| Ширина поврежденного участка днища, м | Материал корпуса | | |
|---------------------------------------|------------------|------|--------|
| | сталь | АМг | дерево |
| 7 | 0,01 | 0,02 | 0,04 |
| 0,01 | 0,36 | 0,48 | 0,94 |

С целью проверки предложенной методики был проведен расчет возможных размеров пробоины судна «Титаник». По данным современных исследователей, обследовавших корпус затонувшего лайнера, площадь пробоины составляет примерно один квадратный метр [7]. Средняя ширина повреждения около одного сантиметра. Судно получило пробоину длиной около ста метров при толщине обшивки двадцать пять миллиметров [8]. Применяв для расчета формулы, приведенные в данной работе, получаем, что длина возможного повреждения составляет сто шестнадцать метров или $0,45L$. При ширине повреждения семь метров судно получило бы пробоину длиной пять метров или $0,02L$.

Как видно из расчетов, протяженность пробоины существенно зависит от свойств материала корпуса и предполагаемой ширины повреждения. Необходимость в пересмотре HSC Code действительно возникла, поскольку при рекомендуемой в нормативных документах возможной величине ширины пробоины (7 м) длина повреждения будет для различных материалов корпуса разной, и отличаться от значений, которые предлагается принимать к расчету. Изменение ширины возможной пробоины в свою очередь повлияет на результаты оценки длины повреждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Germanischer Lloyd. High Speed Craft. Rules for Classification and Construction. – Hamburg: Gebrüder Braasch, 1996. – 300 p.
2. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. – Л.: Российский морской регистр судоходства, 1998. – 93 с.
3. Minorsky V. U. Eine Studie über Schiffscollisionen mit Bezug auf schiffbauliche Schutzmaßnahmen für Kernenergieantriebsanlagen // Schiff und Hafen. – 1960. – № 2. – С. 21.
4. Woisin. G. Der Einfluß der Drehimpulses bei einer Schiffscollision besonders im Hinblick auf die Sicherheit von Atomschiffen // Schiff und Hafen. – 1962. – № 7. – С. 52.
5. Andrew Blyth. Revision of the IMO HSC Code: stability after bottom raking damage // www.blythbridges.co.uk.
6. Давыдов В. В. Учебный справочник по прочности судов внутреннего плавания: Учебн. пособие / В. В. Давыдов, Н. В. Маттеc, И. Н. Сиверцев. – М.: Речной транспорт, 1958. – 754 с.
7. Бурьяк А. Общая теория безопасности // www.gen-sec-theory.parod.ru.
8. Ганнон Р. Последний секрет «Титаника» // Ридерз Дайд-жест. – 1995.

Надійшла 14.01.06

УДК 621.757:697.7

В. А. Петренко
В. Х. Кириллов
В. А. Ерин

РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СУДОВОЙ АВТОНОМНОЙ ЭЖЕКТОРНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

В статье проведен расчетно-теоретический анализ автономной эжекторной холодильной машины, работающей на озононеразрушающем хладагенте R123, определены ее основные энергетические показатели и конструктивные характеристики. Полученные результаты использованы для разработки и проектирования теплоиспользующего питательного насоса, эжектора и экспериментальной судовой автономной эжекторной холодильной машины, предназначенной для кондиционирования воздуха и имеющей холодопроизводительность 5 кВт.

Ключевые слова: эжектор, автономная эжекторная холодильная машина, теплоиспользующий питательный насос, коэффициент эжекции, тепловой коэффициент.

Введение

В настоящее время большинство находящихся в эксплуатации судов оборудованы системами хладоснабжения и кондиционирования воздуха, в которых используются электроприводные парокompрессионные холодильные машины. Одним из эффективных путей уменьшения потребления электрической энергии на судах является использование тепла выхлопных газов двигателей для работы теплоиспользующих холодильных машин (ТХМ). Сравнительный анализ различных ТХМ показал, что наиболее перспективными из них являются эжекторные холодильные машины (ЭХМ), работающие на легкокипящих хладагентах [1].

Основными достоинствами ЭХМ являются простота конструкции, надежность и безопасность работы, высокая экономичность. Единственным элементом ЭХМ, имеющим движущиеся части и определяющим герметичность всей системы, надежность и ресурс работы машины является насос для подачи жидкого хладагента из конденсатора в генератор. Обычно в ЭХМ применяются питательные насосы, для работы которых используется электрическая энергия [2, 3]. Применение в ЭХМ теплоиспользующего питательного насоса (ТПН) делает ее независимой от источника электроэнергии, то есть автономной.

Обзор литературных источников показывает, что существует большое количество предложений по созданию автономных ЭХМ (АЭХМ) на основе различных теплоиспользующих перекачивающих устройств и насосов, но ни одно из предложенных технических решений до настоящего времени не доведено до уровня надежно работающего устройства, что требует дальнейших исследований в этом направлении.

Принцип работы АЭХМ

На рис. 1 приведена принципиальная схема АЭХМ с ТПН непрерывного принципа действия, в которой часть тепла генерации преобразуется в механическую энергию для привода поршневого насоса с помощью поршневого двигателя, работающего на легкокипящем хладагенте [4].

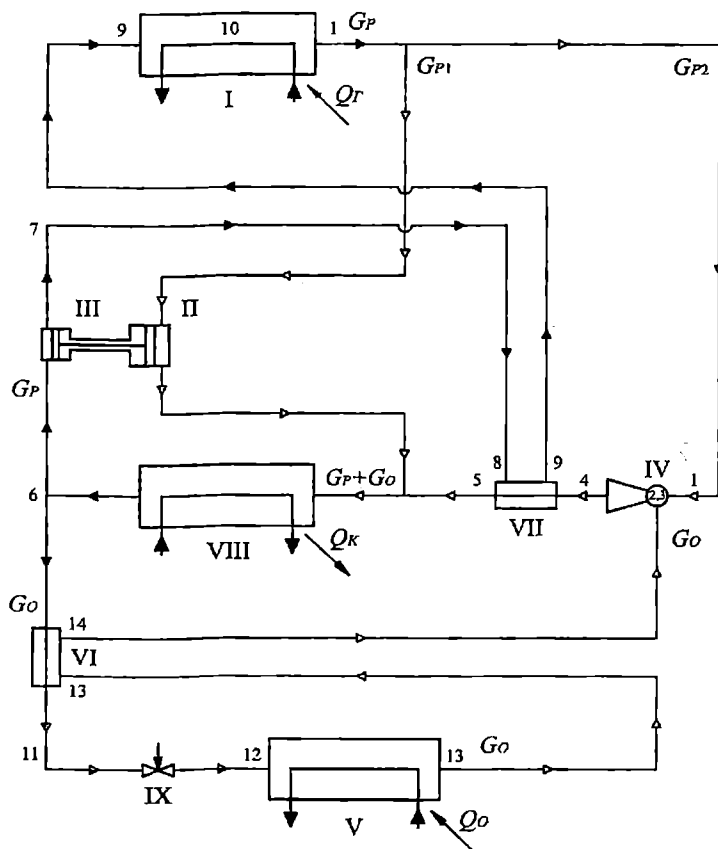


Рис. 1. Принципиальная схема автономной эжекторной холодильной машины:

*I – генератор; II – двигатель; III – throttling насос; IV – эжектор;
V – испаритель; VI, VII – recuperative теплообменники;
VIII – конденсатор; IX – дроссельный вентиль.*

АЭХМ работает следующим образом. В генераторе I при подводе тепла от греющего источника происходит нагрев и кипение холодильного агента, в результате чего образуется насыщенный рабочий пар с давлением p_r , который на выходе из генератора разделяется на два потока. Один из них с массовым расходом G_{P1} направляется в поршневой двигатель II, приводящий в действие поршневой питательный насос III. Другой с массовым расходом G_{P2} поступает в сопло эжектора IV, который производит всасывание выходящих из испарителя V и перегретых в рекуперативном теплообменнике (РТО) VI паров хладагента с давлением p_o и массовым расходом G_o .

Отработанный пар после поршневого двигателя II и предварительно охлажденная в рекуперативном теплообменнике VII смесь паров хладагента, выходящих из эжектора IV, сжижаются в конденсаторе VIII при давлении p_k . Часть образовавшейся в конденсаторе VIII жидкости с массовым расходом $G_P = G_{P1} + G_{P2}$ подается питательным насосом III через РТО VIII в генератор I, а другая часть с массовым расходом G_o переохлаждается в РТО VI и через дроссельный вентиль IX направляется в испаритель V для производства холода.

В РТО VI происходит переохлаждение конденсата перед регулирующим вентилем IX холодным паром, выходящим из испарителя V, что приводит к увеличению q_o , а в РТО VII жидкий хладагент подогревается перед поступлением его в генератор I за счет теплоты сжатых паров, что уменьшает величину q_r . Применение такой двойной регенерации теплоты позволяет повысить энергетическую эффективность АЭХМ [5].

Следует отметить существенное отличие приведенной теплоиспользующей АЭХМ от традиционной ЭХМ, в которой совершается совмещенный цикл парокompрессионной холодильной машины и теплосиловой цикл Ренкина с использованием электрической энергии для работы питательного насоса. В схеме АЭХМ для подачи жидкого хладагента из конденсатора в генератор применён ТПН и осуществляется дополнительный теплосиловой цикл, который реализуется в теплосиловой установке, включающей в себя генератор I, поршневой двигатель II, конденсатор VIII и поршневой питательный насос III. Механическая работа, получаемая в теплосиловом цикле, затрачивается для привода питательного насоса III.

Анализ расчетных показателей АЭХМ

В качестве рабочего вещества АЭХМ выбран озононеразрушающий, термически стабильный, нетоксичный, негорючий, взрывобезопасный и неагрессивный в отношении конструкционных материалов хладагент R123 (CHCl_2CF_3) имеющий следующие характеристики: $\mu = 152,9$ кг/кмоль, $t_{KP} = 183,68$ °C и $t_S = 27,84$ °C.

Проведен анализ влияния расчетных температур t_k и t_r на различные показатели АЭХМ, имеющей $Q_o = 5$ кВт и работающей в режиме кондиционирования воздуха при $t_o = 8$ °C.

Энергетическая эффективность АЭХМ характеризуется величиной теплового коэффициента ζ , определяемого из выражения

$$\zeta = \frac{Q_0}{Q_\Gamma} = \frac{Q_0}{Q_{\Gamma 1} + Q_{\Gamma 2}} = U \cdot \frac{q_0}{q_\Gamma} \cdot \frac{1}{m+1} = \zeta' \cdot a, \quad (1)$$

где $U = G_0/G_{P2}$; $m = Q_{\Gamma 1}/Q_{\Gamma 2} = G_{P1}/G_{P2}$, $a = 1/(m+1)$.

При заданной величине Q_0 расход рабочего пара, поступающего в эжектор, вычисляется по формуле

$$G_{P2} = \frac{G_0}{U} = \frac{Q_0}{q_0 \cdot U}. \quad (2)$$

Расход рабочего пара, поступающего в двигатель ТПН, определяется так

$$G_{P1} = m \cdot G_{P2} = \frac{m \cdot Q_0}{U \cdot q_0}. \quad (3)$$

Уравнение баланса мощностей двигателя и насоса ТПН имеет следующий вид:

$$\nu_1 \cdot (p_\Gamma - p_K) \cdot G_{P1} \cdot \eta_0 = \nu_6 \cdot (p_\Gamma - p_K) \cdot (G_{P1} + G_{P2}). \quad (4)$$

Из уравнения (4) определяем величину G_{P1}

$$G_{P1} = \frac{\nu_6}{\nu_1 \cdot \eta_0 - \nu_6} \cdot G_{P2}, \quad (5)$$

откуда, учитывая выражение (3), следует

$$m = \frac{\nu_6}{\nu_1 \cdot \eta_0 - \nu_6}. \quad (6)$$

После постановки в выражение (1) формулы (6) и преобразований получим

$$\zeta = U \cdot \frac{q_0}{q_\Gamma} \cdot \left(1 - \frac{\nu_6}{\nu_1 \cdot \eta_0} \right). \quad (7)$$

Расход теплоты для привода ТПН, работы эжектора, а также суммарная теплота генерации и тепловые нагрузки на конденсатор и рекуперативные теплообменники вычисляются по формулам (8)-(13) соответственно .

$$Q_{Г1} = q_{Г} \cdot G_{P1}, \quad (8)$$

$$Q_{Г2} = q_{Г} \cdot G_{P2}, \quad (9)$$

$$Q_{Г} = Q_{Г1} + Q_{Г2}. \quad (10)$$

$$Q_{К} = Q_{Г} + Q_{O}. \quad (11)$$

$$Q_{РТОИ} = G_{O} \cdot (h_6 - h_{11}) = G_{O} \cdot (h_4 - h_{13}), \quad (12)$$

$$Q_{РТОИ} = G_{P} \cdot (h_9 - h_8) = (G_{P2} + G_{O}) \cdot (h_4 - h_5). \quad (13)$$

Выражение доли теплоты генерации, используемой для работы ТПН, с учетом формулы (6) имеет вид

$$\delta Q_{Г} = \frac{Q_{Г1}}{Q_{Г}} = \frac{m}{m+1} = \frac{\nu_6}{\nu_1 \cdot \eta_{O}}. \quad (14)$$

Мощность парового двигателя, необходимая для привода питательного насоса, на основании (4) вычисляется по формуле

$$N_{ДВ} = \frac{N_{Н}^T}{\eta_{O}} = \frac{\nu_6 \cdot (p_{Г} - p_{К}) \cdot (G_{P1} + G_{P2})}{\eta_{O}}. \quad (15)$$

Эффективный КПД теплосиловой установки для привода ТПН определяется так:

$$\eta_{E} = \frac{N_{ДВ}}{Q_{Г1}} = \frac{N_{ДВ}}{Q_{Г}} \cdot \frac{m+1}{m} = \frac{\nu_6 \cdot (p_{Г} - p_{К})}{\eta_{O} \cdot q_{Г}} \cdot \left(\frac{m+1}{m} \right). \quad (16)$$

Выполнив подстановку в (16) формулы (6) и проведя преобразования получим

$$\eta_{E} = \frac{\nu_1 \cdot (p_{Г} - p_{К})}{q_{Г}}. \quad (17)$$

Как следует из (17), величина η_{E} зависит от термодинамических свойств применяемого рабочего вещества и рабочих параметров $t_{Г}$ ($p_{Г}$) и $t_{К}$ ($p_{К}$) теплосиловой установки для привода ТПН.

Вычисление показателей АЭХМ, работающей при расчетных значениях температур конденсации $t_{К} = 30$ и 36°C , в диапазоне температур генерации $t_{Г} = 80 \div 160^{\circ}\text{C}$, проведено при использовании эжектора с коническо-цилиндрической камерой смешения, имеющей оптимальный угол конусности входного участка $\gamma = 2^{\circ}$ и оптимальные значения $\beta = f_2/f_3$

(рис. 2). Определение величины U и геометрических характеристик эжектора производилось по методике Е.Я. Соколова и Н.М. Зингера [6], с уточнениями и поправками, полученными в работе [2]

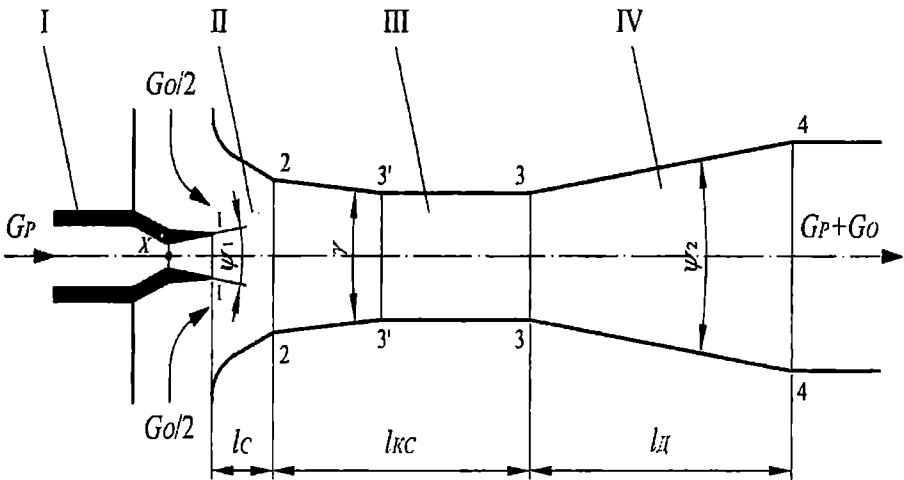


Рис. 2. Схема проточной части эжектора с коническо-цилиндрической камерой смешения:

- I – сопло;
- II – приемная камера;
- III – камера смешения;
- IV – диффузор

Расчётные показатели АЭХМ вычислялись при изменении значений КПД ТПН η_0 в диапазоне 1,0-0,2 и коэффициентах эффективности рекуперативных теплообменников $\eta_{PTOVI} = \eta_{PTOVIII} = 0,8$. Определение значений термодинамических параметров хладагента R123 производилось с помощью программы REFPROP [7].

Результаты вычислений представлены на рис. 3-20.

Из рис. 3 и 4 следует, что расчётные значения U и ζ' растут при увеличении t_r и снижении t_k , что объясняется ростом степени понижения давления рабочего пара в сопле эжектора p_r/p_0 и уменьшением степени повышения давления смеси паров в диффузоре эжектора p_d/p_0 .

Расход хладагента G_{P2} и теплота генерации Q_{G2} для работы эжектора, как следует из рис. 5 и 6, уменьшаются при повышении t_r и понижении t_k вследствие роста коэффициента эжекции U .

С другой стороны расход хладагента G_{P1} для привода ТПН при повышении t_r монотонно увеличивается, несмотря на уменьшение G_{P2} (рис. 7). Это объясняется тем, что темп падения удельного объема рабочего пара v_1 превышает темп уменьшения G_{P2} (см. формулу (5)).

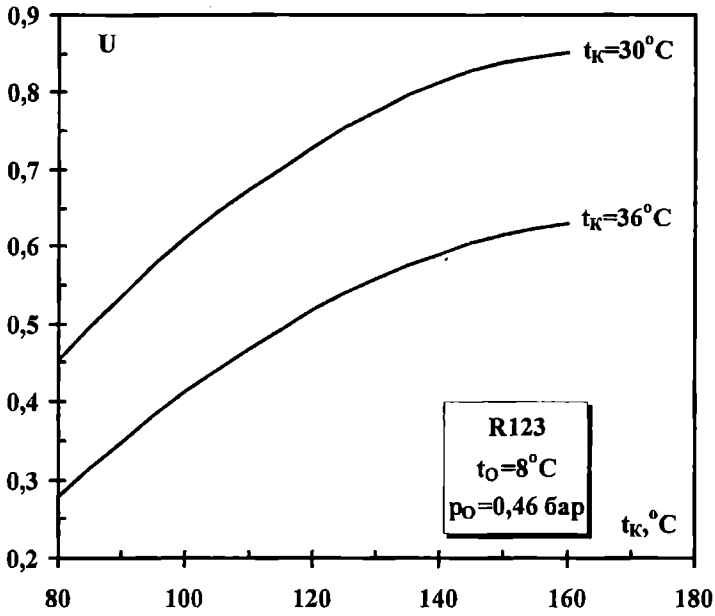


Рис. 3. Зависимость U от температуры конденсации t_k для различных температур генерации t_g

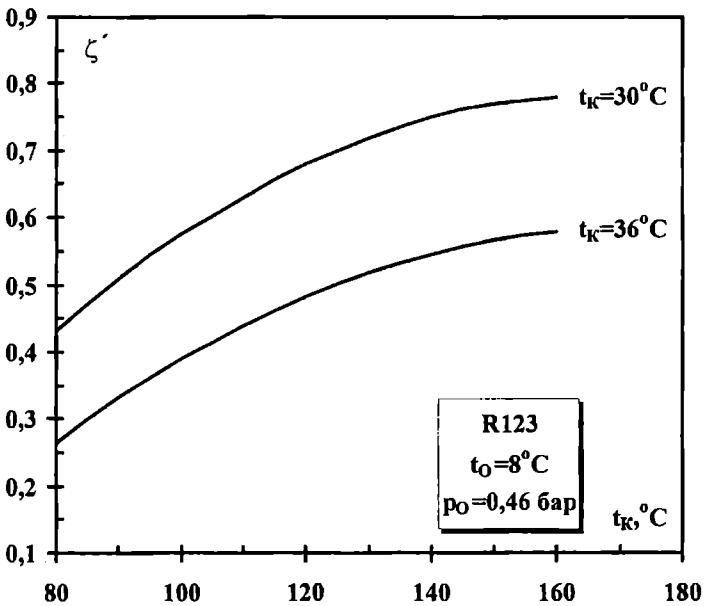


Рис. 4. Зависимость ζ' от температуры генерации t_g для различных температур конденсации

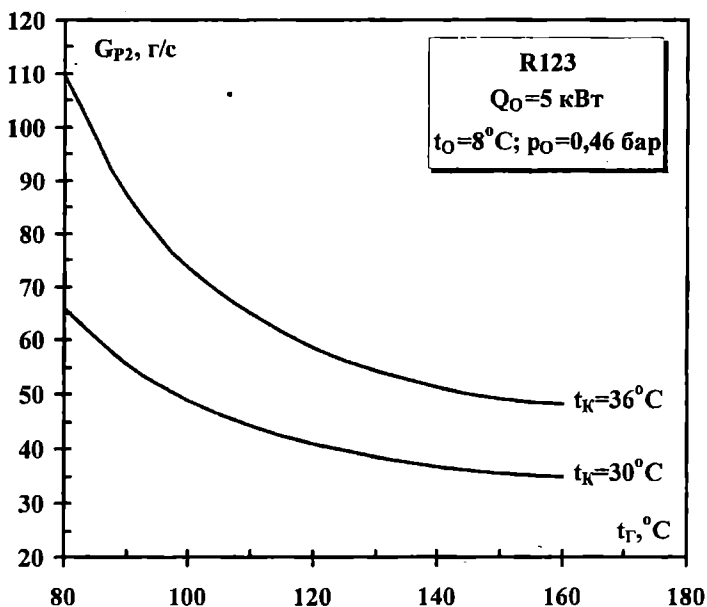


Рис. 5. Зависимость G_{p2} от температуры генерации $t_{Г}$ для различных температур конденсации t_k

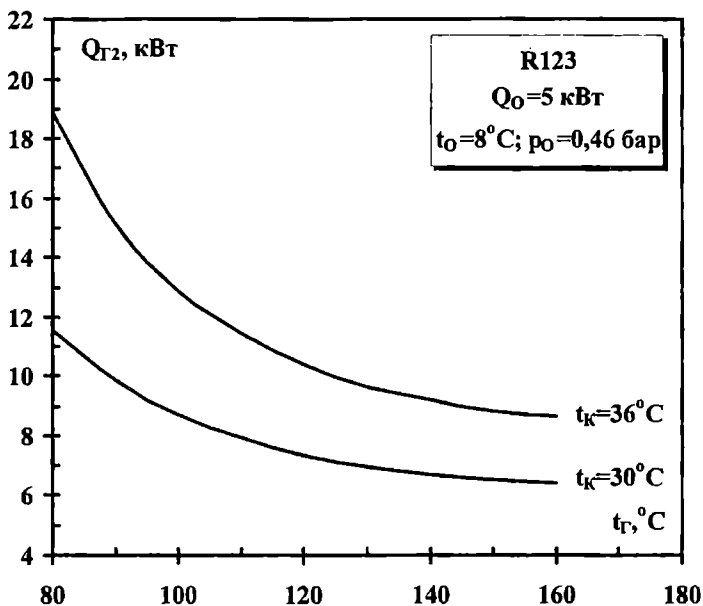


Рис. 6. Зависимость $Q_{Г2}$ от температуры генерации $t_{Г}$ для различных температур конденсации t_k

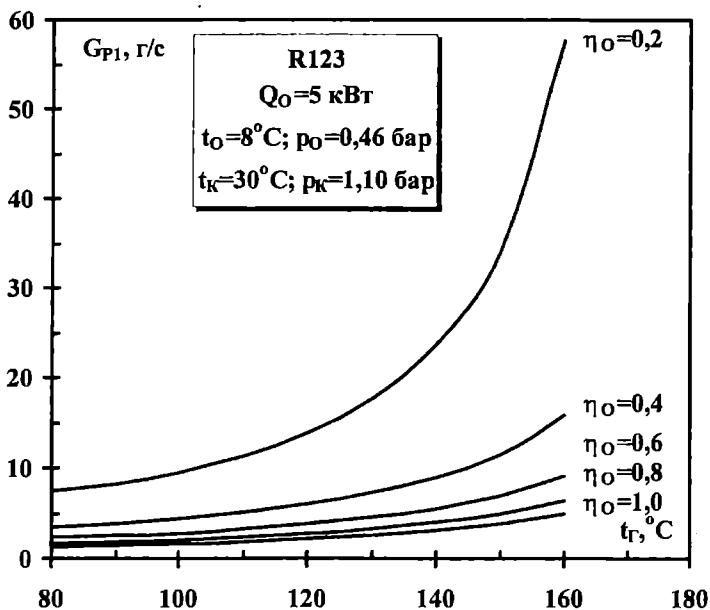


Рис. 7. Зависимость G_{P1} от температуры генерации t_g и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_k = 30^\circ\text{C}$

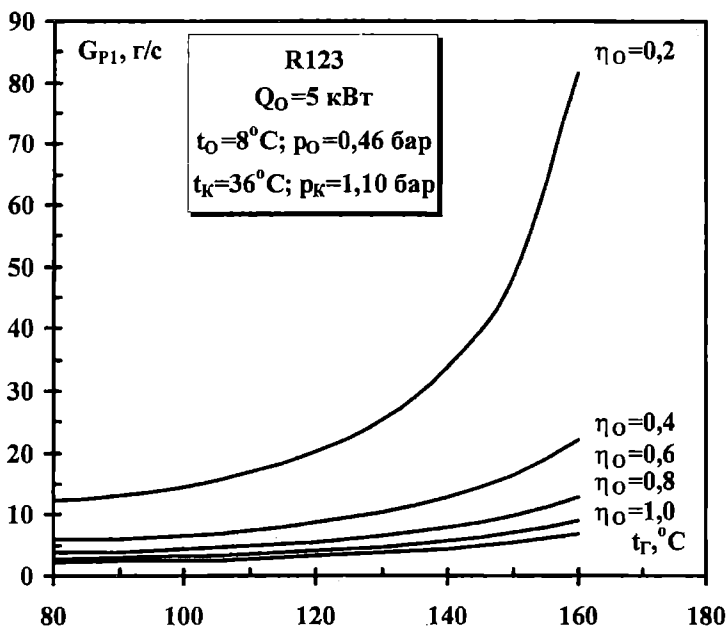


Рис. 8. Зависимость G_{P1} от температуры генерации t_g и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_k = 36^\circ\text{C}$

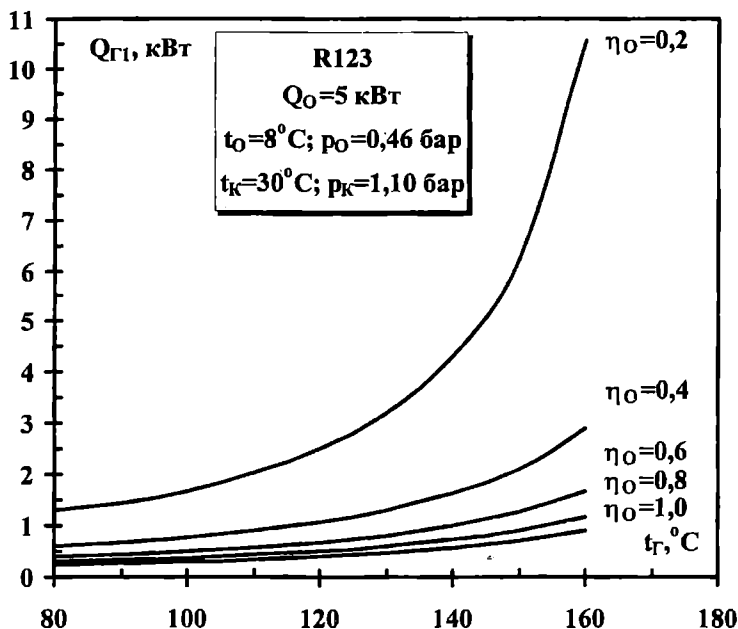


Рис. 9. Зависимость $Q_{Г1}$ от температуры генерации $t_{г}$ и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_{к} = 30^{\circ}\text{C}$

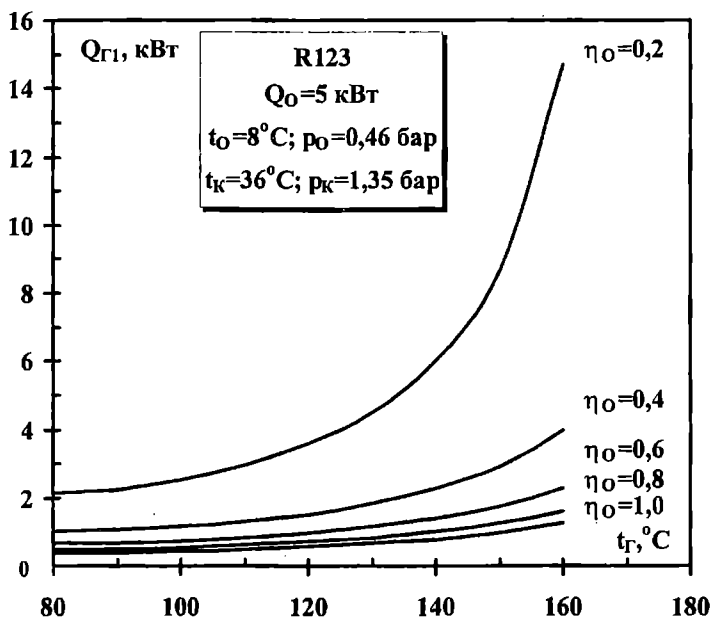


Рис. 10. Зависимость $Q_{Г1}$ от температуры генерации $t_{г}$ и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_{к} = 36^{\circ}\text{C}$

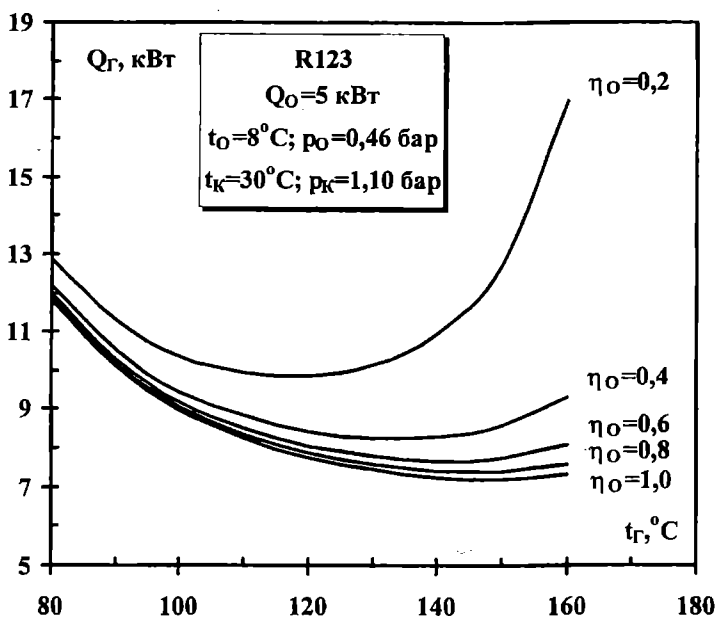


Рис. 11. Зависимость Q_G от температуры генерации t_g и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_k = 30^\circ\text{C}$

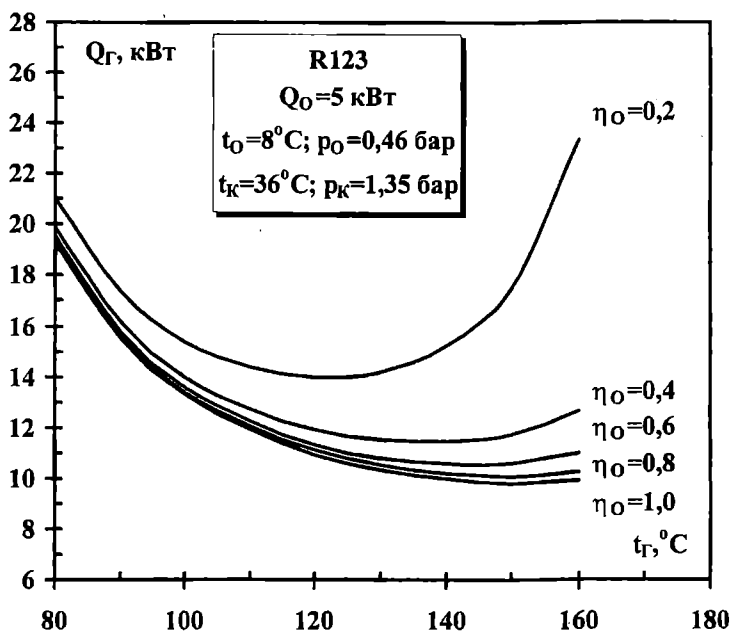


Рис. 12. Зависимость Q_G от температуры генерации t_g и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_k = 36^\circ\text{C}$

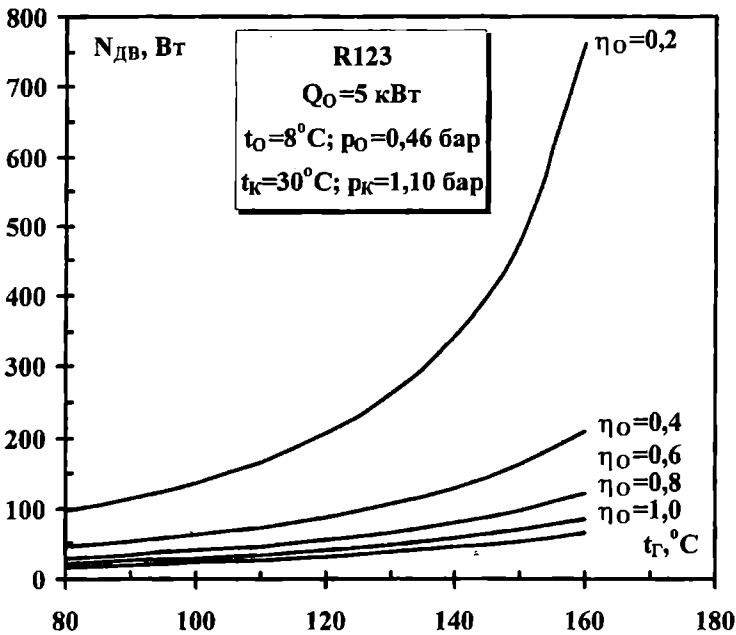


Рис. 13. Зависимость $N_{дв}$ от температуры генерации $t_{Г}$ и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_k = 30^\circ \text{C}$

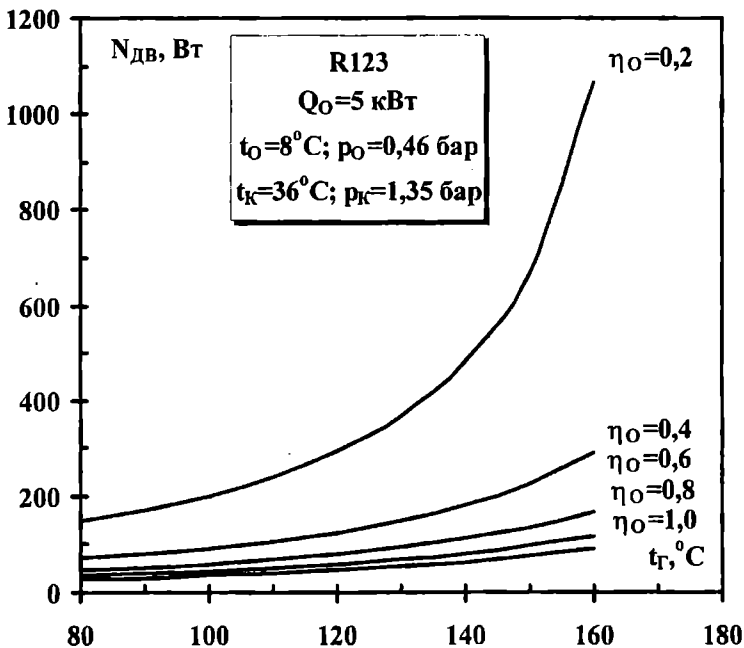


Рис. 14. Зависимость $N_{дв}$ от температуры генерации $t_{Г}$ и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_k = 36^\circ \text{C}$

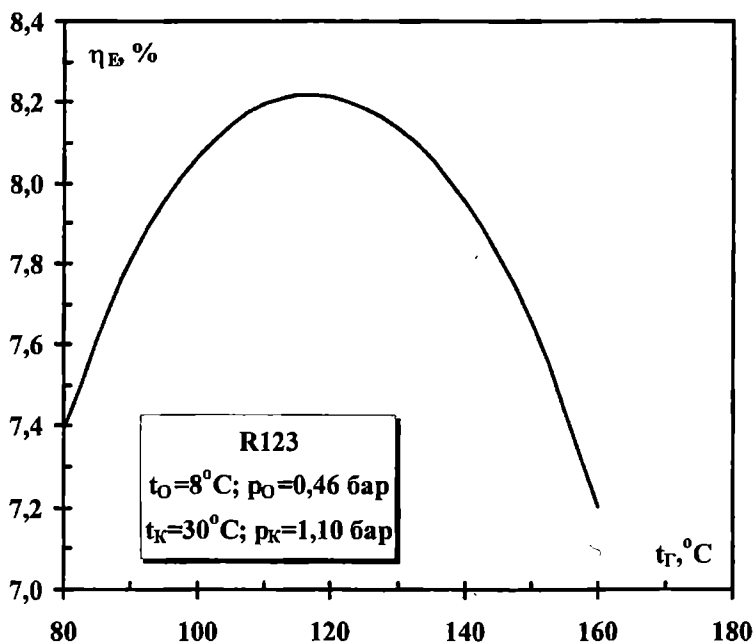


Рис. 15. Зависимость η_E от температуры генерации t_G для температуры конденсации $t_K = 30^\circ\text{C}$

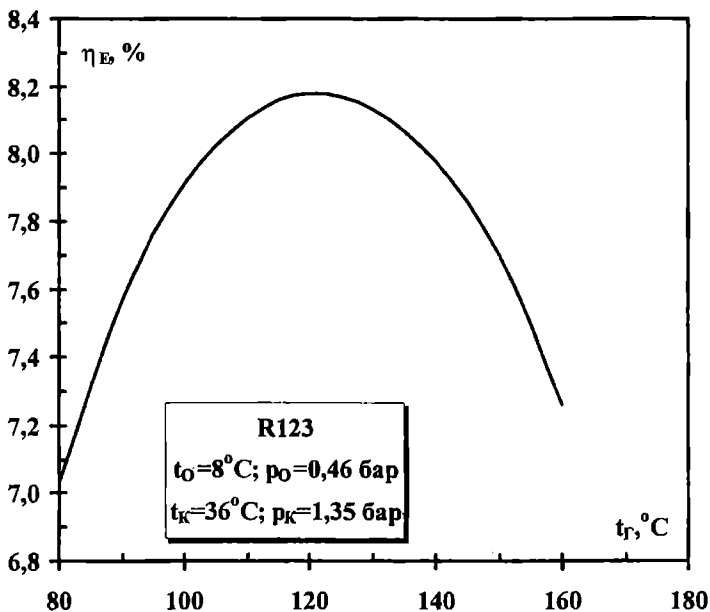


Рис. 16. Зависимость η_E от температуры генерации t_G для температуры конденсации $t_K = 36^\circ\text{C}$

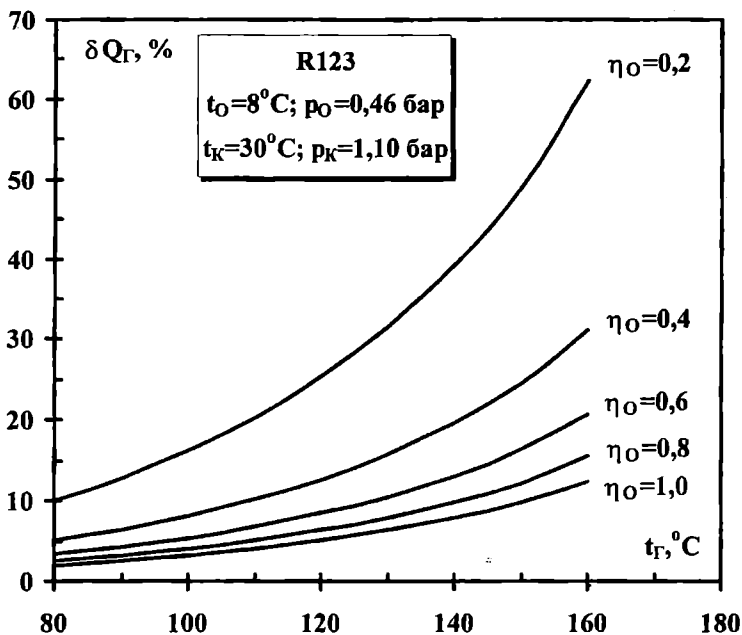


Рис. 17. Зависимость δQ_G от температуры генерации t_G и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_K = 30^\circ\text{C}$

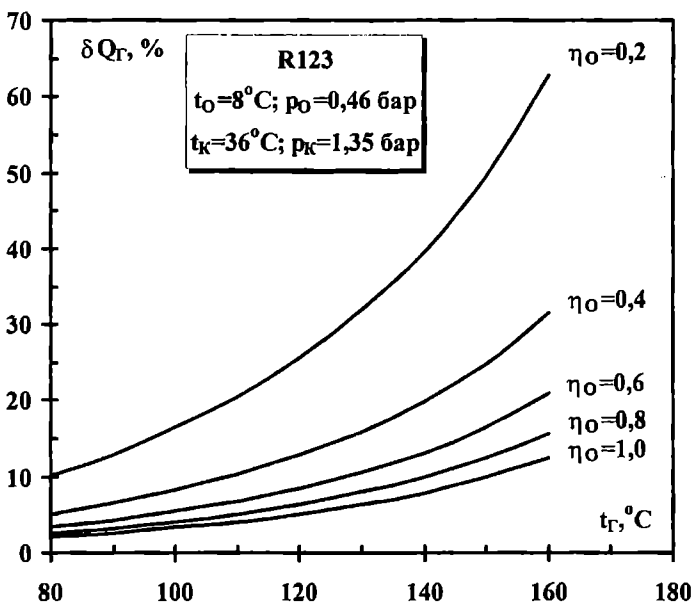


Рис. 18. Зависимость δQ_G от температуры генерации t_G и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_K = 36^\circ\text{C}$

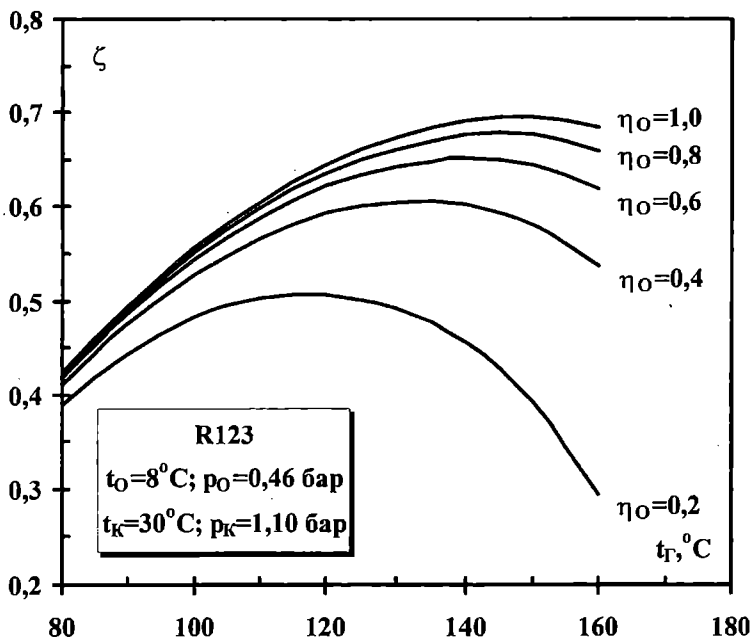


Рис. 19. Зависимость ζ от температуры генерации t_g КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_k = 30^\circ\text{C}$

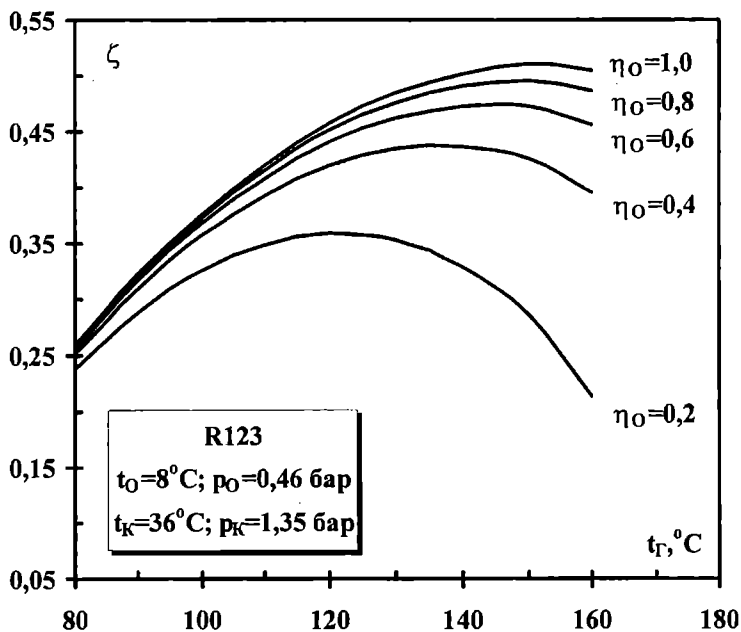


Рис. 20. Зависимость ζ от температуры генерации t_g и КПД ТПН η_0 для температуры конденсации $t_k = 36^\circ\text{C}$

Увеличение G_{P1} при повышении t_K , показанное на рис. 8, является следствием роста величины G_{P2} . Из рис. 7 и 8 также следует, что увеличение η_0 приводит к уменьшению величины G_{P1} .

Характер изменения $Q_{Г1}$, приведенных на рис. 9 и 10, соответствует характеру изменения G_{P1} .

Графики зависимости $Q_{Г} = f(t_{Г})$ для различных значений t_K и η_0 , показанные на рис. 11 и 12, имеют минимумы, которые смещаются в область более высоких температур генерации по мере увеличения значений t_K и η_0 .

Как следует из рис. 13 и 14, мощность двигателя $N_{ДВ}$ монотонно возрастает при увеличении $t_{Г}$, что объясняется ростом разности давлений $\Delta p = p_{Г} - p_{К}$. Увеличение t_K , несмотря на уменьшение Δp , также приводит к повышению $N_{ДВ}$. Это объясняется тем, что темп роста G_{P1} превышает темп уменьшения Δp . Из рис. 13 и 14 также следует, что увеличение η_0 приводит к уменьшению величины $N_{ДВ}$.

Кривые на рис. 15 и 16 отражают влияние $t_{Г}$ и t_K на эффективный КПД теплосиловой установки для привода ТПН. Из рисунков следует, что величина $\eta_E = f(t_{Г})$ имеет максимум, который при повышении t_K смещается в область более высоких температур генерации $t_{Г}$.

Доля теплоты генерации $\delta Q_{Г}$ на привод ТПН растет при повышении $t_{Г}$ и уменьшении η_0 , а также незначительно увеличивается при повышении t_K (рис. 17 и 18).

Из рис. 19 и 20 видно, что графики $\zeta = f(t_{Г})$ имеют максимумы, которые смещаются в область высоких температур генерации по мере увеличения значений t_K и η_0 . Эти графики дают возможность выбрать оптимальную температуру генерации $t_{Г}^{ОПТ}$ и определить максимальную расчетную величину $\zeta_{МАХ}$ при определенных значениях t_K и η_0 .

Из рис. 20 следует, что принятым расчетным значениям $t_K = 36^\circ\text{C}$ и $\eta_0 = 0,5$ соответствует оптимальная величина $t_{Г}^{ОПТ} = 140^\circ\text{C}$ и $\zeta_{МАХ} = 0,46$. Расход жидкого холодильного агента $G_P = G_{P1} + G_{P2}$, подаваемый с помощью ТПН в генератор АЭХМ, определяется с помощью графиков, приведенных на рис. 5 и 8.

Проектирование экспериментальной АЭХМ

В результате проведенного расчетно-теоретического анализа получены необходимые данные для разработки и проектирования ТПН, эжектора и экспериментальной АЭХМ.

На рис. 21 представлена конструкция разработанного ТПН двойного действия, состоящего из парового двигателя 1 и насоса 2, поршни которых 5 и 6 соединены штоком 3. Управление работой двигателя 1 производится золотниково-рычажным механизмом 4, в результате чего совершается возвратно-поступательное движение поршней 5 и 6, и при этом насос 2 осуществляет всасывание жидкого хладагента из конденсатора и нагнетание его в генератор.

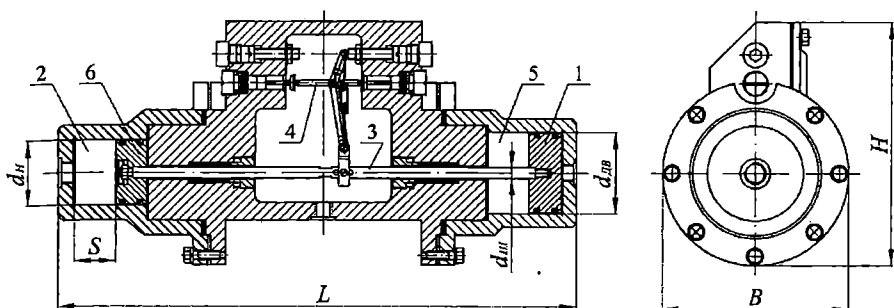


Рис. 21. Чертеж теплоиспользующего питательного насоса:
 1 – поршневой двигатель; 2 – поршневой насос; 3 – шток;
 4 – золотниково-рычажный механизм; 5, 6 – поршни

Внешний вид ТПН показан на рис. 22.

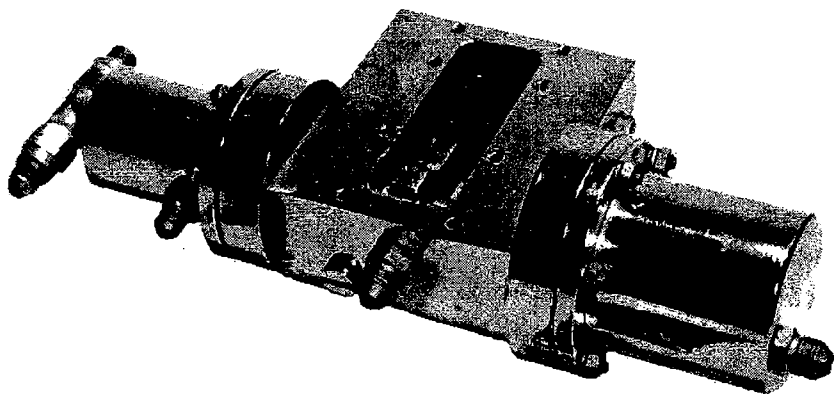


Рис. 22. Теплоиспользующий питательный насос

Определения основных конструктивных характеристик ТПН производится следующим образом.

Объемный расход рабочего вещества, подаваемого в генератор АЭХМ, определяется по выражению

$$V_P = v_6 \cdot G_P \quad (18)$$

Для определения диаметра рабочего цилиндра двигателя запишем уравнение баланса мощностей двигателя и насоса ТПН (4) в следующем виде:

$$S \cdot n \cdot \eta_O \cdot \frac{\pi \cdot (2 \cdot d_{ДВ}^2 - d_{Ш}^2)}{4} \cdot \Delta p = v_6 \cdot G_P \cdot \Delta p, \quad (19)$$

откуда после преобразований и упрощений получаем

$$d_{ДВ} = \sqrt{\frac{2 \cdot v_6 \cdot G_P}{\pi \cdot S \cdot n \cdot \eta_0} + \frac{d_{Ш}^2}{2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot V_P}{\pi \cdot S \cdot n \cdot \eta_0} + \frac{d_{Ш}^2}{2}}, \quad (20)$$

$$F_{ДВ} = \frac{\pi \cdot d_{ДВ}^2}{4}. \quad (21)$$

Диаметр и площадь насосного цилиндра определяются по формулам (22) и (23) соответственно

$$d_H = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot \lambda_H} \cdot \frac{v_6 \cdot G_P}{S \cdot n} + \frac{d_{Ш}^2}{2}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1}{\pi \cdot \lambda_H} \cdot \frac{V_P}{S \cdot n} + \frac{d_{Ш}^2}{2}}. \quad (22)$$

$$F_H = \frac{\pi \cdot d_H^2}{4}. \quad (23)$$

Для определения величин d_H и $d_{ДВ}$ необходимо задаться значениями S , $d_{Ш}$, λ_H и n . При этом следует учесть, что во избежание возникновения значительных сил инерции поступательно движущихся масс величина n не должна превышать 1 с^{-1} .

Для принятых расчетных значений $\eta_0 = 0,5$, $S = 0,03 \text{ м}$, $d_{Ш} = 0,008 \text{ м}$, $\lambda_H = 0,8$ и $n = 0,5 \text{ с}^{-1}$, получены следующие показатели ТПН: $V_P = 4,26 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$; $d_{ДВ} = 0,06 \text{ м}$; $F_{ДВ} = 0,0028 \text{ м}^2$; $d_H = 0,048 \text{ м}$; $F_H = 0,0018 \text{ м}^2$. Для разработанного ТПН габаритные размеры ($L \times B \times H$) составили $380 \times 136 \times 180 \text{ мм}$.

На рис. 23. приведена конструкция экспериментального эжектора со сменным соплом и камерой смешения, выполненной совместно с диффузором, которые имеют следующие основные геометрические характеристики: $f_{РХ} = 5,8 \text{ мм}^2$; $f_{Р1} = 38,8 \text{ мм}^2$; $f_2 = 192,0 \text{ мм}^2$; $f_3 = 120,0 \text{ мм}^2$; $\gamma = 2^\circ$; $\psi_1 = \psi_2 = 8^\circ$; $\beta = 1,6$; $l_C = 24 \text{ мм}$; $l_{КС} = 125 \text{ мм}$; $l_D = 150 \text{ мм}$.

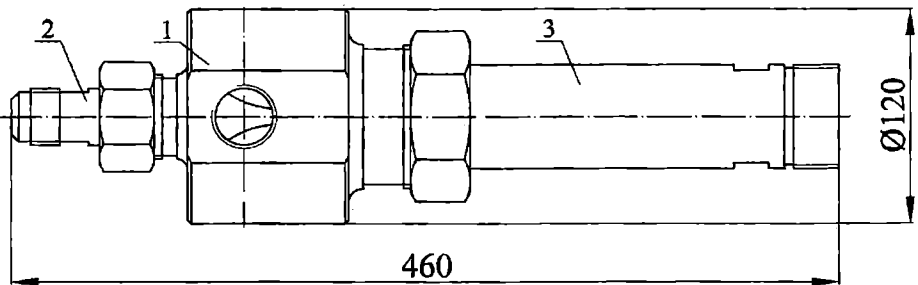


Рис. 23. Чертеж экспериментального эжектора:
1 – корпус; 2 – сопло; 3 – диффузор

Внешний вид эжектора, сопла и камеры смешения приведен на рис. 24.

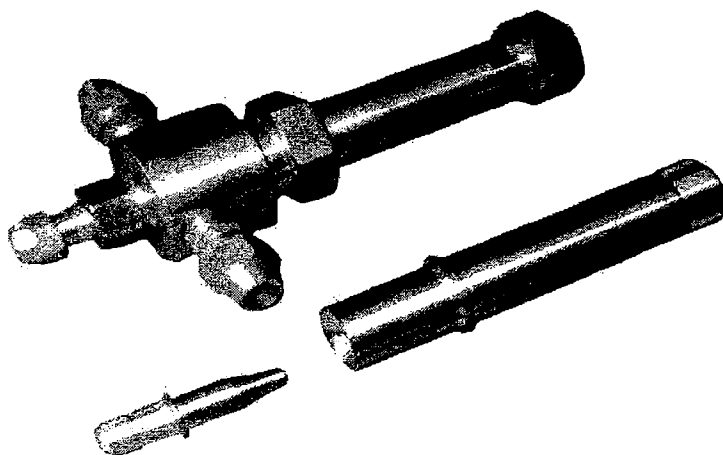


Рис. 24. Экспериментальный эжектор, сменное сопло и камера смешения

Основные расчетные показатели разработанной АЭХМ приведены в таблице.

Расчетные показатели АЭХМ

| Показатель | Значение |
|-------------------------------------------------------------------|----------|
| Холодопроизводительность Q_0 , кВт | 5,0 |
| Тепловой коэффициент ζ | 0,46 |
| Коэффициент эжекции U | 0,59 |
| Давление кипения p_0 , бар | 0,46 |
| Давление конденсации p_K , бар | 1,35 |
| Давление генерации p_G , бар | 17,56 |
| Мощность парового двигателя ТПН $N_{ДВ}$, Вт | 138,0 |
| Эффективный КПД η_E , % | 8,0 |
| Общий КПД ТПН η_0 | 0,5 |
| Расход холодильного агента через испаритель G_0 , г/с | 30,4 |
| Расход холодильного агента для привода ТПН G_{P1} , г/с | 9,7 |
| Расход холодильного агента для работы эжектора G_{P2} , г/с | 51,4 |
| Суммарный расход рабочего пара G_p , г/с | 61,1 |
| Расход холодильного агента через конденсатор G_K , г/с | 91,5 |
| Теплота генерации для привода ТПН $Q_{Г1}$, кВт | 1,73 |
| Теплота генерации для работы эжектора $Q_{Г2}$, кВт | 9,18 |
| Суммарная теплота генерации Q_G , кВт | 10,91 |
| Теплота конденсации Q_K , кВт | 15,91 |
| Тепловая нагрузка на РТО VI $Q_{РТОVI}$, кВт | 0,45 |
| Тепловая нагрузка на РТО VII $Q_{РТОVII}$, кВт | 2,28 |
| Доля тепла генерации, необходимого для привода ТПН δQ , % | 15,9 |

Чертеж общего вида экспериментальной АЭХМ представлен на рис. 25.

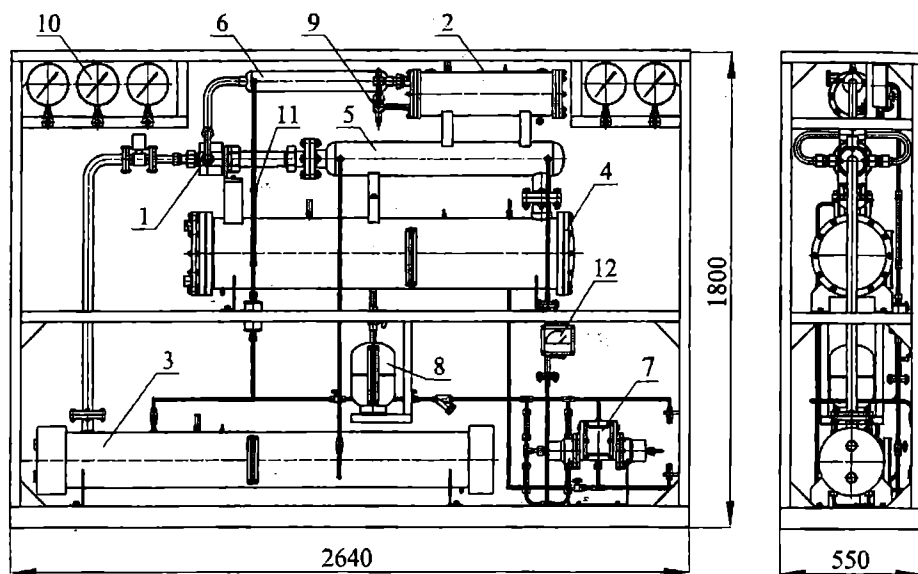


Рис. 25. Чертеж общего вида экспериментальной автономной эжекторной холодильной машины:

- 1 – эжектор; 2 – испаритель; 3 – генератор; 4 – конденсатор;
5, 6 – рекуперативные теплообменники; 7 – теплоиспользующий
питательный насос; 8 – ресивер; 9 – регулирующий вентиль;
10 – образцовые манометры; 11, 12 – расходомеры

При проектировании ЭХМ были использованы данные по серийно выпускаемым теплообменным аппаратам, запорно-регулирующей арматуре и другим вспомогательным элементам для определения энергетических и эксплуатационных показателей в схеме АЭХМ предусмотрено применение соответствующих контрольно-измерительных приборов.

Заключение

На основании проведенного расчетно-теоретического исследования выполнена разработка и проектирование ТПН, эжектора и экспериментальной судовой АЭХМ. В АЭХМ предусмотрено проведение испытаний в расчетном и нерасчетных режимах работы, плавное регулирование рабочих параметров и стабильное поддержание необходимых тепловых режимов, простое и надежное определение основных энергетических и эксплуатационных показателей холодильной машины.

Условные обозначения

B – ширина; d – диаметр; F – площадь; G – массовый расход; H – высота; L – длина; m – расходная характеристика; N – мощность; n – количество двойных ходов; p – давление; Q – теплота; q – удельная теплота; S – ход поршней; t – температура; V – объем; U – коэффициент эжекции; ζ – тепловой коэффициент; η – КПД; λ – коэффициент подачи; μ – молярная масса; v – удельный объем.

Нижние индексы

G – генератор; D – диффузор; $ДВ$ – двигатель; K – конденсатор; KP – критический; KC – камера смещения; H – насос; $НЦ$ – насосный цилиндр; O – испаритель, общий; P – рабочий; C – сопло; $Ш$ – шток; $МАХ$ – максимальный; S – нормальные условия; X – критический параметр; 1-14 – точки цикла, порядковые номера потоков хладагента, характерные сечения проточной части эжектора.

Верхние индексы

OPT – оптимальный; T – теоретический.

Литература

1. Захаров Ю.В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины. – Л.: Судостроение, 1972. – 568 с.
2. Петренко В.А. Исследование эжекторной холодильной машины на фреоне R142: Дис...канд. техн. наук. Одесса, 1978. 220 с.
3. Разработка и исследование опытного образца эжекторной холодильной машины общего назначения / В.А. Петренко, К.Б. Жук, А.С. Воловик // Холодильная техника и технология. – 2005. – № 2. – С. 5-16.
4. Разработка и проектирование автономного гелиоэжекторного кондиционера / В.А. Петренко, В.А. Ерин // Холодильная техника и технология. – 2005. – № 4. – С. 9-14.
5. Сравнительный анализ показателей эффективности эжекторной холодильной машины, использующей различные легкокипящие рабочие вещества / В.А. Петренко, И.Г. Чумак, А.С. Воловик // Холодильная техника и технология. – 2005. – № 5. – С. 25-36.
6. Соколов Е.Я. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
7. REFPROP – Thermodynamic and Transport Properties of Refrigerants and Refrigerant Mixtures // NIST Standard Reference Database 23 – Version 6.01.

Надійшла 11.01.06

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНДИЦИОНИРУЕМОГО ПОМЕЩЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА САУ ПОРТ

В статье приведены результаты исследований судового кондиционируемого помещения, как объекта регулирования по результирующей температуре.

Ключевые слова: ограждающие поверхности, коэффициент теплопередачи, радиационная температура, результирующая температура воздуха.

Наблюдаемый в последнее время в мировой судостроительной отрасли рост в сегментах грузовых, а также круизных судов, ведет к тому, что с каждым годом инженеры-конструкторы, проектировщики и судовладельцы все больше уделяют внимания оснащению судов по последнему слову техники. Основопологающим при этом становится обеспечение тепловлажностного комфорта в обитаемых помещениях судна, чем до последнего времени занимались всерьез только участники строительной отрасли.

Решая задачу обеспечения тепловлажностного комфорта в кондиционируемых помещениях судна, следует учитывать то, что теплоизбытки и влагоизбытки в помещениях определяются как внешними, так и внутренними тепловлажностными нагрузками. Они представляют собой динамический комплекс природных, бытовых и производственных воздействующих факторов с параметрами, достигающими экстремальных значений. Внешние тепловые нагрузки на кондиционируемое помещение зависят от переменных гидрометеорологических условий плавания судна и определяются теплом, поступающим через наружные ограждения ($Q_{огр.н}$) за счет разности температур между воздухом внутри помещения (T_y) и забортным (T_n); теплом поступающим через внутренние ограждения ($Q_{огр.в}$) за счет разности температур между воздухом внутри помещения (T_y) и за переборкой (T_k); теплом поступающим вследствие воздействия солнечной радиации ($Q_{рад}$). В течение суток также существенно изменяется интенсивность солнечной радиации. Так как процесс передачи тепла и интенсивность солнечной радиации имеют нестационарный характер, это приводит к отклонениям теплофизических свойств ограждений (коэффициентов теплопередачи, теплоотдачи) от их расчетных значений. При расчете системы комфортного кондиционирования воздуха (СККВ) проектировщиками не всегда учитывается нестационарный характер процесса передачи тепла через конструкции ог-

раждающих поверхностей. В результате вводится запас на воздухоподачу в помещение и возрастают расходы на тепловую обработку воздуха в СККВ. Учет нестационарных теплопритоков позволяет снизить тепловую нагрузку на помещение в сравнении с ее максимальной расчетной величиной, а значит сократить энергетические затраты на тепловую обработку воздуха в СККВ. Если учесть, что суда представляют металлические сооружения с высокой теплопроводностью, то становится ясно, насколько велико влияние внешних нестационарных нагрузок на формирование микроклимата в их помещениях. Источниками внутренних нагрузок помещений являются тепловлажностные выделения оборудования и людей. Кроме температуры и относительной влажности воздуха его подвижность в помещении также оказывает тепловое воздействие на человека. Объясняется это тем, что подвижность воздуха усиливает конвекцию и ускоряет испарения с поверхности кожи человека. Наиболее полно микроклимат воздушной среды в помещении оценивается совокупностью параметров: температурой воздуха (T_y); радиационной температурой (T_r); скоростью воздуха (ω_y); относительной влажностью (ϕ_y). Эти параметры являются комплексными оценками их суммарного влияния на организм человека. Выбор и поддержание оптимальных значений перечисленных параметров позволит обеспечить комфортные условия труда и отдыха в помещениях судна.

Наиболее полный, комплексный параметрический критерий обитаемой среды помещения был предложен А. Миссенаром. Суть метода заключается в определении результирующей температуры (РТ) воздуха по T_y , T_r , ω_y и ϕ_y . Метод широко используется при создании нормативной базы [1].

Однако проведенные рейсовые исследования по субъективной оценке комфортности микроклимата в обитаемых помещениях [2, 3, 4, 5] показали, что несмотря на повсеместное повышение комфортности воздушной сферы, факторы ее микроклимата остаются неблагоприятными. Общее число неудовлетворенных температурой, относительной влажностью, а также подвижностью воздуха в каютах летом составляет 57,3 %, а зимой – 53,5 %. Такие результаты объясняются необеспеченностью в помещении РТ в соответствии с ее нормируемыми значениями. Улучшить показатели микроклимата в помещениях возможно использованием современных систем автоматического управления (САУ) СККВ. Однако, в эксплуатируемых САУ оценка климатических условий в помещениях некорректна. Это связано с тем, что при управлении СККВ учитываются только данные по температуре и относительной влажности воздуха в помещении. Такой информации недостаточно для управления СККВ по РТ воздуха. В результате из-за невозможности оценить комплексный показатель комфортности воздушной среды в помещении с помощью существующих САУ СККВ, обесценивается не только идея использования САУ, но и сам метод и нормы оценки воздушной среды в

обитаемых кондиционируемых помещениях судов по РТ. Таким образом, актуальным становится создание САУ СККВ для поддержания комфортных условий микроклимата воздушной среды в помещениях по нормируемым значениям РТ воздуха. Рекомендуемая САУ должна целенаправленно изменять параметры микроклимата, приводя тем самым весь комплекс рассматриваемых параметров (T_y , T_r , ω_y и ϕ_y) к сочетанию их значений, обеспечивающих комфортность воздушной сферы.

Для разработки САУ СККВ по РТ воздуха в помещении необходимо иметь статистические и динамические характеристики помещения (его динамическую модель) как объекта регулирования по РТ. Динамическая модель помещения, как многопараметрического объекта регулирования по РТ, необходима для дальнейшего анализа САУ, выявления максимального числа внутренних связей, связывающих T_y , T_r , ω_y и ϕ_y , но не для исследования, например воздушного режима помещения.

Для описания статических и динамических характеристик кондиционируемого помещения применяются методы, основанные на использовании уравнений тепловлажностного баланса средних значений используемых входных и выходных параметров помещения [6, 7, 8, 9, 10]. Динамические характеристики кондиционируемых помещений описываются с помощью дифференциальных уравнений с допущениями в том, что по всему объему помещения происходит достаточно хорошее перемешивание воздуха, а само помещение рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами. Подобный подход оправдан стремлением привести математическую модель рассматриваемого звена САУ к виду, пригодному для дальнейших исследований СККВ в целом. Однако известные динамические модели обладают рядом исходных упрощений. В частности, отсутствует комплексное математическое описание кондиционируемого помещения, как многопараметрического объекта регулирования по РТ. Не учитываются радиационная составляющая теплопритоков, а также подвижность воздуха и способ воздухораспределения в кондиционируемом помещении. В результате ограничивается использование существующих моделей при разработке САУ СККВ по РТ. Отсутствие приемлемой динамической модели помещения, как объекта САУ по РТ, поставило конкретные задачи ее получения.

При выводе уравнений модели, описывающих динамические свойства помещения по каналам $T_n - T_{огр.н}$, $T_k - T_{огр.в}$, совместно решались уравнения теплового баланса для установившегося и неуставившегося режимов объекта регулирования. В результате были получены дифференциальные уравнения тепловых балансов для тонких стенок наружного (со стороны борта) и внутреннего (со стороны переборок) ограждений помещения следующего вида

$$(\delta_{л.н} + \delta_{из.н} + \delta_{отд.н}) \cdot \rho_{огр.н} \cdot C_{огр.н} \cdot F_{огр.н} \cdot \frac{dT_{огр.н}}{dt} = \frac{k_{огр.н} \cdot \varepsilon}{\alpha_n} \cdot F_{огр.н} \cdot q_n + k_{огр.н} \cdot F_{огр.н} \times (1)$$

$$\times (T_n - T_y) - \alpha_B \cdot F_{огр.н} \cdot (T_{огр.н} - T_y);$$

$$(\delta_{м.в} + \delta_{из.в} + \delta_{отд.в}) \cdot \rho_{огр.в} \cdot C_{огр.в} \cdot F_{огр.в} \cdot \frac{dT_{огр.в}}{d\tau} = k_{огр.в} \cdot F_{огр.в} \times \\ \times (T_{к} - T_{у}) - \alpha_{в} \cdot F_{огр.в} \cdot (T_{огр.в} - T_{у}),$$

где $\delta_{м}, \delta_{из}, \delta_{отд}$ – толщины конструкций металлической стенки, изоляции и декоративной обклейки (для морских судов толщина изоляции и зашивки борта обычно равна 0,4-0,5 м, толщина каютных переборок смежных с коридорами принимается равной 0,06-0,08 м, величина $\delta_{м} = 0,3$ м – сталь, $\delta_{из} = 0,106$ м – пенопласт фенолформальдегидный в плитах, декоративная отделка из павинола; для внутренних ограждений $\delta_{м} = 0,0015 \times 2$ м – алюминий, $\delta_{из} = 0,04$ м – грубошерстный технический войлок, пропитанный антисептиком и антипирином); $\rho_{огр}, C_{огр}$ – плотность и удельная массовая теплоемкость ограждения; $F_{огр.н}, F_{огр.в}$ – площади наружной и внутренней поверхностей ограждений; $k_{огр}$ – переменный коэффициент теплопередачи многослойного ограждения; $\alpha_{н}, \alpha_{в}$ – переменные коэффициенты теплоотдачи; ε – коэффициент поглощения солнечной радиации ограждения.

Для малых отклонений изменяемых параметров уравнения переходных процессов (1), с помощью преобразования Лапласа были приведены к виду

$$(\delta_{м.н} + \delta_{из.н} + \delta_{отд.н}) \cdot \rho_{огр.н} \cdot C_{огр.н} \cdot F_{огр.н} \cdot P \cdot \Delta T_{огр.н}(P) = \frac{k_{огр.н} \cdot \varepsilon \cdot F_{огр.н}}{\alpha_{н}} \cdot \Delta q_{н}(P) + (2) \\ + k_{огр.н} \cdot F_{огр.н} \cdot \Delta T_{н}(P) - k_{огр.н} \cdot F_{огр.н} \cdot \Delta T_{у}(P) - \alpha_{в} \cdot F_{огр.н} \cdot \Delta T_{огр.н}(P) - \alpha_{в} \cdot F_{н} \cdot \Delta T_{у}(P);$$

$$(\delta_{м.в} + \delta_{из.в} + \delta_{отд.в}) \cdot \rho_{огр.в} \cdot C_{огр.в} \cdot F_{огр.в} \cdot P \cdot \Delta T_{огр.в} = k_{огр.в} \cdot F_{огр.в} \cdot \Delta T_{к}(P) - \\ - k_{огр.в} \cdot F_{огр.в} \cdot \Delta T_{у}(P) - \alpha_{в} \cdot F_{огр.в} \cdot \Delta T_{огр.в}(P) - \alpha_{в} \cdot F_{огр.в} \cdot \Delta T_{у}(P).$$

Уравнения (2) через передаточные функции (табл. 1) можно записать в виде

$$\Delta T_{огр.н}(P) = W_{01} \left([W_{011}(P) \Delta T_{н}(P) + W_{012}(P) \Delta q_{н}(P) + W_{013}(P) \Delta T_{у}(P)] \right); (3)$$

$$\Delta T_{огр.в}(P) = W_{02} \left([W_{021}(P) \Delta T_{к}(P) + W_{022}(P) \Delta T_{у}(P)] \right).$$

По найденным значениям $\Delta T_{огр.н}(P)$ и $\Delta T_{огр.в}(P)$ определялось приращение радиационной температуры $\Delta T_{р}(P)$, являющейся осредненной по площади температурой наружной и внутренней ограждающих поверхностей помещения.

Действительные значения коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи ограждающих конструкций в уравнениях (1) и (2) суть переменные величины, зависящие от нестационарного характера скоростей наружного и внутреннего воздушных потоков, а также используемых способов подачи воздуха в помещение.

Так, коэффициент теплоотдачи от воздуха к наружной обшивке помещения определяется по формуле

$$\alpha_H = S_t \cdot c_v \cdot \rho_v \cdot \omega_H, \quad (4)$$

где S_t – критерий Стантона [11];

c_v, ρ_v – удельная теплоемкость и плотность воздуха, обтекающего борт судна;

ω_H – скорость воздушного потока за бортом.

Коэффициент теплоотдачи от внутреннего ограждения к воздуху в помещении α_B может быть определен с учетом [12] по формуле

$$\alpha_B = K \cdot K_p^{0,7}, \quad (5)$$

$$K_p = \left(\frac{2,16 \cdot 10^5 \cdot \omega_s \cdot F_0}{V} \right)^{2/3}, \quad (6)$$

где K_p – кратность циркуляции воздуха;

K – коэффициент, равный 1 при отрывных и равный 2 при настильных струях воздуха из каютного воздухораспределителя;

$\omega_s = \omega_0 \cdot \sqrt{\frac{m}{M}}$ – средняя скорость воздуха на истечении из каютного

воздухораспределителя;

ω_0 – скорость воздуха на истечении из каютного воздухо-распределителя; m – секундное поступление масс воздуха в помещение;

M – масса воздуха в помещении;

F_0 – площадь живого сечения выпускного отверстия каютного воздухо-распределителя;

V – объем воздуха в помещении.

С учетом зависимостей (4) и (5) были определены коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций помещения. Коэффициент теплопередачи через многослойное наружное ограждение определяется

исходя из того, что термические сопротивления металлической обшивки корпуса и относительно тонкого слоя декоративной отделки помещения малы и ими можно пренебречь. С учетом принятых допущений и переменного характера коэффициентов теплоотдачи α_H, α_B коэффициент теплопередачи наружного ограждения вычисляются по формуле

$$K_{\text{опр}} = \frac{\alpha_H}{1 + k_O \cdot \alpha_H} \quad (7)$$

Входящий в формулу (7) коэффициент k_O переменный и изменяется от 2,344 до 1,915 $\text{м}^2 \text{К/Вт}$. Он учитывает зависимость α_B от ω_B , а также термическое сопротивление слоя изоляции. Из расчетов также следует, что при изменениях скоростей обтекающего наружную поверхность ограждения воздуха (от 2 до 30 м/с) и воздуха в помещении (от 0,1 до 0,5 м/с), коэффициент теплопередачи $K_{\text{опр}}$ изменяется от 0,417 до 0,512 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$. Коэффициент теплопередачи через изолированные переборки кают смежных с коридорами также определяется по формуле (7). Переменный коэффициент k_O изменяется в пределах от 1,239 до 0,857 $\text{м}^2 \text{К/Вт}$. Из результатов расчетов следует, что при изменениях скоростей воздушного потока в коридоре ω_K от 0,1 до 0,8 м/с и воздуха в помещении ω_B от 0,1 до 0,5 м/с коэффициент теплопередачи $K_{\text{огр}}$ изменяется от 0,679 до 1,059 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$. Коэффициент теплопередачи остекления с учетом его термического сопротивления и подвижности воздуха в помещении определяется по формуле

$$K_{\text{ост}} = \frac{\alpha_H}{1 + k_c \alpha_H} \quad (8)$$

где коэффициент k_c изменяется от 0,483 до 0,1 $\text{м}^2 \text{К/Вт}$.

Из результатов расчетов следует, что при изменениях скоростей воздушного потока за бортом (от 2 до 30 м/с) и воздуха в помещении (от 0,1 до 0,5 м/с), коэффициент $K_{\text{ост}}$ изменяется от 1,866 до 7,143 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$.

С использованием динамической модели ограждающих поверхностей (3) были проведены исследования в MATLAB 6.5 – Simulink приращений радиационной температуры воздуха в помещении $\Delta T_p(P)$ при отрывных и настильных струях. Полученные результаты приведены на рис. 1-2.

При выводе уравнения модели, описывающего динамические свойства по каналу температура приточного воздуха – температура воздуха в помещении, использовалось для него уравнение теплового баланса. Помещение рассматривалось как объект с сосредоточенными параметрами с хорошим перемешивания воздуха в нем.

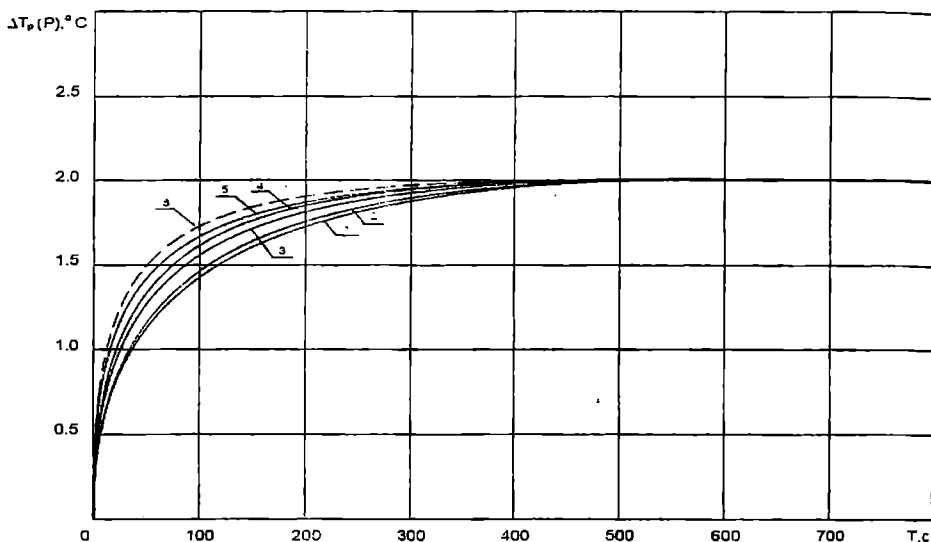


Рис. 1. Кривые переходных процессов изменения радиационной температуры воздуха в помещении при отрывных струях через воздухораспределитель ($1 - \omega_B = 0,1 \text{ м/с}$, ..., $6 - \omega_B = 0,6 \text{ м/с}$)

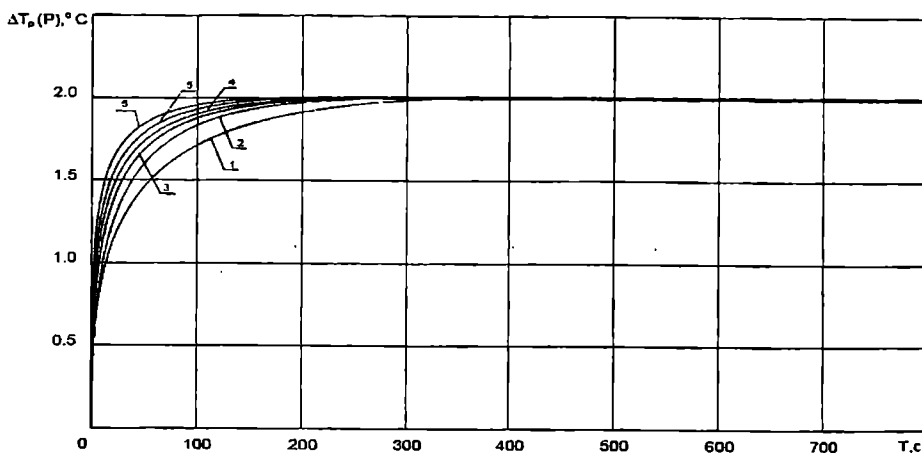


Рис. 2. Кривые переходных процессов изменения радиационной температуры воздуха в помещении при настильных струях через воздухораспределитель ($1 - \omega_B = 0,1 \text{ м/с}$, ..., $6 - \omega_B = 0,6 \text{ м/с}$)

Исходное уравнение теплового баланса для помещения имеет вид

$$M \cdot c_B \frac{\partial T_y}{\partial \tau} = G_{\Pi} c_B (T_{\Pi} - T_y) \pm Q_{ИЗБ}, \quad (9)$$

где $Q_{ИЗБ}$ – общие теплоизбытки в помещении;

M – масса воздуха в помещении;

G_{Π} – массовый расход приточного воздуха (0,052 кг/с);

c_B – его удельная теплоемкость.

Общие теплоизбытки $Q_{ИЗБ}$ в уравнении (9) определяются по формуле

$$Q_{ИЗБ} = \sum Q_{ОГР} + \sum Q_{ВН} \pm Q_{ИНФ}, \quad (10)$$

где $\sum Q_{ОГР}$ – суммарные теплопритоки через наружные ограждения ($\sum Q_{ОГР} = Q_{ОГР.Н} + Q_{ОГР.В} + Q_{ОСТ}$; $Q_{ОГР.Н}$, $Q_{ОГР.В}$ – тепловые потоки через изолированные наружные и внутренние поверхности ограждений помещения; $Q_{ОСТ}$ – тепловой поток через иллюминаторы); $\sum Q_{ВН}$ – суммарные внутренние теплопритоки. $\sum Q_{ВН} = Q_{ЯЛ} + Q_{ОСВ} + Q_{ОБОР} + Q_{СКР}$; $Q_{ЯЛ}$ – теплопритоки от людей с учетом их физической деятельности; $Q_{ОСВ}$, $Q_{ОБОР}$ – теплопритоки от освещения и от оборудования; $Q_{СКР}$ – скрытые теплопритоки); $Q_{ИНФ}$ – тепло, вносимое воздухом при инфильтрации.

После подстановок в (9) компонентов $Q_{ИЗБ}$, а также конструктивных и теплотехнических характеристик помещения уравнение переходного процесса для малых отклонений изменяемых параметров, используя преобразование Лапласа было приведено к виду

$$\begin{aligned} \frac{M}{G_{\Pi}} \cdot p \Delta T_y(p) = & \Delta T_{\Pi}(p) - \Delta T_y(p) + \frac{\alpha_B F_{ОГРН}}{G_{\Pi} c_B} \Delta T_{ОГРН}(p) - \frac{\alpha_B F_{ОГРВ}}{G_{\Pi} c_B} \Delta T_y(p) + \frac{k_{ОГРН} F_{ОГРН}}{\alpha_H G_{\Pi} c_B} \Delta q_H(p) - \\ & \frac{\alpha_B F_{ОГРВ}}{G_{\Pi} c_B} \Delta T_y(p) + \frac{\alpha_B F_{ОГРВ}}{G_{\Pi} c_B} \Delta T_{ОГРВ}(p) + \frac{n_{ОСТ} F_{ОСТ}}{G_{\Pi} c_B} \Delta q_H(p) + \frac{k_{ОСТ} F_{ОСТ}}{G_{\Pi} c_B} \Delta T_H(p) - \\ & \frac{k_{ОСТ} F_{ОСТ}}{G_{\Pi} c_B} \Delta T_y(p) + \frac{n_{Л}}{G_{\Pi} c_B} \Delta q_{ЯЛ}(p) + \frac{1}{G_{\Pi} c_B} \sum N_{ОСВ} + \frac{1}{G_{\Pi} c_B} \sum Q_{ОБОР} + \frac{2550 n_{Л}}{3600 G_{\Pi} c_B} \Delta q_{Л}(p) + \\ & + \frac{2550 M_{ИНФ}}{3600 G_{\Pi} c_B} \Delta d_y(p) - \frac{2550 M_{ИНФ}}{3600 G_{\Pi} c_B} \Delta d_K(p) \pm \frac{M_{ИНФ}}{G_{\Pi}} \Delta T_y(p) \mp \frac{M_{ИНФ}}{G_{\Pi}} \Delta T_K(p) - \frac{k_T}{G_{\Pi} c_B} \Delta G_{\Pi}(p) \end{aligned} \quad (11)$$

где n – число иллюминаторов в каюте; $n_{Л}$ – число человек в каюте;

ϵ, ϵ'_p – коэффициенты поглощения наружным ограждением и остеклением; τ – коэффициент пропускания солнечной радиации; N_{OCB} , – мощность источников освещения; $q_{ял}, g_{л}$ – тепло и влаговыделения человека; $F_{ост}$ – площадь остекленной поверхности; $M_{инф}$ – масса воздуха, проникающая в кондиционируемое помещение при открывании двери и через щели.

После преобразований (11) получено уравнение динамической модели помещения вида

$$\begin{aligned} \Delta T_y(P) = & W_{T1}(P) \{ \Delta T_{п}(P) - [W_{T2}(P) + W_{T3}(P) - W_{T4}(P) \mp W_{T5}(P)] \Delta T_y(P) + \\ & + [W_{T6}(P) + W_{T7}(P)] \Delta q_{н}(P) + W_{T8}(P) \Delta T_{н}(P) + W_{T9}(P) \Delta q_{ял}(P) + \\ & + W_{T10}(P) \Delta N_{OCB}(P) + W_{T11}(P) \Delta Q_{обор}(P) + W_{T12}(P) \Delta g_{л}(P) + W_{T13}(P) \Delta \varphi_y(P) - \\ & - W_{T14}(P) \Delta \varphi_k(P) \pm W_{T15}(P) \Delta T_k(P) - W_{T16}(P) \Delta G_{п}(P) + W_{T17}(P) \Delta T_{огр.н}(P) + \\ & + W_{T18}(P) \Delta T_{огр.в}(P) \}, \end{aligned} \quad (12)$$

где $W_{T1} \dots W_{T18}(P)$ – передаточные функции, параметры которых приведены в таблице 1.

При выводе уравнения модели, описывающего динамические свойства помещения по каналу относительная влажность приточного воздуха – относительная влажность воздуха в помещении использовалось уравнение материального баланса (баланса влаги) в помещении

$$M \frac{\partial d_y}{\partial \tau} = G_{п}(d_{п} - d_y) + n_{л} g_{л} \pm M_{инф}(d_y - d_k), \quad (13)$$

где $d_{п}, d_y, d_k$ – влагосодержание приточного воздуха, воздуха в помещении и инфильтрующего воздуха

Уравнение (13) с помощью преобразования Лапласа приведено к виду

$$MP \Delta d_y(P) = G_{п} \Delta d_{п}(P) - G_{п} \Delta d_y(P) + n_{л} g_{л} \pm M_{инф} \Delta d_y(P) \mp M_{инф} \Delta d_k. \quad (14)$$

Используя передаточные функции (табл.1), уравнение (14) можно записать в виде

$$\begin{aligned} \Delta \varphi_y(P) = & W_{B1}(P) [\Delta \varphi_{п} W_{B2}(P) + \Delta g_{л}(P) W_{B3}(P) + \Delta G_{п}(P) W_{B4}(P) \mp \\ & \mp \Delta \varphi_k(P) W_{B5}(P) \pm \Delta \varphi_y(P) W_{B6}(P) - \Delta T_y(P) W_{B7}(P)] . \end{aligned} \quad (15)$$

При выводе уравнения динамической модели по каналу «скорость воздуха на выходе воздухораспределительного устройства ($\omega_{вых}$) – скорость воздуха в помещении ($\omega_{ср.в}$)» учитывалось, что аэродинамическая

Судовые установки и механизмы

обстановка в помещении характеризуется средним значением скорости воздуха по высоте и площади помещения.

Таблица 1

Динамические параметры кондиционируемого помещения

| Передач- ные функции $W_i(P)$ | Каналы воздействий $X_{\text{вых}}(P)/X_{\text{вх}}(P)$ | Коэффициенты передачи, К | | Постоянные времени, $T, \text{сек}$ |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
| | | Величина | Размер- ность | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $W_{01}(P)$ | $\Delta T_4(P)/\Delta T_3(P)$ | — | — | 30,72...165,58 |
| $W_{011}(P)$ | $\Delta T_1(P)/\Delta T_H(P)$ | $4,42 \cdot 10^{-2} \dots 19,6 \cdot 10^{-2}$ | — | |
| $W_{012}(P)$ | $\Delta T_2(P)/\Delta q_H(P)$ | $3,0 \cdot 10^{-4} \dots 4,2 \cdot 10^{-3}$ | $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$ | |
| $W_{013}(P)$ | $\Delta T_6(P)/\Delta T_5(P)$ | $8,04 \cdot 10^{-1} \dots 9,55 \cdot 10^{-1}$ | — | |
| $W_{02}(P)$ | $\Delta T_9(P)/\Delta T_8(P)$ | — | — | |
| $W_{021}(P)$ | $\Delta T_7(P)/\Delta T_R(P)$ | $8 \cdot 10^{-2} \dots 3,19 \cdot 10^{-1}$ | — | |
| $W_{022}(P)$ | $\Delta T_{11}(P)/\Delta T_{10}(P)$ | $6,8 \cdot 10^{-1} \dots 9,2 \cdot 10^{-1}$ | — | |
| $WT1(P)$ | $\Delta T_y(P)/\Delta T_{16}(P)$ | — | — | 3081,66 |
| $WT2(P)$ | $\Delta T_{27}(P)/\Delta T_y(P)$ | $2,05 \cdot 10^{-1} \dots 11,07 \cdot 10^{-1}$ | — | |
| $WT3(P)$ | $\Delta T_{28}(P)/\Delta T_y(P)$ | $2,05 \cdot 10^{-1} \dots 11,07 \cdot 10^{-1}$ | — | |
| $WT4(P)$ | $\Delta T_{29}(P)/\Delta T_y(P)$ | $1,93 \cdot 10^{-1} \dots 8,33 \cdot 10^{-1}$ | — | |
| $WT5(P)$ | $\Delta T_{30}(P)/\Delta T_y(P)$ | $3,344 \cdot 10^{-2}$ | — | |
| $WT6(P)$ | $\Delta T_{12}(P)/\Delta q_H(P)$ | $2,61 \cdot 10^{-3} \dots 3,87 \cdot 10^{-3}$ | $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$ | |
| $WT7(P)$ | $\Delta T_{13}(P)/\Delta q_H(P)$ | $5,804 \cdot 10^{-3}$ | $\text{м}^2\text{К}/\text{Вт}$ | |
| $WT8(P)$ | $\Delta T_{14}(P)/\Delta T_H(P)$ | $1,93 \cdot 10^{-1} \dots 8,33 \cdot 10^{-1}$ | — | |
| $WT9(P)$ | $\Delta T_{17}(P)/\Delta q_{ЯЛ}(P)$ | $3,853 \cdot 10^{-2}$ | $\text{К}/\text{Вт}$ | |
| $WT10(P)$ | $\Delta T_{18}(P)/\Delta \text{НОСВ}(P)$ | $1,929 \cdot 10^{-2}$ | $\text{К}/\text{Вт}$ | |
| $WT11(P)$ | $\Delta T_{19}(P)/\Delta \text{ОБОР}(P)$ | $1,929 \cdot 10^{-2}$ | $\text{К}/\text{Вт}$ | |
| $WT12(P)$ | $\Delta T_{21}(P)/\Delta g_{Л}(P)$ | $2,731 \cdot 10^{-2}$ | $\text{К}/\text{Вт}$ | |
| $WT13(P)$ | $\Delta T_{34}(P)/\Delta \varphi_y(P)$ | $4,50 \cdot 10^{-5}$ | $\text{кгК}/\text{Вт}$ | |
| $WT14(P)$ | $\Delta T_{25}(P)/\Delta \varphi_K(P)$ | $4,50 \cdot 10^{-5}$ | $\text{кгК}/\text{Вт}$ | |
| $WT15(P)$ | $\Delta T_{22}(P)/\Delta T_K(P)$ | $3,344 \cdot 10^{-2}$ | — | |
| $WT16(P)$ | $\Delta T_{23}(P)/\Delta G_{П}(P)$ | $4,389 \cdot 10^{-2}$ | $\text{К}^2\text{с}/\text{кг}$ | |
| $WT17(P)$ | $\Delta T_{32}(P)/\Delta T_4(P)$ | $2,05 \cdot 10^{-1} \dots 11,07 \cdot 10^{-1}$ | Вт | |
| $WT18(P)$ | $\Delta T_{33}(P)/\Delta T_9(P)$ | $2,05 \cdot 10^{-1} \dots 11,07 \cdot 10^{-1}$ | — | |
| $WB1(P)$ | $\Delta \varphi_8(P)/\Delta \varphi_6(P)$ | 5,405 | — | 3081,66 |
| $WB2(P)$ | $\Delta \varphi_1(P)/\Delta \varphi_{п}(P)$ | $9,91 \cdot 10^{-2}$ | — | |
| $WB3(P)$ | $\Delta \varphi_2(P)/\Delta g_{л}(P)$ | 0,385 | $\text{с}/\text{кг}$ | |
| $WB4(P)$ | $\Delta \varphi_3(P)/\Delta \Delta \varphi_K(P)$ | $1,658 \cdot 10^{-4}$ | — | |
| $WB5(P)$ | $\Delta \varphi_4(P)/\Delta G_{п}(P)$ | $8,474 \cdot 10^{-3}$ | $\text{с}/\text{кг}$ | |
| $WB6(P)$ | $\Delta \varphi_7(P)/\Delta \varphi_8(P)$ | $3,317 \cdot 10^{-4}$ | — | |
| $WB7(P)$ | $\Delta \varphi_9(P)/\Delta T_y(P)$ | $3,588 \cdot 10^{-3}$ | $1/\text{К}$ | |

Эта скорость воздуха в помещении с учетом [13] определяется по формуле

$$\omega_{CP.B} = 4,63 \cdot 10^{-6} Kp^{3/2} \frac{V}{F_0}, \quad (16)$$

где Kp – кратность воздухообмена;

V – объем воздуха в помещении.

Используемый способ распределения воздуха в помещении определяет эффективность использования СККВ. При выводе уравнения модели по скорости воздуха учитывались конструктивные особенности воздухораспределительных устройств панельного типа. Было принято, что воздухораспределитель обеспечивает среднюю скорость воздуха по всему объему помещения, определяемую по формуле (16). Уравнение модели по каналу «скорость воздуха на выходе воздухораспределительного устройства – скорость воздуха в помещении» имеет вид

$$\Delta \omega_{CP.B}(P) = W_{\omega}(P) \Delta \omega_{ВЫХ}(P), \quad (17)$$

где $W_{\omega}(P) = K_{\omega} = 0.1559$.

При определении коэффициента передачи K_{ω} учитывались расход воздуха и площадь живого сечения панели воздухораспределителя.

Полученные уравнения (3), (12), (15) и (17) являются уравнениями математической модели кондиционируемого помещения судна как объекта регулирования по РТ. На их основе была разработана структурная схема динамической модели помещения (рис. 3). Схема использовалась для исследования динамических свойств помещения в MATLAB 6.5 – Simulink.

Полученные результаты моделирования при ступенчатом характере возмущающих воздействий по каналам $\Delta T_H - \Delta T_Y$ и $\Delta \varphi_{II} - \Delta \varphi_Y$ приведены на рис. 4 и 5. Полученные характеристики отражают переходной процесс в помещении при отклонениях T_{II} и φ_{II} . При проведении исследования приращения параметров модели по схеме рис. 3 составили:

$$\Delta T_H = 2^{\circ}C; \Delta \omega_{ВЫХ} = 0,1 \dots 0,5 м/с; \Delta q_H = 10 Вт, \Delta q_{OCT} = 5 Вт, \Delta q_{ЯЛ} = 0,5 Вт, \Delta g = 0,023 Г/с; \\ \Delta Q_{OCB} = \Delta Q_{OБOP} = 10 Вт, \Delta G_{II} = 0,01 кг/с; \Delta \omega_H = 2 м/с; \Delta \varphi'_x = 0,2.$$

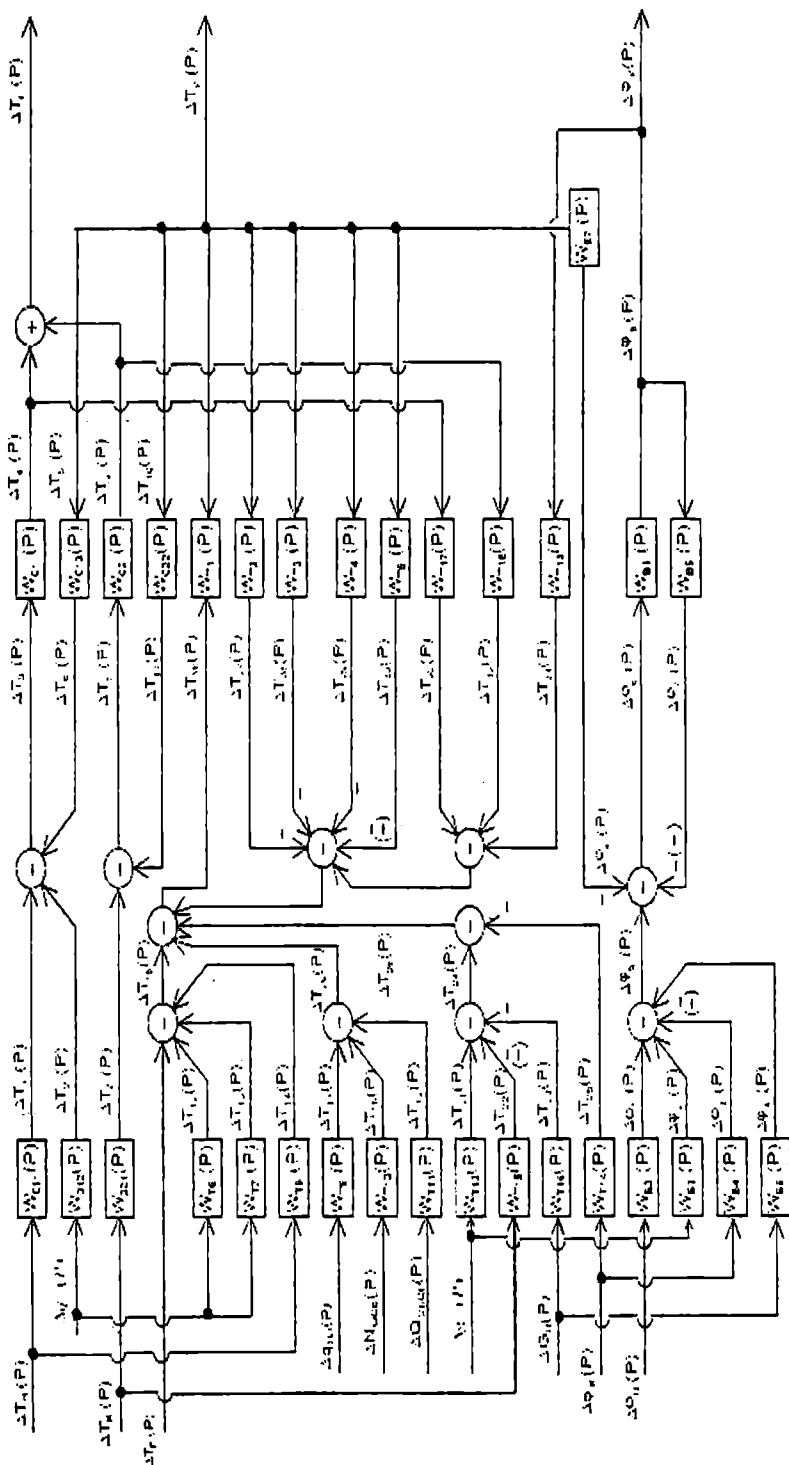


Рис. 3. Структурная схема динамической модели кондиционируемого помещения

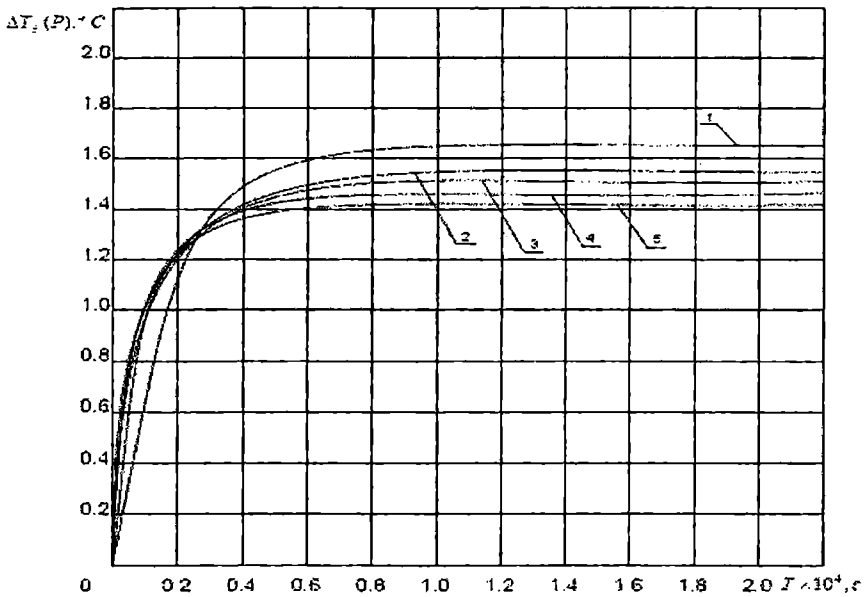


Рис. 4. Переходной процесс изменения температуры воздуха в помещении T_y при отрывных струях воздухораспределения

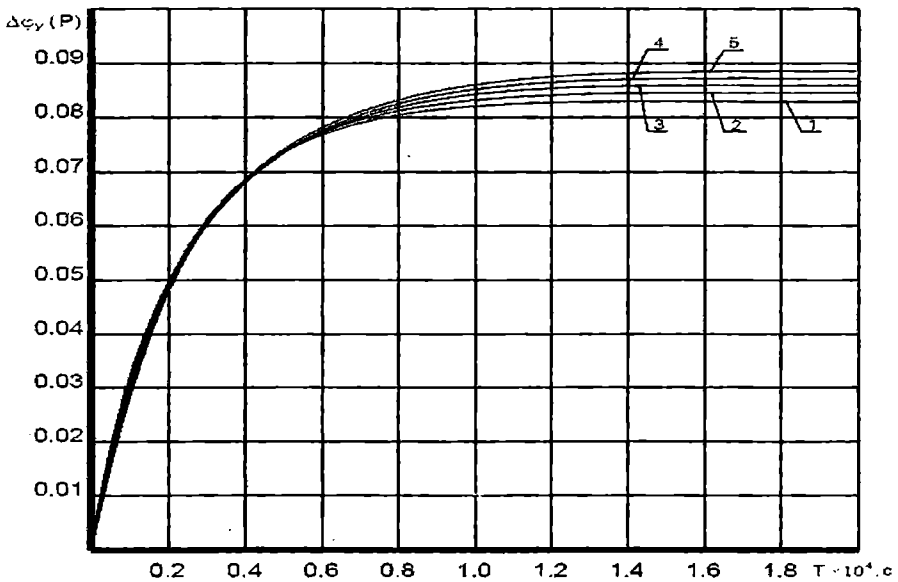


Рис. 5. Переходной процесс изменения относительной влажности воздуха в помещении ϕ_y

Анализ полученных результатов показал, что математическое описание помещения как объекта регулирования по РТ отражает

реальные процессы, происходящие в кондиционируемом помещении судна. Это позволяет использовать модель для разработки энергоэффективной САУ СККВ по РТ, обеспечивающей микроклимат воздушной среды в каютах согласно действующим нормативным положениям. Учет нестационарной теплопроводимости ограждающих поверхностей кондиционируемого помещения позволит сократить энергетические затраты на тепловую обработку воздуха в управляемой СККВ, а, значит, снизить расчетную тепловую нагрузку на установку кондиционирования в сравнении с максимальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 47.029.90. Судовые системы вентиляции и кондиционирования воздуха.
2. Кринецкий И.И., Вычужанин В.В. Исследование эффективности работы центрального кондиционера типа «СФ ДУО-ВЕНТ» на теплоходе «Казахстан» // Морской транспорт. Техническая эксплуатация флота. – 1982.
3. Жиакко М. Сравнительный анализ двух методик оценки климатического комфорта на примере систем климатизации морского круизного лайнера // АВОК. – 2005. – № 1.
4. Бурцев С.И., Цветков Ю.Н. Тепловой и газовый комфорт с учетом индивидуальных особенностей человека // Тепло-энергоэффективные технологии. – 2002. – № 1.
5. Демидова Т.В., Пеядло Э.М., Антошина Е.В. Факторы условий труда и их влияние на заболеваемость моряков // Вісник морської медицини. – 2001. – № 1 (13).
6. Архипов Г.В., Архипов В.Г. Автоматизированные установки кондиционирования воздуха. – М.: Энергия, 1975.
7. Сотников А.Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции. – Л.: Машиностроение, 1984.
8. Рымкевич А.А., Халамейзер М.Б. Управление системами кондиционирования воздуха. – М.: Машиностроение, 1977.
9. Четверухин Б.М. Контроль и управление искусственным микроклиматом. – М.: Стройиздат, 1984.
10. Нефелов С.В. Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1984.
11. Нестеров Ю.Ф. Теория и расчет судовой тепловой изоляции. – Л.: Судостроение. – 1973.
12. Сотников А.Г. Определение воздухоподачи в судовое кондиционируемое помещение на основе учета его теплоаккумуляции // Судостроение. – 1978. – № 3.

13. *Бурцев С.И., Нефедова Т.В. Определение средней скорости воздуха в кондиционируемом помещении // Судостроение. – 1981. – № 12.*

Надійшла 12.01.06

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА РАЗДЕЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ MALIN 6000 И DOCTOR

В статье приведен обзор характеристик и функциональных возможностей двух систем мониторинга и диагностики судовых дизелей по параметрам рабочего процесса. Дан сравнительный анализ их характеристик.

Ключевые слова: рабочий процесс, топливная аппаратура, среднее индикаторное давление, фазовый датчик, топливоподача, газораспределение.

Анализ эксплуатационных качеств элементов судовых энергетических установок показывает, что наибольшие эксплуатационные потери связаны с отказами главных и вспомогательных дизелей. При этом 70-90 % всех отказов приходится на главные дизели и обслуживающие их системы и 10-18% – на вспомогательные дизели. Наиболее частые отказы дизелей (кроме отказов подшипников и элементов КШМ) связаны с системой топливоподачи (форсунки и ТНВД) и механизмами газораспределения [1, 2]. В связи с этим диагностика СДВС по параметрам рабочего процесса является актуальной и в значительной мере позволяет техническому персоналу осуществлять эффективную и безаварийную эксплуатацию СЭУ.

В настоящее время на флоте применяются в основном портативные переносные системы компьютерной диагностики СДВС, реализующие метод «разделенного мониторинга». В таких системах отсутствуют стационарные кабельные трассы, центральный блок системы работает под управлением контроллера с аналоговой периферией и достаточным объемом оперативной (до 256 кБ) и энергонезависимой (до 1 МБ) flash памяти. В системах предусмотрена передача данных индицирования на персональный компьютер, где производится расчет и анализ рабочего процесса. Существенно (по сравнению со стационарными системами) снижена стоимость таких систем, что способствует их большему распространению на судах морского флота. В переносных системах используется как аппаратная, так и программная синхронизация данных. Программная синхронизация позволяет не использовать датчик на маховике и получать данные непосредственно во время эксплуатации дизеля.

Система Malin 6000 Engine Performance Analyser © (по материалам Malin Instruments Ltd. [3])

Malin 6000 – последняя разработка Malin Instruments Ltd. – коммерческая портативная система, предназначенная для анализа рабочего процесса дизеля. Первые системы **Malin** по функциональности были немногим больше, чем максиметры с графическими дисплеями, анализирующие только давление в цилиндре. В системе **Malin 6000** добавлены новые возможности для анализа и хранения данных после передачи их на персональный компьютер. Упрощен пользовательский интерфейс и одновременно расширены его возможности. Уменьшена стоимость системы. Полный комплект оборудования **Malin 6000** вместе с кабелями и датчиками помещается в два специальных переносных чемодана. Общий вес системы около 10 кг.

Фирма заявляет следующие возможности **Malin 6000**:

- прочное промышленное исполнение и эргономичный дизайн;
- возможность быстрой настройки на любой тип двигателя;
- увеличенная емкость внутренней памяти;
- упрощенное управление прибором (большинство команд выполняется нажатием на кнопку «ОК»);
- настраиваемый вид отчета;
- возможность использования вибродатчика;
- автоматическое определение угла опережения впрыскивания топлива;
- возможность наложения диаграмм давления топлива (при установке соответствующего датчика);
- использование оптического или магнитного датчика на маховике для синхронизации данных (возможность использования в качестве маркеров зубьев маховика).

Для точной синхронизации на 2-х тактных МОД используется прецизионный AVS© – датчик угла поворота коленчатого вала и осуществляется непосредственный вывод графической информации на внутренний экран прибора или на удаленный ПК.

Malin 6000 производит запись диаграмм давления, синхронизированных по углу поворота коленчатого вала. На практике давление измеряется через стандартный индикаторный кран. Как и в большинстве систем, в **Malin 6000** делается допущение об отсутствии фазовых задержек при передаче сигнала давления. Диаграммы могут быть представлены в «P-V координатах».

Если бы двигатель вращался с постоянной угловой скоростью, тогда было бы достаточно делать запись давления равномерно по времени и использовать частоту вращения двигателя, чтобы определить соответствующие углы поворота КВ. Этот подход используется в **Malin 6000** при частотах вращения двигателя более чем 120 оборотов в минуту.

На больших частотах вращения угловая скорость принимается постоянной и допускается определять единственную точку для обеспечения инженерной точности расчетов. Данное положение не верно для малооборотных двигателей МОД, где возможны существенные изменения угловой скорости вращения во время одного цикла. Как показал эксперимент, для частоты вращения свыше 120 оборотов в минуту фазовые ошибки синхронизации при равномерной записи давления меньше, чем $0,5^\circ$ ПКВ. С уменьшением частоты вращения коленчатого вала фазовые ошибки увеличиваются, что приводит к существенным погрешностям в определении среднего индикаторного давления (MIP, P_i).

Наиболее часто используемый метод определения положения поршня состоит в том, чтобы использовать один или два магнитных датчика: один – для определения положения ВМТ поршня и другой – для записи импульсов от прохождения зубьев маховика. Этот метод не достаточно точен для МОД, т.к. типичный маховик имеет приблизительно 100 зубьев, что обеспечивает разрешение $3,6^\circ$ ПКВ.

Для решения этой проблемы в **MALIN 6000** используется прецизионный датчик угловой скорости AVS(c), предназначенный для использования в МОД, который является по существу ротационным кодирующим устройством, вырабатывающим 3600 импульсов за один оборот двигателя, что обеспечивает фазовую погрешность $0,1^\circ$ ПКВ. Потребность в точном определении фаз важна для определения среднего индикаторного давления $IMEP$, но не настолько важна для других практических диагностических выводов.

Исходная точка для регистрации давления – нижняя мертвая точка (НМТ) каждого цилиндра. Эта точка рассчитывается как время (или число AVS-импульсов) после ВМТ на Цилиндре 1, положение которого фиксируется посредством оптического датчика и наклеенной на маховике отражательной ленты, с учетом углов заклинки КВ.

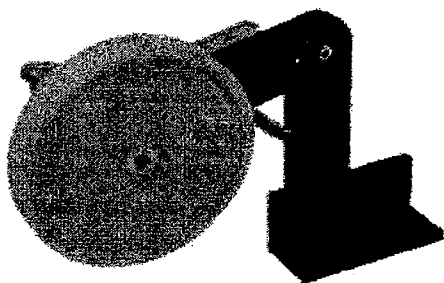


Рис. 1. AVS-датчик угловой скорости КВ

Предназначен для использования на МОД. AVS-датчик используется совместно с магнитным или оптическим (лазерным) фазовым датчиком положения ВМТ поршня.

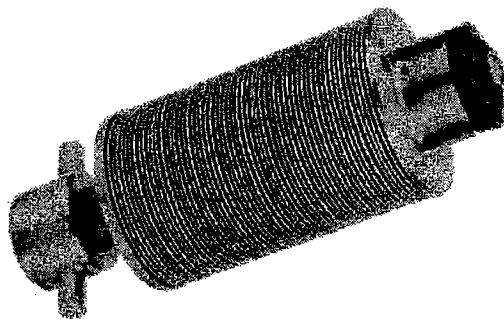


Рис. 2. Датчик давления Malin

Дизайн датчика (с ребрами охлаждения) разработан для компенсации высоких температур и вибрации, воздействующих на него через канал индикаторного крана.

Диаграммы давления газов

Диаграммы представляются в развернутом виде (по углу поворота коленчатого вала $P(\varphi)$), начинаются от BDC (НМТ) и продолжаются до 360° ПКВ (для 2-х тактных дизелей) или до 720° ПКВ (для 4-х тактных).

Особенности работы на такте сжатия и корректировка ВМТ. Повышение давления при сжатии и его конечная величина P_c – прямые характеристики качества компрессии в цилиндре и состояния поршневых колец. Неисправности в работе турбины наддува также будут очевидны на этом такте. В некоторых двигателях, особенно длинноходовых МОД, поршень пройдет через ВМТ перед впрыском и самовоспламенением топлива. В этом случае величина $P_{сomp}$ совпадает с давлением в ВМТ. В системе MALIN этот факт используется для корректировки положения ВМТ поршня, что является надежной проверкой установки фазового датчика.

Анализ процесса сгорания топлива. В определенный момент около ВМТ начинается впрыск топлива и некоторое время спустя происходит его самовоспламенение. Увеличивается давление в цилиндре. Задержка воспламенения ($IDFI$, τ_i) увеличивает скорость сгорания на первой фазе. В дизелях (в отличие от двигателей с принудительным искровым воспламенением) топливо подается в цилиндр в течение сгорания по закону, который определен характеристиками топливоподающей системы (профиль кулака, характеристики плунжерной пары ТНВД). Первичная цель состоит в том, чтобы подавать в цилиндр топливо в соответствии с

характеристиками, которые позволяют осуществлять плавное повышение давления без значительных механических напряжений деталей ЦПГ и подшипников КШМ.

Контролируя RPR (The Maximum Rate of Pressure Rise – максимальную скорость повышения давления) и сохраняя ее баланс по цилиндрам дизеля в норме, можно уменьшить механические напряжения и, следовательно, уменьшить вероятность отказа двигателя. Значения RPR печатаются в отчетных данных по каждому цилиндру.

Процесс расширения. Поскольку поршень движется вниз и закончен впрыск топлива – процесс сгорания заканчивается. Давление в цилиндре уменьшается. На этом этапе осуществляется основная полезная работа двигателя. Контролируя баланс P_{max} (P_z), температуру выпускных газов и среднее индикаторное давление, можно эффективно сбалансировать двигатель. Такой качественный баланс всех цилиндров одновременно невозможен с помощью механических индикаторов.

Процесс газообмена. В конце такта расширения можно наблюдать эффект снижения давления в момент открытия выпускных клапанов, что будет отражено на диаграмме давления.

Диаграммы скорости повышения давления. Расчетные диаграммы показывают угловую скорость изменения давления газов в цилиндре $dP/d\phi$. При правильно организованной топливоподаче диаграмма $dP/d\phi$ должна иметь гладкую характеристику. Производная достигнет максимума (RPR) в процессе сжатия или сгорания в зависимости от типа двигателя. Положительная производная характеризует увеличение давления, отрицательная – его уменьшение и нулевое значение $dP/d\phi$ показывает, что P_{max} был достигнут. Производная содержит полезную информацию в области ВМТ поршня и является альтернативной формой представления диаграмм.

Совмещенные диаграммы. Данные от нескольких цилиндров могут быть представлены на одном и том же графике. Совмещение диаграмм наглядно показывает любые отклонения в рабочем процессе одного цилиндра от другого. Данные могут быть представлены в хронологическом порядке, с наложением данных ходовых испытаний судна. Такое представление дает инженеру возможность сравнивать реальные и эталонные диаграммы рабочих процессов. Кроме того, диаграммы разных форм представления рабочего процесса – $P(\phi)$, $P(V)$, $dP/d\phi$ – могут быть представлены на одном графике.

Режим непрерывного контроля позволяет инженеру рассматривать данные, получаемые Malin 6000, в режиме реального времени. В этом режиме удобно анализировать пиковые значения параметров и их средние значения. Такой способ представления удобен при регулировке двигателя.

**THE DOCTOR® Advanced compression and fuel pressure monitoring system
(по материалам FUCHS TECHNOLOGY INTERNATIONAL GmbH [4])**

Система позволяет осуществлять контроль давления газов в цилиндре и давления в топливной системе высокого давления. Синхронизация данных производится аппаратным путем, с помощью фазовых датчиков. Для 2-х тактных МОД кроме датчика положения ВМТ используется датчик, регистрирующий импульсы при прохождении зубьев маховика.

На отчетную форму системы выносятся следующие параметры:

- частота вращения коленчатого вала;
- давление надувочного воздуха;
- среднее индикаторное давление;
- индикаторная мощность цилиндра (kW, Нр);
- максимальное давление сгорания;
- угол, соответствующий максимальному давлению сгорания;
- давление газов в ВМТ;
- угол опережения впрыскивания топлива;
- максимальная скорость повышения давления при сгорании;
- давление в конце сжатия;
- температура выпускных газов;
- положение топливной рейки.

Таблица 1

Технические характеристики системы THE DOCTOR

| | |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Датчик давления газов | Kistler 7613C Диапазон: 0..250Бар Погрешность: <= +/-0.5% Рабочий диапазон температур: -50° .. 350°C Частотный диапазон: 70кГц Период калибровки при нормальной эксплуатации 3..5 лет |
| Датчик давления топлива | Kistler 6729A Диапазон: 0..2000Бар Погрешность: <= +/-1.0% Частотный диапазон: 200кГц Период калибровки при нормальной эксплуатации 3..5 лет |
| Фазовый датчик | Тип: индуктивный или оптический; варьируемое угловое разрешение; переносного или стационарного типа; сертификация: IP56, CE |

Расчетный блок системы типичен для систем «разделенного мониторинга» и представляет собой переносное устройство в пластиковом корпусе с несколькими функциональными выводами. При индицировании к блоку подсоединяются датчик давления газов, датчик давления топлива, установленный в систему высокого давления через специальные клапаны, и фазовые датчики.

Виды отчетов: $P(\alpha)$, $P(V)$ – диаграммы; отметки о закрытии/открытии клапанов; $P_F(\alpha)$ – диаграммы давления впрыскивания топлива; табличный вывод данных; возможность масштабирования; параметры в любой точке диаграммы; индикация номера цилиндра; возможность наложения диаграмм. Типовой отчет системы представляет совмещенные индикаторные диаграммы $P(\alpha)$ по нескольким цилиндрам с диаграммами впрыскивания топлива.

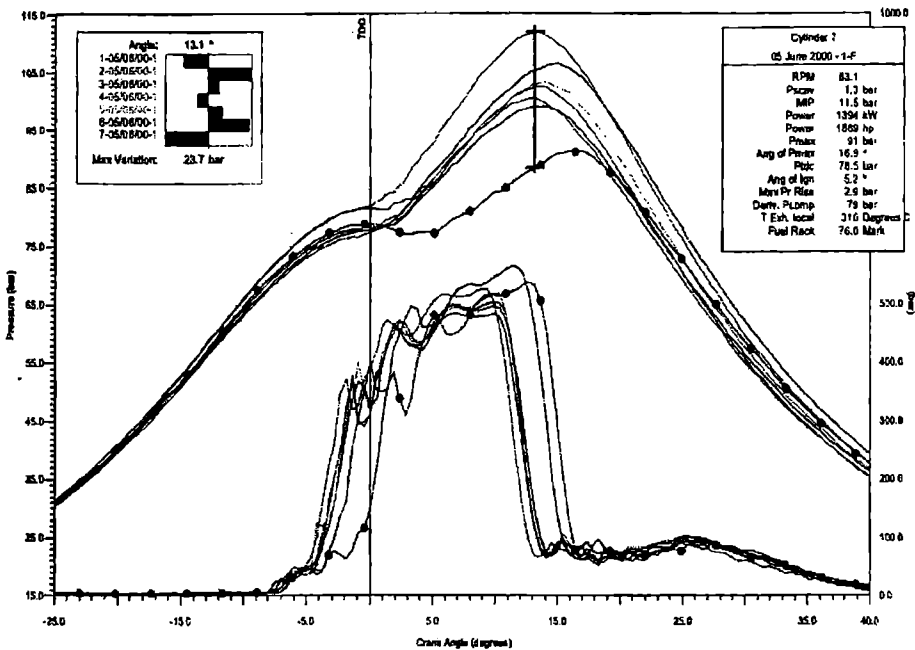


Рис. 3. Результат индицирования двигателя B & W 7L70MC (нагрузочный режим 88%, индикаторная мощность 13150 HP)

На цилиндре № 7 (диаграммы давления газов и топлива выделены точками) обнаружена протечка всасывающего клапана ТНВД. Диаграмма впрыскивания смещена на 3° вправо.

Для записи диаграмм давления топлива в систему высокого давления устанавливаются специальные клапаны, выдерживающие импульсное давление до 3500 Бар. Клапаны разработаны для разных типов двигателей: RTA, RND, B&W, MAN, Wartsila.

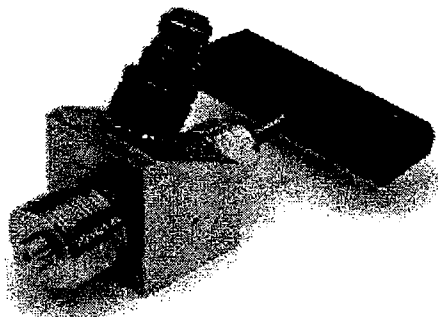


Рис. 4. Топливный клапан для двигателя B&W

Расчетный блок системы позволяет сохранять данные индицирования до 110 цилиндров. После индицирования данные передаются в компьютер, где под управлением 32-битного программного обеспечения происходит окончательный расчет и печать диаграмм и таблиц.

Отчеты *THE DOCTOR* для нескольких типовых эксплуатационных ситуаций показаны на рисунках №5-8.

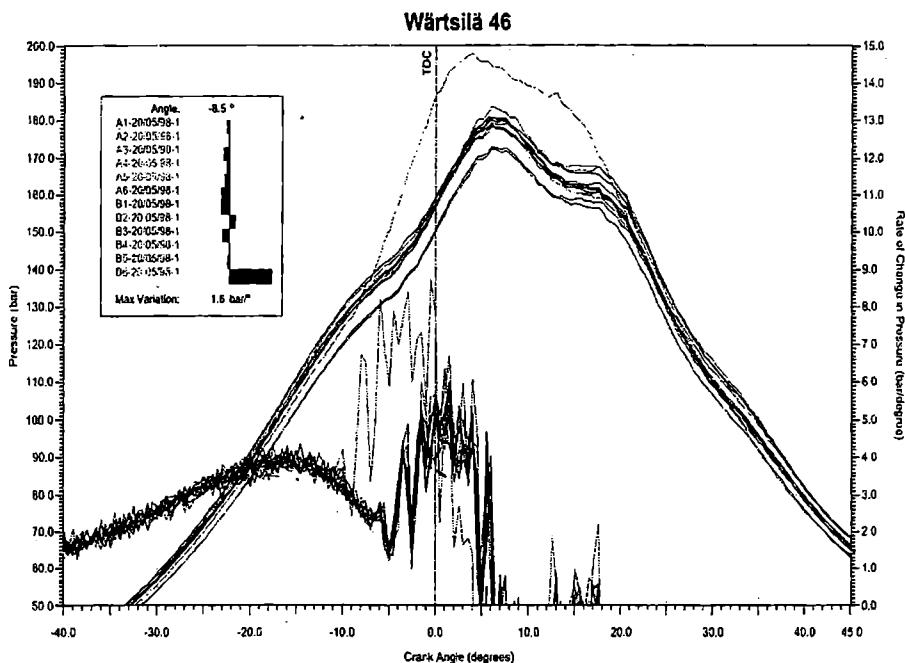


Рис. 5. Нагрузка двигателя около 100%

Перегрузка 6-го цилиндра. Уменьшение индекса рейки ТНВД цилиндра 6 приведет к балансировке двигателя.

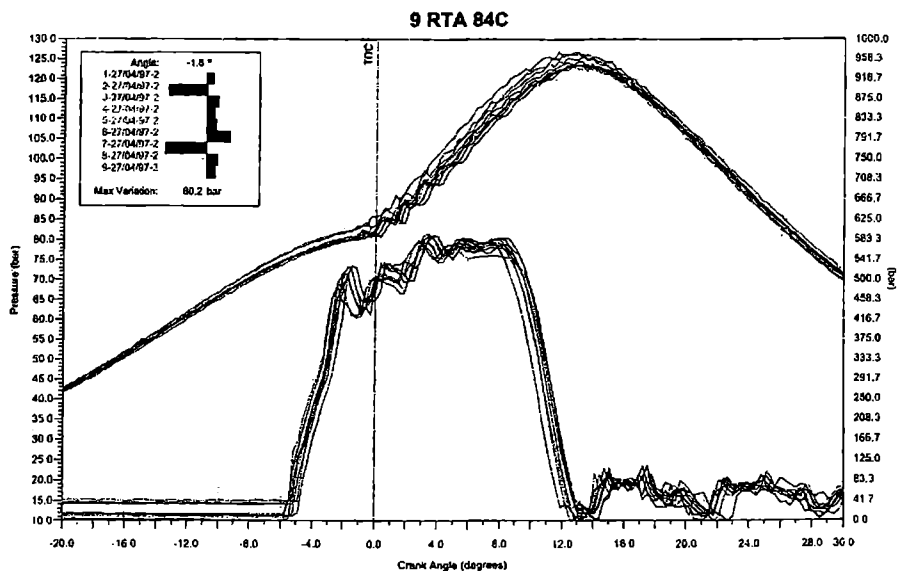


Рис. 6. Пример нормального технического состояния двигателя по параметрам рабочего процесса: $P_z, \alpha_{INJ}, P_{INJ}$ сбалансированы по всем цилиндрам двигателя.

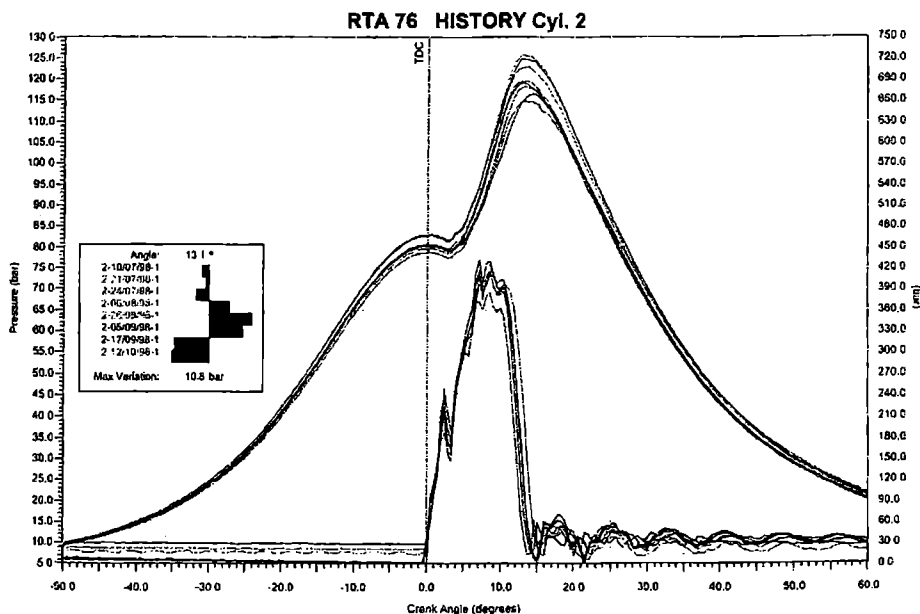


Рис. 7. Наложенные диаграммы цилиндра № 2, записанные в течение 3-х месяцев эксплуатации. (Пример стабильной работы топливной аппаратуры в конце планового периода ее эксплуатации)

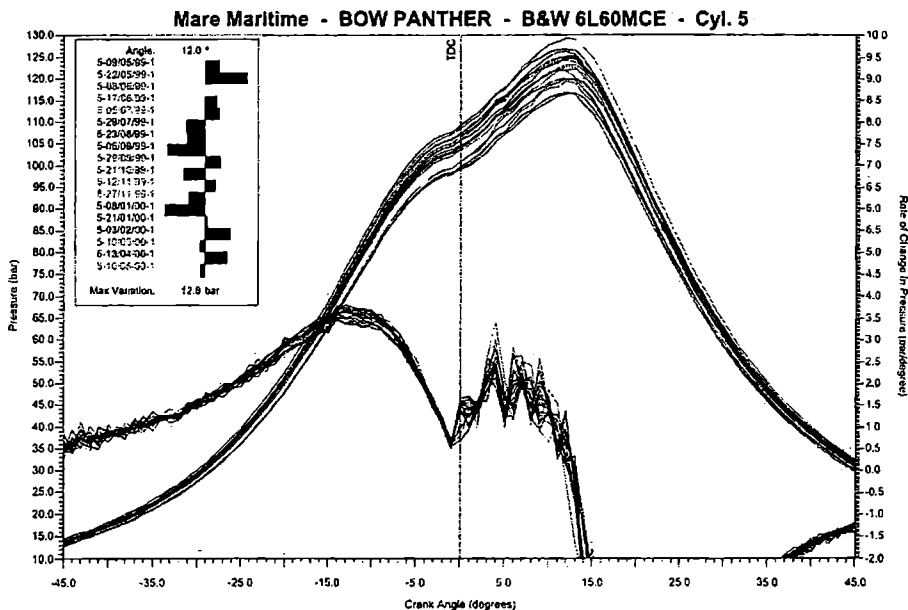


Рис. 8. Пример стабильной работы топливной аппаратуры.

На цилиндре № 5 в течение года фиксируется постоянный угол начала самовоспламенения (хорошо видно по диаграммам $dp/dφ$). Заключение должно быть – «don't touch it!».

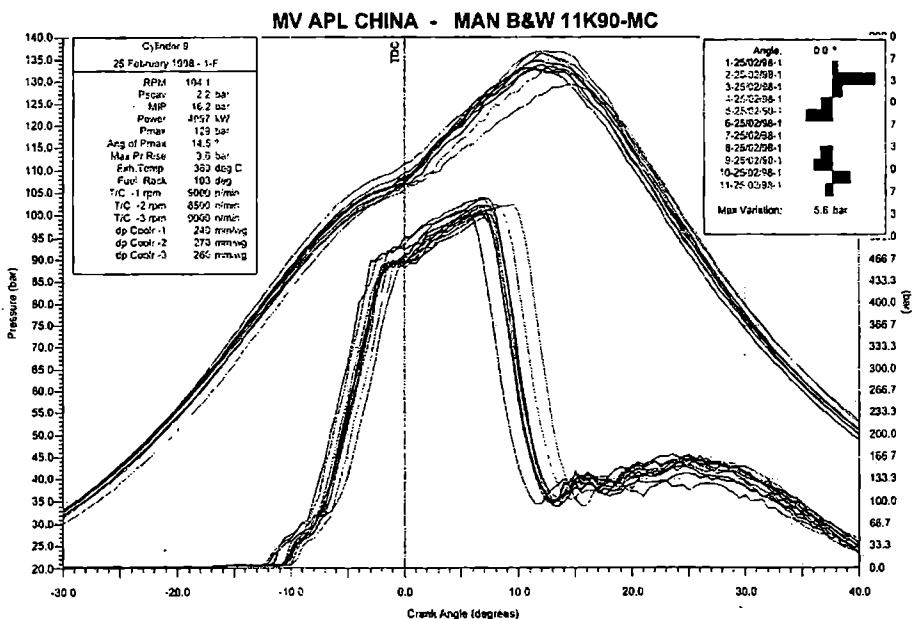


Рис. 9. Цилиндр № 8 (нижняя индикаторная диаграмма и самая правая диаграмма впрыска) – поздний впрыск топлива, низкое значение Pz

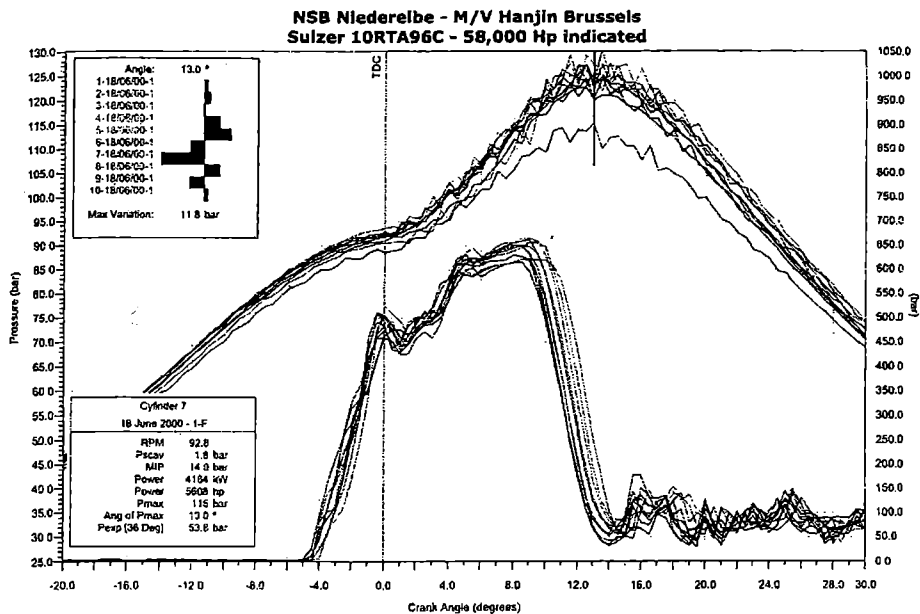


Рис. 10. Сниженное значение P_z на цилиндре №7

По диаграмме видно, что давление в конце сжатия P_c тоже снижено.

Данные индицирования передаются в компьютер по RS-232 интерфейсу.

К несомненным преимуществам системы относится возможность параллельного индицирования процесса сгорания в цилиндре и процесса впрыскивания в топливной системе высокого давления. Наложенные диаграммы рабочего процесса и давления топлива во время впрыска позволяют с высокой точностью оценить техническое состояние цилиндра.

Однако, чтобы получить подобную информацию, необходимо произвести ряд подготовительных работ: установить фазовый датчик на маховике (один – для индицирования 4-х тактного двигателя и два – для 2-х тактного) и установить в топливные системы высокого давления всех цилиндров клапана (непосредственно на трубку высокого давления или в распределитель). Подготовительная операция должна занять достаточно большое время и, скорее всего, рассчитана на то, что ее будут производить специалисты фирмы. Система портативная только в том смысле, что ее центральный расчетный блок выполнен в виде переносного устройства.

Использование датчиков давления *Kistler* определяет уровень стоимости системы. По запросу от 27.07.2004 цена *THE DOCTOR* в полной комплектации составляла 19590 €, без стоимости работ по установке системы.

Заключение

Сравнительный анализ систем по нескольким выбранным параметрам представлен в таблице.

Таблица 2

| | THE DOCTOR | MALIN 6000 |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| RPM и Основные индикаторные параметры рабочего процесса | • | • |
| $P_z P_{MAX}$ (min, max, mean) | • | • |
| $P(\varphi), P(V)$ – индикаторные диаграммы | • | • |
| $dP/d\varphi$ – диаграммы скорости повышения давления при сгорании топлива | • | • |
| $P_T(\varphi)$ – диаграммы давления топлива перед форсункой | • | |
| Фазы топливоподачи | • | |
| Фазы газораспределения | | |
| Способ синхронизации | Аппаратная синхронизация | Аппаратная синхронизация |
| Наличие вибродатчика | | • |

Описанные выше системы работают по принципу «разделенного мониторинга». Часть параметров (P_z с отклонениями, вращения коленчатого вала и некоторые другие параметры) определяются во время индицирования, а полный расчет рабочего процесса, анализ диаграмм давления, трендов и производных показателей происходит в Windows – программном обеспечении. Передача данных индицирования в программу производится по одному из последовательных интерфейсов (RS-232 или USB). Такой принцип работы диагностических систем в настоящее время принимается большинством фирм-разработчиков. Он направлен на упрощение аппаратной части и снижение себестоимости без ущерба для информативности.

Технико-экономическая эффективность систем компьютерной диагностики рабочего процесса судовых дизелей обуславливается:

- снижением затрат на техническое обслуживание благодаря уменьшению числа разборок и вскрытий дизелей при переходе от планово-технических норм обслуживания и ремонта к обслуживанию и ремонту их по фактическому состоянию;
- снижением затрат на ремонт за счет выявления потенциальных отказов на ранней стадии их возникновения;

- сокращением расхода топлива путем своевременного обнаружения и устранения дефектов и нарушений в настройке топливной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шишкин В.А. Анализ неисправностей и предотвращение повреждений судовых дизелей.* – М.: Транспорт, 1986. – 192 с.
2. *Камкин С.В., Возницкий И.В., Шмелев В.П. Эксплуатация судовых дизелей: Учебник для вузов.* – М.: Транспорт, 1990. – 344 с.
3. www.malin.co.uk
4. www.denkra.com

Надійшла 14.01.06

ВЫБОР УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

В статье сделан анализ и обоснован выбор уровня напряжений при ускоренных испытаниях на сопротивление усталости. Показано, что минимальная погрешность при определении предела выносливости по кривым усталости, выраженным разными математическими моделями, соответствует области пересечения этих кривых.

Ключевые слова: предел выносливости, кривая усталости, аппроксимация, режим нагружения.

Для надёжной оценки характеристик сопротивления усталости материала или детали при проектировании машин необходимо проводить испытания. Поскольку стандартные испытания достаточно продолжительны и трудоёмки, то часто ограничиваются ускоренными испытаниями. В большинстве случаев ускоренные испытания на сопротивление многоциклового усталости предполагают доведение объектов (деталей, моделей, образцов) до разрушения при высоких напряжениях. В качестве исходных параметров при проведении этих испытаний при нерегулярном режиме принимаются: начальное напряжение и величина скорости увеличения амплитуды напряжений (как правило, изменяющаяся по линейному закону), либо величина максимального напряжения при регулярном режиме нагружения. Искомой величиной является предел неограниченной выносливости. Реже возникает необходимость в определении наклона левой части кривой усталости, т.е. в определении параметров её уравнения. По величине напряжения, при котором произошло разрушение, и соответствующему числу циклов определяют предел выносливости. При этом используют те или иные модели кривых усталости и различные подходы к обработке экспериментальных данных.

Одним из основных недостатков ускоренных методов определения предела выносливости является зависимость результата от выбора модели кривой усталости. Исключить или существенно уменьшить это влияние можно путём обусловленного выбора исходных параметров испытаний. В частности, максимальное напряжение цикла

можно принять так, чтобы разрушение объекта произошло при долговечности в одинаковой степени соответствующей любой модели кривой усталости. Другими словами эти кривые должны иметь общую точку (точки) пересечения. Определим эти точки на примере трёх основных моделей кривых усталости – уравнения Вейбулла, степенного и показательного уравнений.

Рассмотрим первое сочетание уравнений кривых усталости (степенное уравнение и уравнение Вейбулла) и решим соответствующую систему уравнений:

$$\begin{cases} m \cdot \lg \sigma + \lg N = C \\ (\sigma - \sigma_R)^{m_w} \cdot N = 10^{C_w}, \end{cases} \quad (1)$$

где m , C , m_w и C_w – параметры уравнений системы; σ и N – напряжение и число циклов до разрушения соответственно; σ_R – предел выносливости.

Неизвестными величинами в данной системе уравнений являются σ и N .

Поскольку алгебраическое решение этой системы представляет определённую сложность, то удобнее всего воспользоваться численными методами.

Рассмотрим последовательность решения системы уравнений (1) на конкретном числовом примере. Будем считать известными параметры уравнения Вейбулла ($m_w=1,0$; $C_w=7,0$; и $\sigma_R=200$ МПа). Диапазон напряжений, соответствующий области многоциклового усталости примем равным интервалу от предела выносливости до напряжения, соответствующего долговечности на границе малоциклового и многоциклового усталости (10^5 циклов). Параметры степенного уравнения определим методом наименьших квадратов путём линейной аппроксимации кривой усталости, выраженной уравнением Вейбулла в заданном диапазоне напряжений по 15 точкам в координатах $\lg \sigma - \lg N$.

Эмпирическая линия регрессии при таком объёме испытаний будет иметь вид [1]

$$Y = a + b \cdot (x - \bar{x}), \quad (2)$$

где Y – оценка условного математического ожидания величины $y = \lg N$ для заданного значения $x = \lg \sigma$;

$$a = \bar{y} = \sum_{m_i=1}^{m_1} y_i / m_1; \quad \bar{x} = \sum_{m_i=1}^{m_1} x_i / m_1; \quad b = \frac{\sum_{m_i=1}^{m_1} (x_i - \bar{x}) \cdot y_i}{\sum_{m_i=1}^{m_1} (x_i - \bar{x})^2};$$

m_j – число уровней напряжений.

В результате расчёта параметры степенного уравнения кривой усталости оказались равными: $m=7,14$; $C=22,52$. Выборочный коэффициент корреляции определяли по известной зависимости [1]

$$r = \frac{m_{1/1}}{S_x \cdot S_y},$$

где $m_{1/1}$ – выборочный смешанный центральный момент

$$m_{1/1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y});$$

S_x и S_y – выборочная дисперсия величин x и y соответственно

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}.$$

Он оказался равным 0,95. Это значение коэффициента корреляции свидетельствует о сильной связи между случайными величинами $\lg \sigma$ и $\lg N$, полученными расчётом на основе уравнения Вейбулла.

Решение системы уравнений (1) осуществим, применяя математический пакет Mathcad 13 с использованием стандартного вычислительного блока Give/Find. В качестве численного метода в Mathcad используется метод Ньютона, который заключается в линеаризации соответствующих функций многих переменных путём аппроксимации их линейной зависимостью с помощью частных производных.

Чтобы воспользоваться данным методом, надо знать количество корней системы и примерный диапазон их значений. В нашем случае эту проблему можно решить графически, путём построения графиков функций обоих уравнений.

В результате реализации программы, получены два следующих решения:

$$1(\sigma_1 = 270,2 \text{ МПа}, N_1 = 142500 \text{ циклов});$$

$$2(\sigma_2 = 212,7 \text{ МПа}, N_2 = 786000 \text{ циклов}).$$

Графическое решение системы уравнений (1) представлено на рис.1.

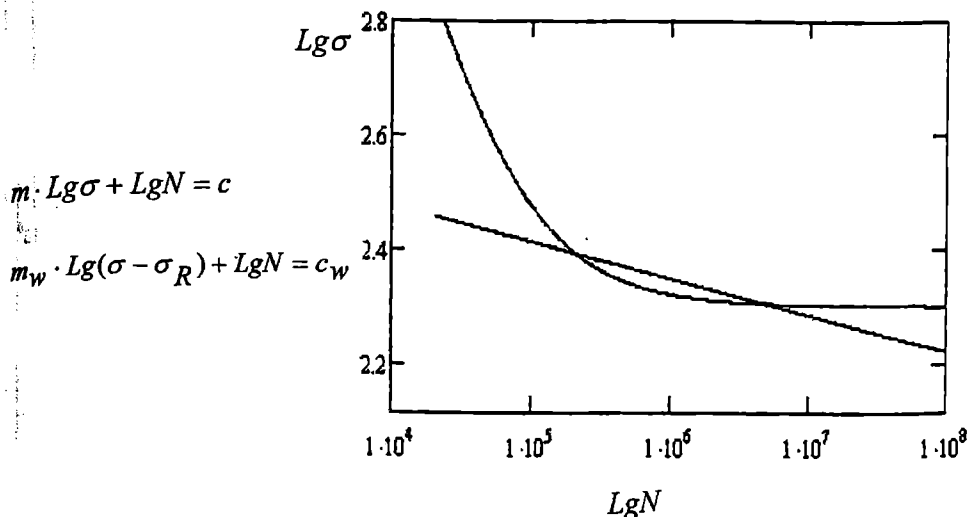


Рис. 1. Графическое решение системы (1)

Рассмотрим второе сочетание уравнений кривых усталости (уравнение Вейбулла и показательное уравнение).

$$\begin{cases} \sigma/k + \lg N = C_1 \\ (\sigma - \sigma_R)^{m_w} \cdot N = 10^{C_w} \end{cases} \quad (3)$$

где k и C_1 – параметры показательного уравнения кривой усталости.

Числовые значения этих параметров, полученные путём линейной аппроксимации кривой усталости Вейбулла по 16 точкам в координатах $\sigma - \lg N$, оказались равными 76,73 МПа и 8,67 соответственно. Выборочный коэффициент корреляции составил 0,94.

В результате решения этой системы уравнений с помощью математического пакета Mathcad 13 получены следующие корни:

1. ($\sigma_1 = 269,7$ МПа, $N_1 = 143400$ циклов);
2. ($\sigma_2 = 212,3$ МПа, $N_2 = 798000$ циклов).

Графическое решение системы уравнений (3) представлено на рис. 2.

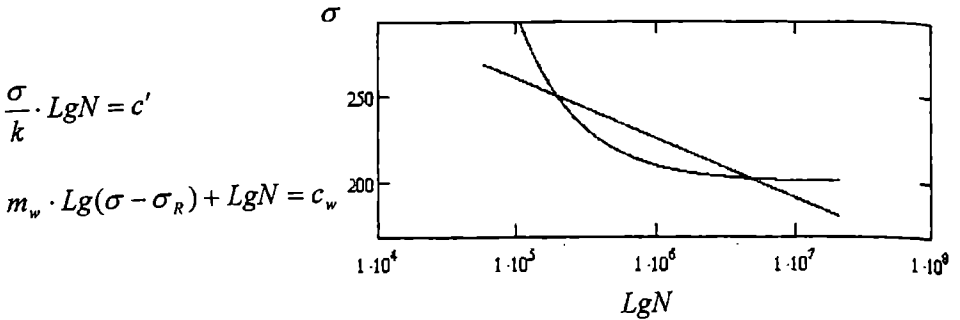


Рис. 2. Графическое решение системы (3)

Третий вариант сочетания кривых усталости (степенное и показательное уравнения) запишем в виде системы уравнений

$$\begin{cases} \sigma/k + \lg N = C_1 \\ m \lg \sigma + \lg N = C \end{cases} \quad (4)$$

Параметры обоих уравнений этой системы m , k , C и C_1 известны (по результатам предыдущих расчётов).

С помощью того же метода, что и в первых двух случаях, получено следующее решение системы уравнений (4):

1. ($\sigma_1 = 268,1$ МПа, $N_1 = 151000$ циклов);
2. ($\sigma_2 = 210,1$ МПа, $N_2 = 858300$ циклов).

Коэффициент корреляции составил 0,99. Графическое решение представлено на рис. 3.

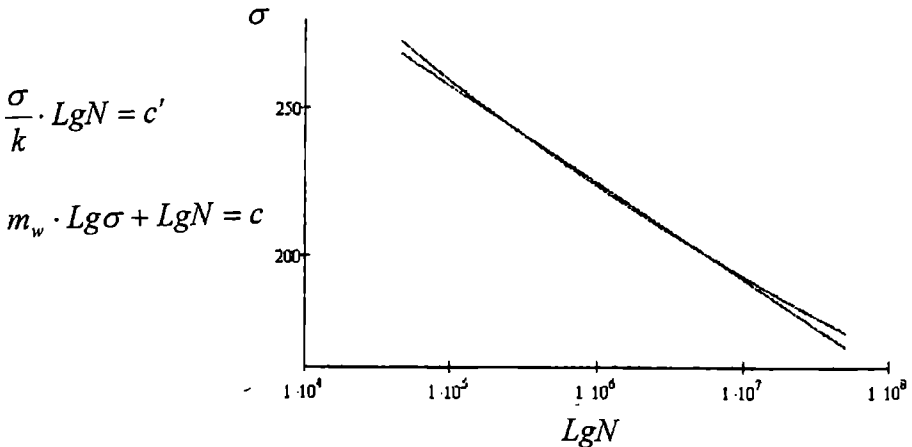


Рис. 3. Графическое решение системы (4)

Судовые установки и механизмы

По найденным параметрам трёх моделей кривых усталости рассчитаем значения пределов выносливости для всего оговоренного выше диапазона напряжений (для каждого уравнения кривой усталости). Результаты расчёта сведём в таблицу.

Таблица

| № | σ , МПа | N, циклов | σ_R , МПа | | | |
|-----------|----------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | | | По уравнению Вейбулла | По степенному уравнению | По показательному уравнению | $\Delta\sigma_R$, МПа |
| 1 | 300,0 | 10^5 | 200 | 211,24 | 216,50 | 16,50 |
| 2 | 293,3 | $1,07 \cdot 10^5$ | 200 | 208,57 | 212,15 | 12,15 |
| 3 | 286,7 | $1,54 \cdot 10^5$ | 200 | 205,97 | 207,98 | 7,98 |
| 4 | 280,0 | $1,25 \cdot 10^5$ | 200 | 203,47 | 204,00 | 4,00 |
| 5 | 273,3 | $1,36 \cdot 10^5$ | 200 | 201,08 | 200,26 | 1,08 |
| 6 | 266,7 | $1,50 \cdot 10^5$ | 200 | 198,83 | 196,8 | -3,20 |
| 7 | 260,0 | $1,67 \cdot 10^5$ | 200 | 196,77 | 193,67 | -6,33 |
| 8 | 253,3 | $1,88 \cdot 10^5$ | 200 | 194,938 | 190,96 | -9,04 |
| 9 | 252,0 | $1,92 \cdot 10^5$ | 200 | 194,61 | 190,48 | -9,52 |
| 10 | 240,0 | $2,50 \cdot 10^5$ | 200 | 192,33 | 187,30 | -12,70 |
| 11 | 233,3 | $3,00 \cdot 10^5$ | 200 | 191,87 | 186,76 | -13,24 |
| 12 | 226,7 | $3,75 \cdot 10^5$ | 200 | 192,35 | 187,60 | -12,40 |
| 13 | 220,0 | $5,00 \cdot 10^5$ | 200 | 194,45 | 190,60 | -9,40 |
| 14 | 213,3 | $7,50 \cdot 10^5$ | 200 | 199,65 | 197,56 | -2,44 |
| 15 | 206 | $1,67 \cdot 10^6$ | 200 | 215,80 | 217,06 | 17,06 |

Зависимость модуля отклонения предела выносливости от уровня напряжения изображена на рисунке 4.

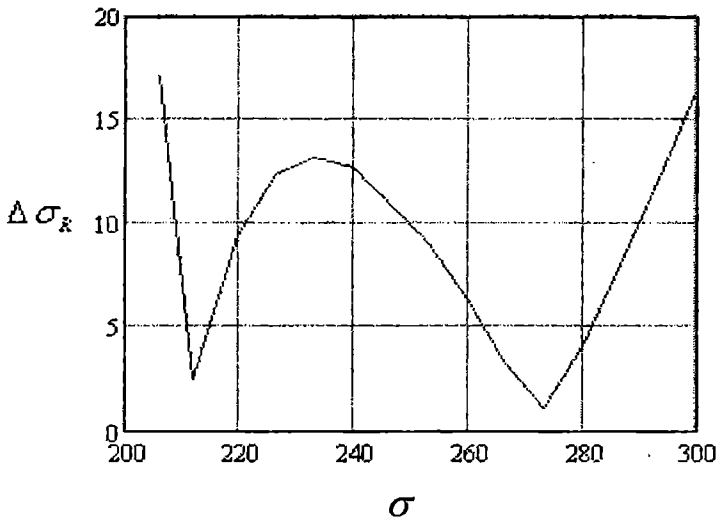


Рис. 4. Зависимость модуля отклонения предела выносливости от уровня напряжения

Анализируя данные таблицы, следует отметить, что точки пересечения (как верхняя, так и нижняя) исследуемых моделей кривых усталости близки по своим значениям. На рисунке 4 этим точкам соответствуют два минимума.

Таким образом, влияние выбора модели кривой усталости при определении предела выносливости можно исключить или существенно снизить.

С точки зрения практического подхода к выбору уровня напряжений при ускоренных испытаниях, нас интересует только одно из этих значений, а именно, более высокое напряжение, поскольку оно соответствует меньшей долговечности, а следовательно, и меньшему времени проведения испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение. – 1985. – 232 с.

Надійшла 19.01.06

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ГРАВИТАЦИОННЫХ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассматривается связанная система, состоящая из оградительного сооружения, каменной постели, основания и водной среды. Исследуются волновые процессы, возникающие в сооружении и основании от действия прибойных и разбивающихся волн. Учитываются упругопластические свойства материалов системы. Используется теория пластического течения с упрочнением. Результаты исследования волновых процессов представлены в виде этюров перемещений и напряжений на заданном интервале времени.

Ключевые слова: колебания, упругопластическая инерционная модель, основание, теория пластического течения, упрочнение, прямые шаговые методы, дискретизация, итерационный процесс.

В нормативном документе [1] рекомендуется динамические волновые воздействия на оградительные гидротехнические сооружения заменять статическими нагрузками, что в какой-то мере оправдано для стоячих волн. Однако при действии разбивающихся и прибойных волн рассматриваемые сооружения необходимо рассчитывать с использованием динамических методов. В работе [2] основание принимается упругим по модели Винклера, которая не учитывает его инерционные свойства. В [3, 4] показано, что упругое полупространство более точно моделирует работу грунтового массива, а в [5, 6], опираясь на натурные наблюдения, рекомендуется учитывать нелинейность колебаний и присоединение масс основания и воды, что позволит приблизить расчетные деформации стенки к фактическим. Следовательно, при проектировании оградительных гидротехнических сооружений необходимо рассматривать взаимодействие конструкции и контактирующей с ней грунтовой и водной среды. При этом должны быть более полно учтены такие реальные свойства материала основания, как упругость, пластичность и вязкость.

В данной работе используется упругопластическая инерционная модель как каменной постели, так и основания. Учитывается влияние водной среды на колебания оградительного сооружения. Рассматриваются волновые процессы, возникающие в сооружении, постели и основании от действия стоячих, разбивающихся и прибойных волн. В дальнейшем оградительное сооружение, постель, основание и водную среду будем называть связанной системой, находящейся под действием динамической

нагрузки. Причем систему можно рассматривать как с сосредоточенными, так и с распределенными массами. Используется теория пластического течения с изотропным или кинематическим упрочнением [7]. В качестве функции нагружения для стенки применяется условие Гениева [8], которое в инвариантной форме записывается так:

$$3(\sigma_c - \sigma_p)\sigma_o + 3\sigma_i^2 - \sigma_p\sigma_c = 0, \quad (1)$$

где σ_p, σ_c - пределы пластичности при растяжении и сжатии; σ_o, σ_i - первый и второй инварианты тензора напряжений [9].

Для постели и основания используется условие Кулона-Мора

$$\left(\sigma_o - \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} \sin \psi\right) \sin \varphi + \sigma_i \cos \psi - c \cos \varphi = 0, \quad (2)$$

где c - сцепление; φ - угол внутреннего трения; ψ - третий инвариант тензора напряжений.

Связь между приращениями перемещений и деформаций определяется соотношениями Коши

$$d\varepsilon_{ks} = \frac{1}{2}(du_{k,s} + du_{s,k}). \quad (3)$$

Уравнения состояния для упругопластических сред записываются в виде

$$\begin{aligned} d\sigma_{ks} &= D_{ksmn}^{(e)} d\varepsilon_{mn}, \text{ если } f = 0, d'f > 0 \text{ или } f < 0; \\ d\sigma_{ks} &= D_{ksmn}^{(ep)} d\varepsilon_{mn}, \text{ если } f = 0, d'f \leq 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где $D_{ksmn}^{(e)}$ - упругие постоянные закона Гука; $D_{ksmn}^{(ep)}$ - определены в [10].

Уравнение равновесия для стенки, постели и основания, которые называем твердой частью системы, в момент времени t находится из соотношения принципа виртуальной работы

$$\begin{aligned} \int_{\Omega_T} [\delta\varepsilon]^T \sigma d\Omega + \int_{\Omega_T} [\delta u]^T (\rho \dot{u} + c \dot{u} - Q) d\Omega - \\ \int_{S_q} [\delta u]^T q ds - \int_{S_p} [\delta u]^T p ds = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $\delta\varepsilon, \delta u$ - векторы виртуальных деформаций и перемещений; σ - вектор напряжений; ρ - плотность среды системы; c - матрица параметров демпфирования; Q, q - векторы заданных объемных и поверхностных сил; p - вектор давления водной среды; $S = S_u \cup S_q \cup S_p$ -

поверхность, ограничивающая твердую часть системы, причем на S_u заданы перемещения

$$u|_{S_u} = u_o(0),$$

где u_o – вектор заданных перемещений (на S_q заданы поверхностные силы, а на S_p – давление воды); u, \dot{u}, \ddot{u} – соответственно векторы перемещений, скоростей и ускорений, которые определяются так:

$$\dot{u} = u_{,t}, \quad \ddot{u} = u_{,tt}. \quad (6)$$

В дальнейшем водную среду будем называть жидкой составляющей системы. Для неё принцип виртуальной работы в момент времени t записывается в виде [11]

$$\int_{\Omega} \{ [\delta \dot{\varepsilon}_o]^T p + [\delta \dot{\varepsilon}]^T \tau - [\delta \dot{u}]^T Q_p + [\delta \dot{u}]^T \rho \frac{d\dot{u}}{dt} \} d\Omega - \int_{S_p} [\delta \dot{u}]^T \bar{p} ds = 0. \quad (7)$$

Здесь: $\delta \dot{\varepsilon}_o$ – вектор объемной виртуальной скорости деформации; $\delta \dot{u}$ – вектор виртуальной скорости перемещения; ρ – плотность воды; Q_p – объемная сила; $\frac{d\dot{u}}{dt}$ – полная производная от скорости перемещения, которую при малых колебаниях можно заменить частной производной $\ddot{u} = u_{,tt}$; \bar{p} – вектор заданного на поверхности S_p давления. В случае невязкой жидкости можно пренебречь вторым слагаемым под первым интегралом в (7).

При решении нелинейных динамических задач в основном применяются прямые шаговые методы. Для их реализации необходимо выполнить два этапа:

- дискретизацию основных уравнений;
- построение итерационного процесса для определения напряженно-деформированного состояния системы с заданной точностью.

Дискретизация уравнений производится как по времени, так и по области системы. Дискретизация твердой части системы подробно рассмотрена в [10]. После преобразований уравнение равновесия в матричной форме для момента времени t_n имеет вид

$$M \ddot{\delta}_n + C \dot{\delta}_n + K(\delta) \delta_n = Q_n + F_n. \quad (8)$$

Здесь M – матрица распределенных масс; C – матрица демпфи-

рования; $K(\delta)$ – матрица жесткости; Q_n – вектор узловых нагрузок на поверхности S_q ; F_n – вектор давления воды на поверхности S_p , который равен

$$F_n = \int_{S_p} [N]_n^T p_n ds = \frac{1}{\rho} [h]^T p_n, \quad (9)$$

где ρ – плотность воды,

$$h = \int_{S_p} [N]_n^T \rho [N]_n ds, \quad (10)$$

N – матрица функций формы, которая принимается такой же, как и для аппроксимации твердой части системы; $\delta, \dot{\delta}, \ddot{\delta}$ – узловые перемещения, скорости и ускорения.

Для дискретизации жидкой части системы можно использовать уравнение неразрывности, которое для невязкой и несжимаемой жидкости можно записать через гидродинамическое давление в виде

$$p_{,kk} = \nabla^2 p = Q_{pk,k}. \quad (11)$$

Уравнение (11) для постоянной интенсивности объемных сил на основании теоремы Эйлера можно представить как минимум следующего интеграла

$$V(p) = \int_{\Omega} (p_{,x_1}^2 + p_{,x_2}^2) d\Omega - \frac{1}{2} \int_{S_p} \rho p^2 ds. \quad (12)$$

Минимизируя (12), учитывая на границе со стенкой условие непроницаемости при движении стенки

$$p_{,n_k} \Big|_{S_p} = \rho \ddot{u}_{n_k}, \quad (13)$$

где n_k – нормаль к поверхности S_p , затем, выполняя дискретизацию, в матричной форме для момента времени t_n получаем следующее уравнение:

$$H p_n + h \ddot{\delta}_n = 0. \quad (14)$$

Матрица H состоит из подматриц, которые для элемента r_e в локальной системе координат ξ_i имеют следующие компоненты [12]:

$$[H_{(e)}^{mi}]_n = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [N_{(e),x_k}^m]_n^T [N_{(e),x_k}^1 \quad N_{(e),x_k}^2 \quad \dots \quad N_{(e),x_k}^{M_c}]_{(e)} h_{(e)} \det J_{(e)} d\xi_1 d\xi_2,$$

где $k = 1, 2$; $m = 1, 2, \dots, M_e$; M_e – количество узлов в элементе $r_{(e)}$; $h_{(e)}$ – толщина элемента; $N_{(e)}^m$ – локальные функции формы на элементе r_e ; $J_{(e)}$ – матрица Якоби.

Для решения поставленной задачи получена система из двух уравнений (8) и (14), которые можно преобразовать в одно. Из (14) определим

$$p_n = -[H]^{-1} h \ddot{\delta}_n \quad (15)$$

Подставляя (15) в (8) и учитывая (9), получаем

$$\left(M + \frac{1}{\rho} [h]^T [H]^{-1} h\right) \ddot{\delta}_n + C \dot{\delta}_n + K(\delta) \delta_n = Q_n, \quad (16)$$

где выражение $\frac{1}{\rho} [h]^T [H]^{-1} h$ называется матрицей присоединенных масс жидкости [12]. В другой форме такие матрицы были получены для различных стенок [13]. Обозначим

$$\bar{M} = M + \frac{1}{\rho} [h]^T [H]^{-1} h \quad (17)$$

и назовем \bar{M} матрицей приведенной массы.

Для решения уравнения (16) используется неявный модифицированный метод Ньюмарка [10], который является безусловно устойчивым, что позволяет увеличивать длину временного шага Δt . Основными отличиями модифицированного метода от классического, применяемого для решения линейных задач [14], являются следующие: во-первых, решение находится не в полных перемещениях, а в их приращениях; во-вторых, строится дополнительный итерационный процесс для уменьшения невязки в уравнении (16) до наперед заданной малой величины; в-третьих, вектор напряжений σ_n , вследствие приближенного решения, может выходить за пределы области, ограниченной функцией нагружения, поэтому необходимо строить дополнительную процедуру для его возвращения в эту область.

Для численной реализации предложенной методики был разработан программный комплекс в системе Delphi. Обычно до приложения к системе динамической нагрузки на неё действует статическая, под действием которой в некоторых областях системы образуются пластические зоны. Поэтому не представляется возможным, как это делается при упругом расчете, раздельно производить статический и динамический расчеты и результаты суммировать, так как принцип независимости сил здесь неприменим. Необходимо выполнять совместный расчет системы от действия как статических, так и динамических нагрузок. Программный комплекс позволяет производить такой расчет.

Рассмотрим численное решение системы, показанной на рис. 1 при следующих исходных данных: $h_0 = 2$ м; $h_1 = 10$ м; $h_2 = 4$ м; $l_1 = l_3 = 6$ м; $l_2 = 8$ м. Характеристики каменной постели: $E_{\Pi} = 60$ МПа; $\mu = 0,3$; $c = 0,003$ МПа; $\varphi = 30^\circ$. Свойства грунта массива: $E_0 = 40$ МПа; $\mu = 0,4$; $c = 0,006$ МПа; $\varphi = 32^\circ$. Бетон стенки имеет характеристики: $E_C = 30000$ МПа; $\mu = 0,2$; $\sigma_p = 1,7$ МПа; $\sigma_c = 17$ МПа. Длина временного шага $\Delta t = 0,02$ сек. Время действия волновой нагрузки $t_q = 5$ сек. Длина временного отрезка, на котором рассматриваются колебания системы $T = 40$ сек. Параметры затухания грунта и постели $\alpha = 0$, $\beta = 0,005$.

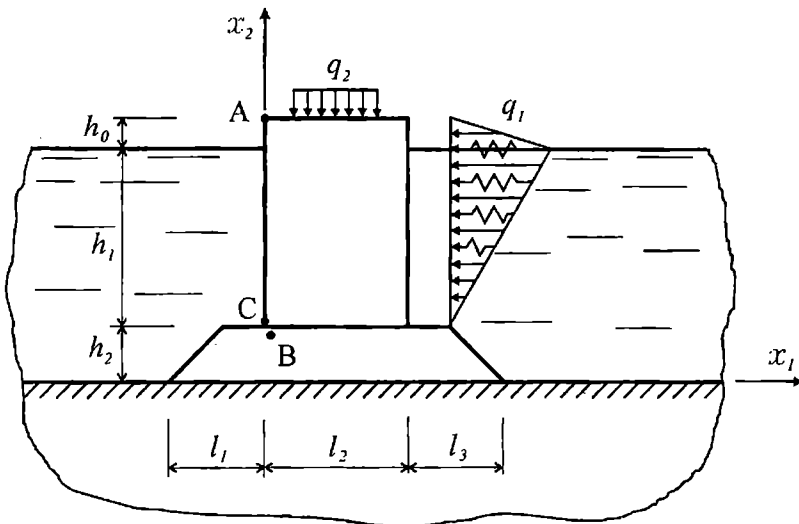


Рис. 1. Расчетная схема

На рис. 2 показана эпюра перемещений системы в момент времени $t = 0,6$ сек. от действия динамической и статической нагрузок (масштаб увеличен). Последняя включает собственный вес волнолома и нагрузку q_2 интенсивностью $0,01$ МПа.

На рис. 3 и 4 приведены эпюры изменения во времени перемещений точки А, показанной на рис. 1. На рис. 3 четко видно разделение отрезка T на две фазы: нагружения от 0 до $t_q = 5$ сек. и свободных колебаний от t_q до T . Наибольшее горизонтальное перемещение наблюдается на первой фазе нагружения в начальный момент времени. Оно равно $-1,069$ см. Между первой и второй фазами происходит скачок перемещений, затем через 3 сек. возникает всплеск перемещений, размах которых равен $0,57$ см. Далее следуют затухающие свободные колебания около временной оси.

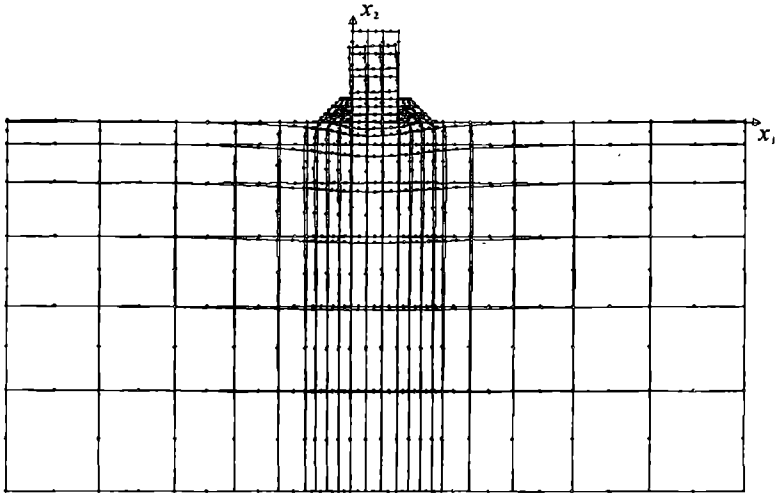


Рис. 2. Схема перемещения системы при $t=0,6$ сек. (масштаб увеличен)

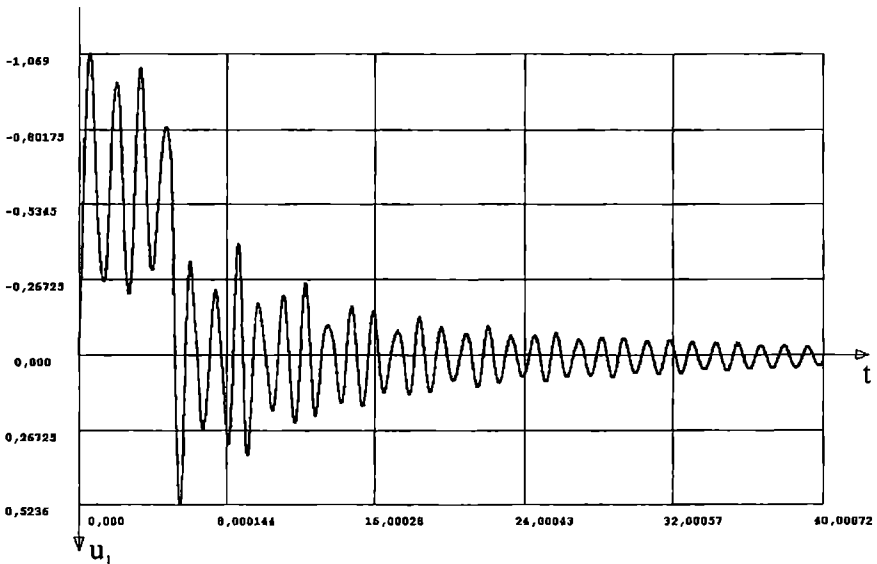


Рис. 3. Эюра горизонтальных перемещений u_1 точки А

Вертикальные колебания, как видно из рис. 4, происходят более плавно, их максимальное значение приходится на вторую фазу свободных колебаний. Наибольший размах колебаний совпадает по времени с максимальным горизонтальным перемещением. Свободные вертикальные колебания точки А наблюдаются около положения её статического равновесия.

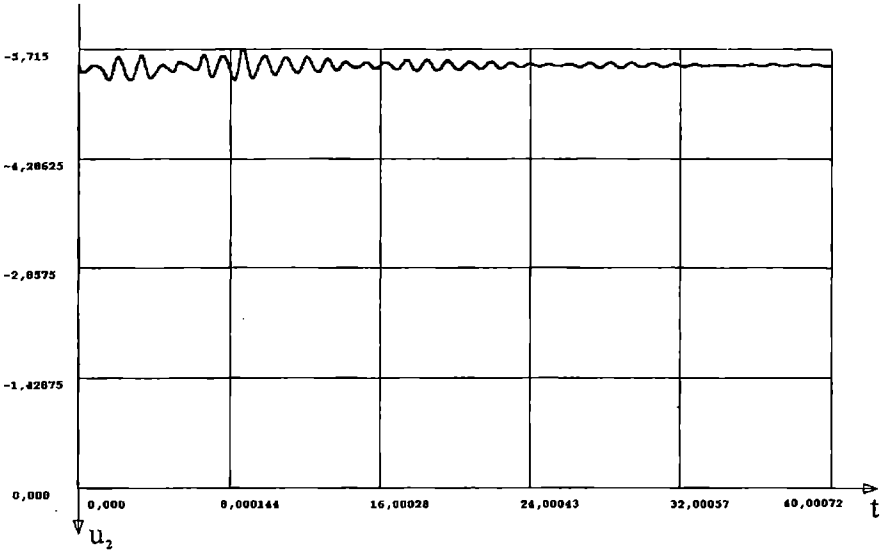


Рис. 4. Эюра вертикальных перемещений u_2 точки А

На рис. 5 и 6 приведены эюры изменения во времени перемещений u_1 и u_2 точки С, показанной на рис. 1. Обе эюры более плавные, чем предыдущие для точки А. Горизонтальные колебания точки С на первой фазе нагружения имеют почти одинаковые амплитуды, что не наблюдается для точки А.

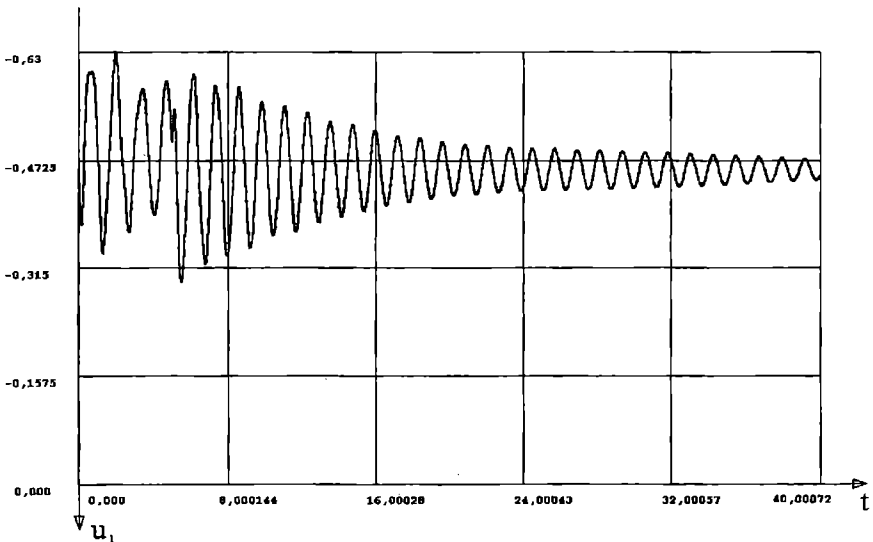


Рис. 5. Эюра горизонтальных перемещений u_1 точки С

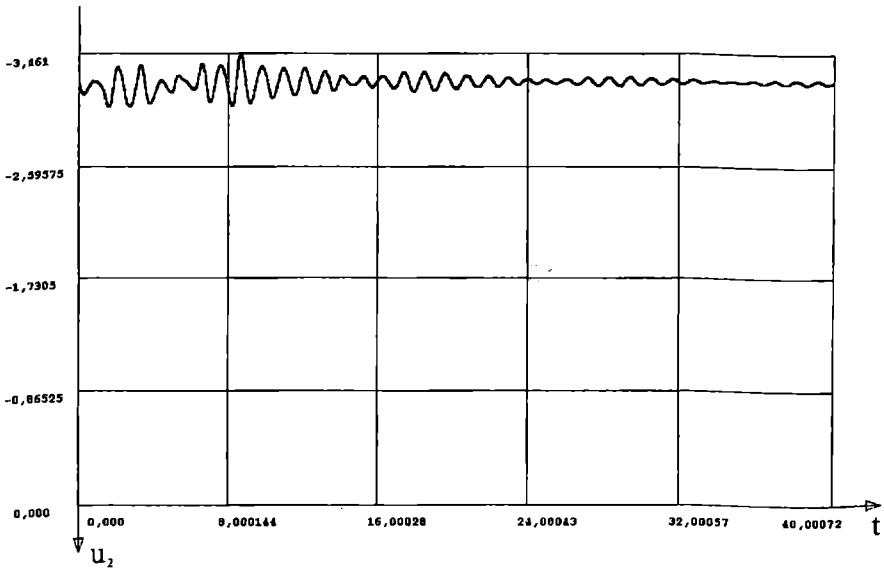


Рис. 6. Эпюра вертикальных перемещений u_2 точки С

Максимальное значение $u_1 = -0,63$ см, что в 1,7 раза меньше, чем для точки А. Свободные горизонтальные и вертикальные колебания точки С происходят около положения её статического равновесия. Если бы производился только упругий расчет, то после снятия динамической нагрузки и затухания колебаний точка С вернулась в своё исходное положение. Но фактически от действия всех приложенных нагрузок в некоторых областях каменной постели и грунта возникли пластические зоны, которые привели после снятия нагрузок к возникновению остаточных деформаций. Так, например, горизонтальные остаточные перемещения точки С волнолома стали равными $-0,47$ см.

На рис. 7 показана эпюра изменения во времени напряжений σ_{22} в точке В (размерность 10 МПа). В начале первой фазы нагружения возникает скачок напряжений до максимальной величины $\sigma_2^{\max} = -0,2675$ МПа. На второй фазе свободных колебаний происходит их постепенное затухание около значения $-0,34$ МПа.

В результате наблюдений за колебаниями волноломов от волновых воздействий в работе [4] были получены следующие данные: время действия стоячих волн находится в интервале 3-5 сек., а разбитых волн в интервале $(5-10) \cdot 10^{-3}$ сек. В предыдущих расчетах было принято время действия импульсивной нагрузки $t_q = 5$ сек. Следовательно, полученные результаты отражают реакцию системы от воздействия стоячих волн. Рассмотрим решение задачи при времени действия динамической нагрузки $t_q = 0,01$ сек., длине временного шага $\Delta t = 0,001$ сек. и отрезке времени,

на котором будут изучаться колебания системы $T = 3$ сек. Волновую нагрузку q_1 увеличим в 6 раз. Этот случай будет соответствовать действию на волнолом разбитых волн.

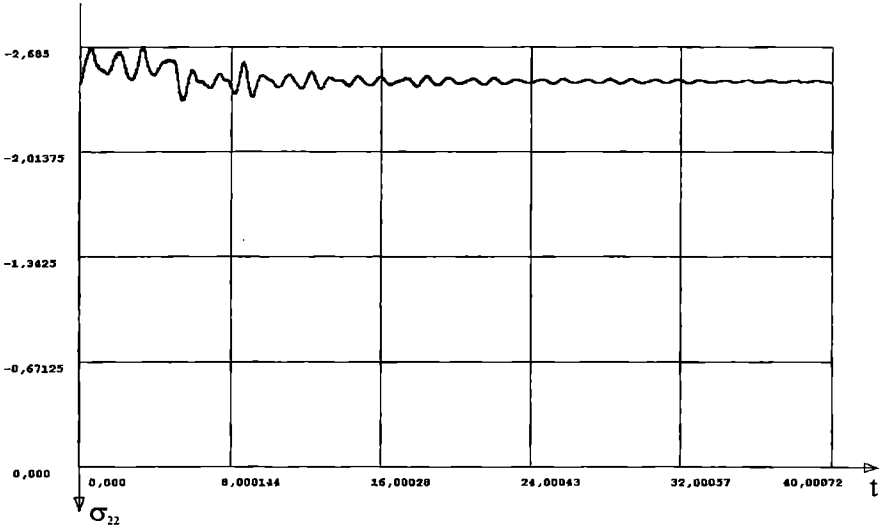


Рис. 7. Эюра напряжений σ_{22} в точке B

На рис. 8 приведена эюра изменения во времени перемещений u_1 точки A. В конце первой фазы нагружения достигается максимальное значение этого перемещения, равное $-0,1486$ см, затем на второй фазе происходит спад перемещений до $0,06$ см, и далее следуют свободные колебания около временной оси.

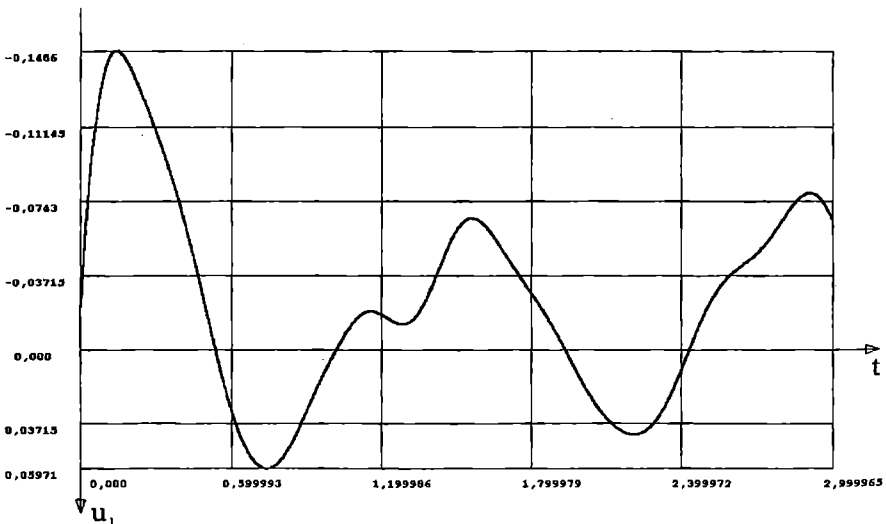


Рис. 8. Эюра горизонтальных перемещений u_1 точки A

На рис. 9 показана эпюра изменения во времени напряжений σ_{12} в точке В (размерность 10 МПа). К концу первой фазы нагружения они достигают величины 0,0008 МПа, затем на второй фазе происходит скачок напряжений до $-0,0047$ МПа, и далее следуют свободные затухающие колебания около величины $-0,004$ МПа.

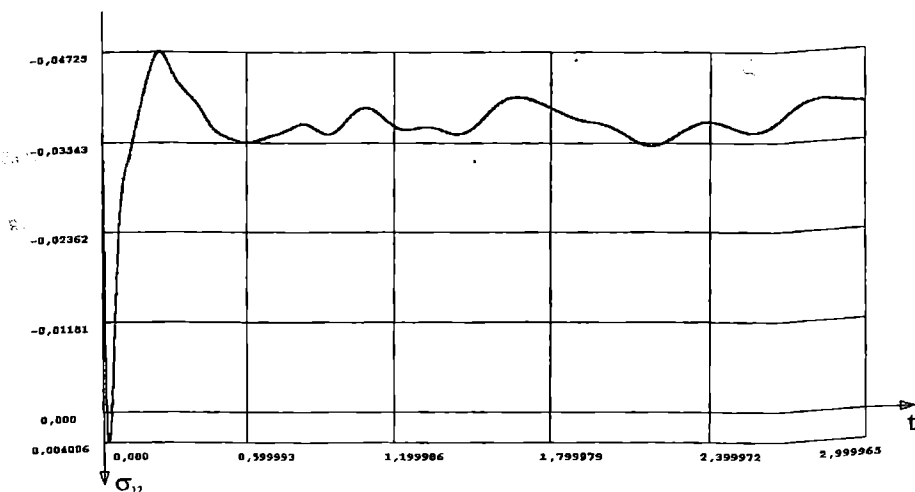


Рис. 9. Эпюра напряжений σ_{12} в точке В

В заключение следует отметить, что разработанная для практического использования в расчетах нелинейная динамическая модель гравитационных ограждающих сооружений базируется на теориях пластического и вязкопластического течения с изотропным и кинематическим упрочнением, в основу которых положен принцип максимума Мизеса. Она позволяет учитывать сложное нагружение системы и такие реальные свойства её материалов как упругость, пластичность, вязкость и дилатансию. Создание базы данных с различными функциями нагружения дает возможность применять эту модель для наиболее распространенных в портостроении материалов и всевозможных грунтовых сред. Инерционные свойства модели позволяют определять волновые колебательные процессы не только в элементах, к которым приложена динамическая нагрузка, но во всей системе и соседних сооружениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) СНиП 2.06.04-82. — М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1983. — 38 с.

2. *Справочник проектировщика. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций.* – М.: Стройиздат, 1986. – 462 с.
3. Мороз Л.Р., Смирнов Г.Н. Экспериментальные исследования работы системы гравитационное оградительное сооружение – грунт // *Динамические расчеты водотранспортных сооружений. Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1971.* – Вып. 66. – Энергия, С. 13-17.
4. Мороз Л.Р., Смирнов Г.Н. Исследования динамических напряжений в основании оградительных сооружений гравитационного типа // *Расчет общей устойчивости транспортных гидротехнических сооружений. Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1967.* – Вып. 40. – Энергия, С. 113-119.
5. Корсакова Ж.С., Логинов В.Н. О нелинейных колебаниях оградительных сооружений типа вертикальной стенки под волновым воздействием // *Динамический расчет водотранспортных сооружений. Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1971.* – Вып. 66. – Энергия, С. 18-20.
6. Логинов В.Н. Расчет нелинейных колебаний гидротехнических сооружений // *Динамика гидротехнических сооружений. Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1970.* – Вып. 54. – Энергия, С. 326-330.
7. Ивлев Д.Д., Быковцев Г.И. Теория упрочняющегося пластического тела. – М.: Наука, 1971. – 231 с.
8. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
9. Новожиллов В.В. Теория упругости. – Судпромгиз, 1958. – 370 с.
10. Гришин А.В. Взаимодействие тонкой подпорной стенки с грунтовой средой при динамическом нагружении // *Вісник ОДМУ, № 6, 2001.* – С. 54-70.
11. Коннор Дж., Бреббиа К. Метод конечных элементов в механике жидкости. – Л.: Судостроение, 1979. – 263 с.
12. Zienkiewicz O.C. *The finite element method.* – McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, 1986. – 787 p.
13. Кульмач П.П. Гидродинамика гидротехнических сооружений. – М.: Изд. АН СССР, 1963. – 191 с.
14. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.

Надійшла 24.01.06

УДК 624.154

А. В. Гришин
Е. Ю. Федорова

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТКОСА, ВЫЗВАННОЕ ВОЗВЕДЕНИЕМ НА НЕМ СООРУЖЕНИЯ

Возведение на грунтовом откосе сооружения вызывает изменение его напряженно – деформированного состояния, которое может привести к возникновению оползневых деформаций. Такая задача исследуется применительно к существующему откосу, расположенному на Одесском побережье. В качестве грунтовой среды используется упрочняющаяся упругопластическая модель. Численные результаты получены по разработанному программному комплексу.

Ключевые слова: откос, оползни, упругопластическая модель, теория пластического течения, решение, анализ результатов.

Одесса, издавна известная как место развития грандиозных оползней, которые непрерывно наносили и наносят ущерб городу и прилегающим к нему территориям. Первая публикация об оползнях Одессы появилась в 1813 году и в настоящее время насчитывается более десяти гипотез, пытающихся объяснить причины этого явления. Борьба с оползнями была начата с 1880 года путем строительства различных укрепительных сооружений [1]. К настоящему времени выполнен большой объем инженерно – геологических работ и проделан анализ полученного фактического материала, но, к сожалению, убедительного и достоверного представления о механизме оползней Одесского побережья пока не существует.

К концу прошлого столетия был выполнен значительный объем работ по укреплению склонов Одесского побережья, произведено уположивание склонов со строительством дренажных штолен, галерей и подпорных стенок. На одном из таких участков в районе станции Большого фонтана в верхней части откоса было решено построить бассейн. Требовалось установить, как такое строительство повлияет на устойчивость откоса. Профиль откоса с необходимой выемкой грунта и приложенной дополнительной нагрузкой $q = 0,035$ МПа показан на рис. 1 (размеры в метрах).

Характеристики грунтов, залегающих в откосе, приведены в таблице 1 (номера слоев грунта фиксируются от верха откоса).

Для поставленной задачи грунты моделировались упруго пластической средой, к которой применима теория пластического течения с упрочнением. Эта теория базируется на принципе максимума Мизеса.

Подробное описание такой модели изложено в монографиях [2, 3].
Здесь приведены только основные уравнения.

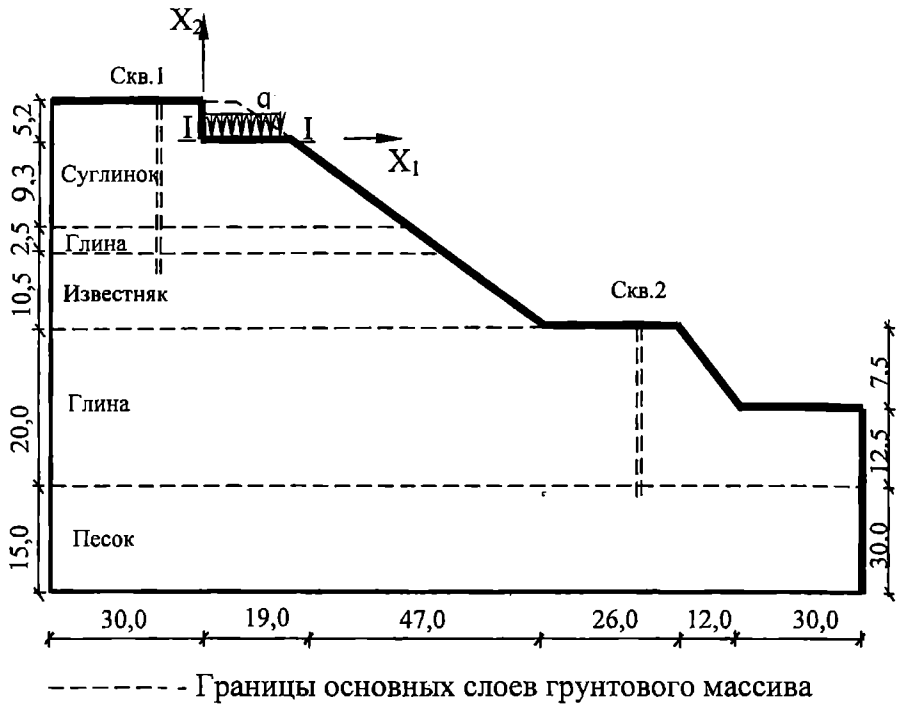


Рис. 1. Профиль откоса

Таблица 1

Характеристика грунтов, залегающих в откосе

| Номер слоя грунта | Модуль деформации МПа | Коэффициент Пуассона | Объемный вес кг/см ³ | Угол внутреннего трения φ_0 | Сцепление c МПа |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|
| I | 10 | 0,3 | 0,0016 | 10 | 0,013 |
| II | 12 | 0,3 | 0,0016 | 12 | 0,03 |
| III | 20 | 0,3 | 0,0020 | 20 | 0,05 |
| IV | 22 | 0,4 | 0,0022 | 20 | 0,06 |
| V | 26 | 0,3 | 0,001 | 27 | 0,01 |

Компоненты тензора приращения деформации $d\varepsilon_{k_s}$ и вектора приращения перемещений du_k связаны между собой соотношениями Коши

$$d\varepsilon_{k_s} = \frac{1}{2}(du_{k,s} + du_{s,k}) \quad (1)$$

Уравнение принципа виртуальной работы, которое равносильно уравнению равновесия, записываются в виде

$$\int_{\Omega} [\delta_{\varepsilon}]^T \sigma d\Omega - \int_{\Omega} Q d\Omega - \int_{S_q} [\delta_u]^T q dS = 0. \quad (2)$$

Уравнения состояния для грунтов можно представить так

$$\begin{aligned} d\sigma_{ks} &= D_{ksmn}^{(e)} d\varepsilon_{mn}, \text{ если } f = 0, d'f \leq 0 \text{ или } f < 0; \\ d\sigma_{ks} &= D_{ksmn}^{(ep)} d\varepsilon_{mn}, \text{ если } f = 0, d'f > 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где $D_{ksmn}^{(e)}$ и $D_{ksmn}^{(ep)}$ приведены в [3].

В качестве функции нагружения используется условие Кулона – Мора

$$\left(\sigma_0 - \frac{\sigma_i}{\sqrt{3}} \sin \psi \right) \sin \varphi + \sigma_i \cos \psi - c \cos \varphi = 0, \quad (4)$$

где σ_0, σ_i, ψ – инварианты тензора напряжений [3]; c – сцепление; φ – угол внутреннего трения.

Алгоритм решения и программный комплекс для ЭВМ, его реализующий, подробно описан в [2, 3]. Поэтому приведем только результаты расчетов.

При решении учитывалось взвешивающее влияние грунтовых вод. На рис. 2 показано разбиение грунтового массива на конечные элементы, которое производится ЭВМ по специальной подпрограмме программного комплекса, и перемещения откоса только от действия дополнительной нагрузки от собственного веса бассейна и залитой в него воды. От действия этой нагрузки и собственного веса грунтового массива в нем образовались пластические зоны, которые показаны на рис. 3. Пластические зоны отмечены жирными точками, которые приложены в точках интегрирования по Гауссу. Их девять для каждого конечного элемента. Из приведенных схем следует, что образование пластических зон в грунтовом массиве вызвано в основном его собственным весом и зависят от механических характеристик грунтовых слоев и глубины их залегания. Перемещения в массиве, вызванные нагрузкой от бассейна, существенны только в областях непосредственно к нему примыкающих.

Перемещения по оси X_1 и X_2 сечения I–I (показано на рис. 1) приведены на эпорах рис. 4 и 5, на которых ось z совпадает с осью X_1 . Наибольшее горизонтальное перемещение от действия нагрузки бассейна составило 2,432 см, а наибольшее вертикальное перемещение равно 5,169 см.

На рис. 6 и рис. 7 показаны эпюры напряжений σ_{22} и σ_{12} по сечению, параллельному I–I, но на глубине 5 см. Наибольшая величина

напряжений σ_{22} , равная $-0,0877$ МПа, возникает в угловой точке выемки откоса.

Приведенные расчеты показывают, что строительство бассейна с хорошей изоляцией от вытекания из него воды в период эксплуатации не вызовет оползневых деформаций в откосе. Если же в процессе эксплуатации бассейна будет наблюдаться просачивание воды в прилегающие к нему грунты, что вызовет их замачивание и, как следствие, уменьшение несущей способности. Для такой ситуации был выполнен расчет, когда суглинок и глина до известняка в области около бассейна придет в состояние повышенной влажности. На рис. 8 показаны пластические зоны, возникающие в грунтовом массиве при его замачивании. Из приведенной схемы видно, что вокруг бассейна образуется замкнутая пластическая область с выходом ее на свободную и боковую поверхность массива, что вызовет обрушение верхней части откоса совместно с наполненным водой бассейном.

В результате будет залита водой нижняя часть откоса, что приведет также к ее серьезным разрушениям.

Для предотвращения возможной катастрофической ситуации предлагается опереть бассейн на свайное поле с заглублением свай в известняк на $1,5 - 2,0$ м. Это позволит укрепить откос и передать нагрузки от бассейна на нижние более крепкие слои грунтового массива.

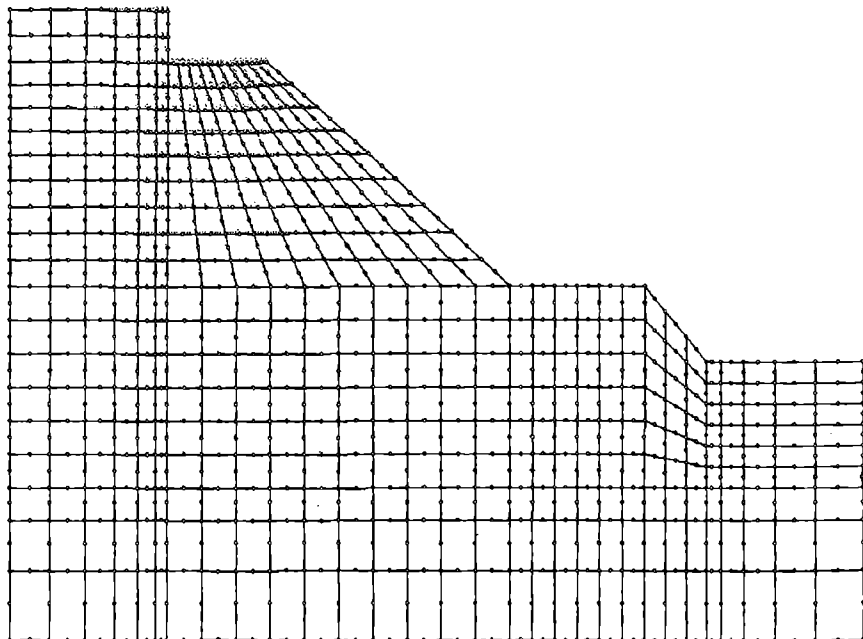


Рис. 2. Перемещения грунтового массива

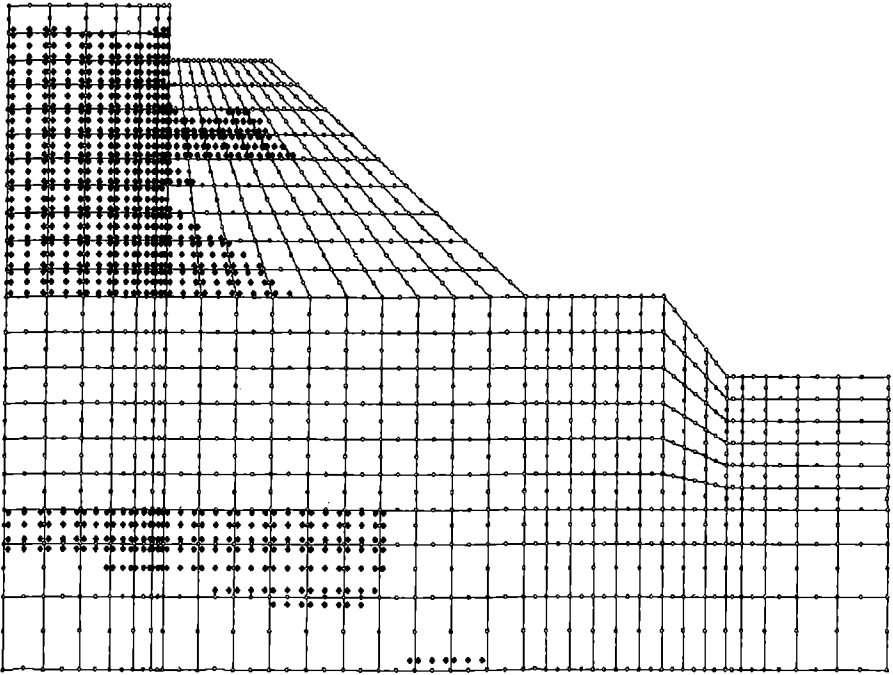


Рис. 3. Образование пластических зон в грунтовом массиве

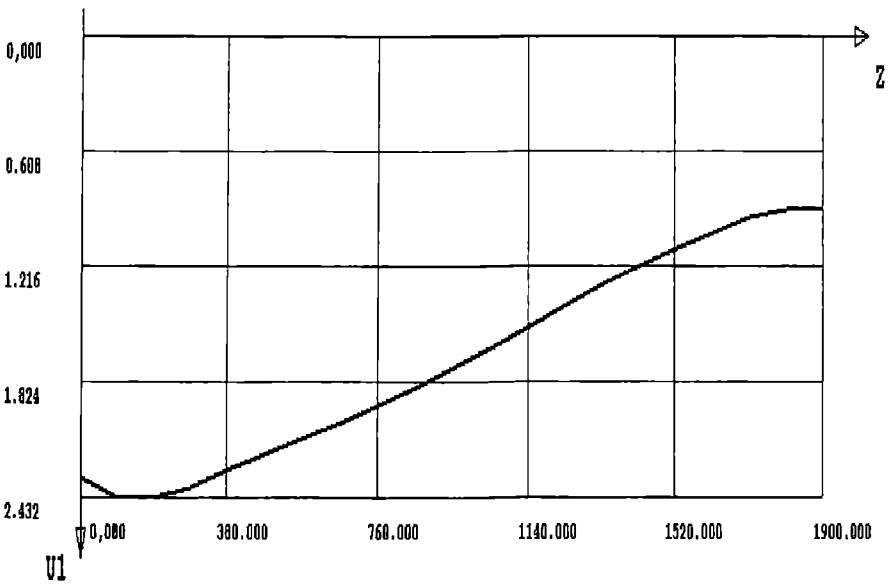


Рис. 4. Эюра перемещений u_1 по сечению I—I от нагрузки бассейна, см

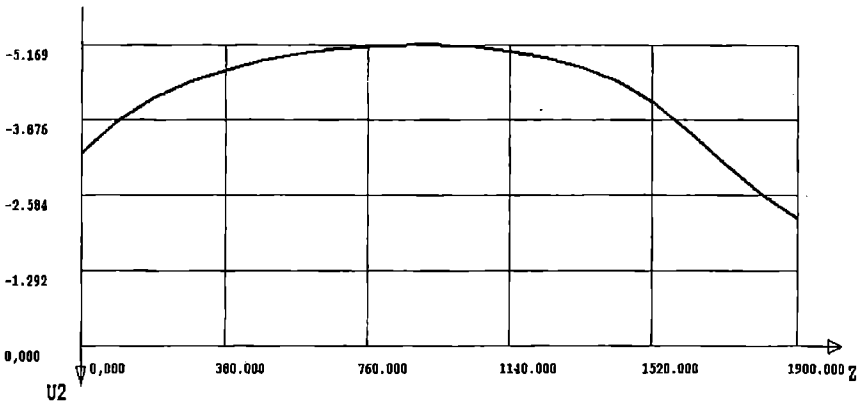


Рис. 5. Эюра перемещений u_2 по сечению I-I от нагрузки бассейна, см

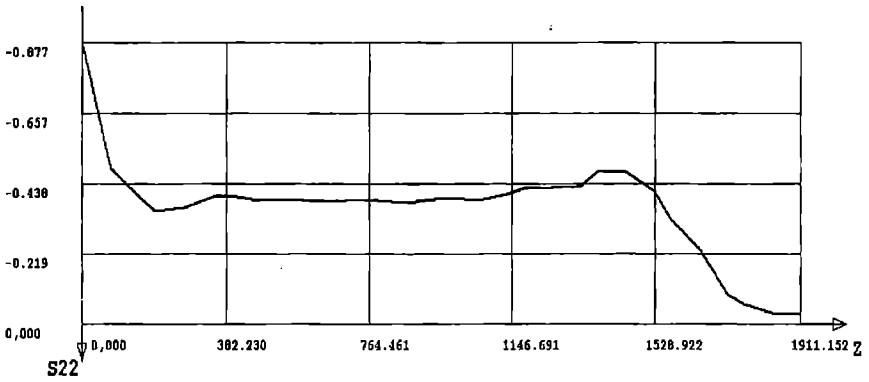


Рис. 6. Эюра напряжений σ_{22} от нагрузки бассейна, 10 МПа

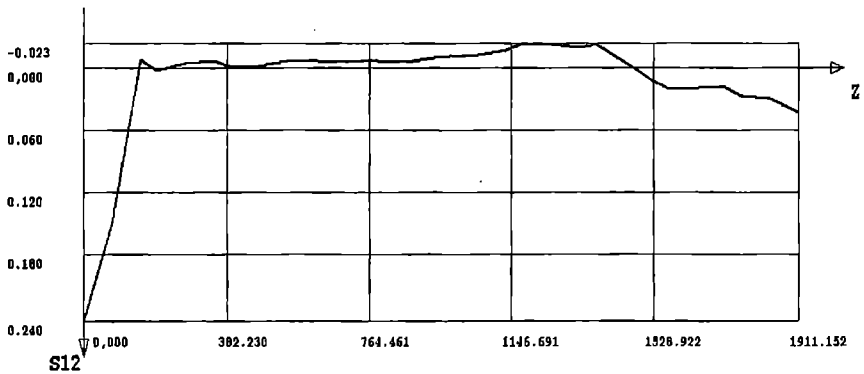


Рис. 7. Эюра напряжений σ_{12} от нагрузки бассейна, 10 МПа

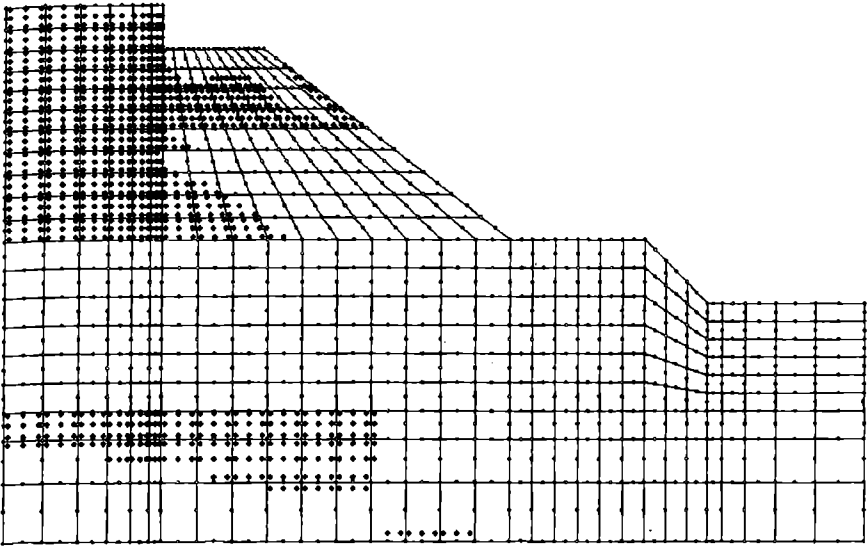


Рис. 8. Пластические зоны, возникающие в грунтовом массиве при замачивании его области вокруг бассейна

ЛИТЕРАТУРА

1. Демчишин М. Г. Современная динамика склонов на территории Украины. – Киев: Наукова думка, 1992. – 245 с.
2. Гришин А. В., Федорова Е. Ю. Нелинейные динамические задачи расчета портовых гидротехнических сооружений. – Одесса: Изд. ОГМУ, 2002. – 126 с.
3. Гришин А. В., Федорова Е. Ю. Нелинейная динамика ограждающих сооружений. – Одесса: Изд. ОГМУ, 2002. – 240 с.

Надійшла 18.01.06

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА КОНКУРЕНТНОЙ СТРАТЕГИИ ПОРТОВ

В статье рассматривается начальный этап решения проблемы обеспечения конкурентного управления фирмами, функционирующими в сфере производственного бизнеса. Для придания конкретности исследуемым вопросам рассмотрение ведется на примере морских портов как фирм, выступающих в качестве поставщиков услуг грузо- и судовладельцам.

***Ключевые слова:** рыночный механизм хозяйствования, менеджмент, контроллинг, маркетинг, конкуренция, рынок портовых услуг, характеристики рынка портовых услуг, конкурентоспособность портов.*

Присвоение Украине долгожданного статуса страны с рыночной экономикой ставит перед специалистами и руководителями всех рангов и отраслевой принадлежности нашей страны чрезвычайно важную и далеко непростую задачу – проникнуться, что называется, осознанно и убежденно философией рыночного мышления, досконально овладеть теорией и методами ведения конкурентной борьбы, начиная с выбора эффективной стратегии, профессионально мыслить и действовать при разрешении типовых и нестандартных рыночных ситуаций.

Об этой очевидной истине можно было бы и не упоминать, если бы в отечественной практике управления до настоящего времени не были бы еще так сильны стереотипы доктрины централизованного руководства экономикой, а мировая наука рыночного хозяйствования (экономикс) была бы в состоянии исчерпывающе и однозначно отвечать на все принципиально важные вопросы обозначенной выше задачи, непосредственно связанной с конкурентным поведением фирм как основных ячеек национальной экономики.

Трудность освоения нашими специалистами механизма рыночного хозяйствования в значительной степени осложняется, как минимум, двумя обстоятельствами методологического свойства. Первое из них заключается в том, что к мысли о первостепенном значении конкуренции в рыночной экономике пришли пока лишь немногие ученые в мире. Доминирующим же является мнение о том, что конкуренция является лишь разделом экономикс и одной из важных предпосылок менеджмента [1], маркетинга [2] и контроллинга как науки «управления управлением» [3].

И только в последнее десятилетие минувшего века отмеченное status quo начало изменяться после публикации фундаментальных трудов М. Портера [4, 5].

Второе обстоятельство связано с тем, что в эти же годы основательно «зашатались» каноны сложившейся в прошлом столетии теории менеджмента под воздействием радикальных изменений во всех сферах человеческой деятельности. Поэтому, как это убедительно показал в [6] всемирно известный теоретик менеджмента Питер Ф. Друкер, объективно созрела необходимость в разработке совершенно новой парадигмы менеджмента, предельно полно отвечающей особенностям функционирования мировой экономики в XXI веке, которой, в частности предстоит развиваться в условиях глобализации конкуренции.

И надо признать, что это утверждение д-ра Друкера поддерживается не только его единомышленниками в кругу классиков менеджмента, но и специалистами в области микро- и макроэкономики, о чем свидетельствует книга [7] Л.С. Шевченко под названием «Конкурентное управление», в которой предпринята попытка выдвинуть на первый план конкурентное начало в менеджменте. Тем не менее и д-р Друкер, и его единомышленники, и сторонники «старого менеджмента» [8] остаются на общей платформе, приписывая менеджменту роль метатеории в области экономических наук, призванных обеспечивать эффективное хозяйствование, а в конечном счете материализацию затрат в результаты.

Мы же берем на себя смелость заявить о дискуссионности этого положения и утверждать, что конкуренция, с одной стороны, и контроллинг, менеджмент и маркетинг в совокупности, с другой стороны, диалектически связаны между собой, причем в практике они находятся в отношениях соответственно причины и следствия, как это показано на рис. 1.

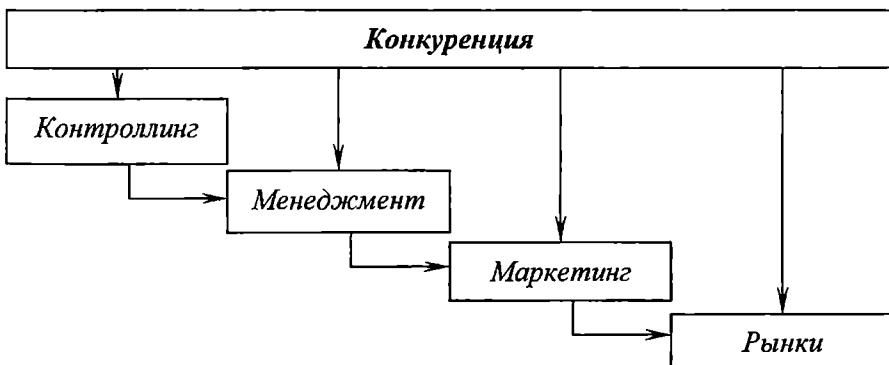


Рис. 1. Схема взаимосвязи теорий обеспечения эффективного хозяйствования в условиях рыночной экономики

Как видно из приведенной схемы, именно конкуренция «подстёгивает» развитие обеспечивающих жизнедеятельность рынков теорий, действуя в духе знаменитой «невидимой руки» Адама Смита. В силу этого можно утверждать, что теорию конкуренции необходимо признать самостоятельной наукой, основы которой уже по сути дела заложены в книгах М. Портера [4, 5], А. Ю. Юданова [9], Г. Л. Азоева [10], М. И. Кныша [11], М. Беста [12] и ряда других авторов.

Понимая, что рамки даже «безлимитной» статьи недостаточны для всестороннего освещения концепции конкурентного управления (а мы без колебаний поддерживаем именно такую интерпретацию конкуренции), сосредоточим далее внимание на принципиально важных вопросах, предшествующих обоснованию выбора конкурентной стратегии фирмами, активно оперирующими на рынке, причем в качестве фирм будем рассматривать морские порты, что и является основной целью данной статьи.

Приступая к исследованию поставленной таким образом задачи, предварительно отметим, что в отечественной транспортной литературе конкуренция между украинскими портами трактуется как «борьба всех против всех». Между тем, как показано в [9], такая интерпретация конкуренции является следствием ошибочного ее понимания, ибо конкуренция всегда развивается между ограниченным количеством фирм и при наличии определенных условий.

В случае портов конкуренция между ними возникает обычно по грузу одного наименования, следующего в одном или близких направлениях. Конкуренция может возникать и по грузам нескольких наименований, но следующих в одном или близких направлениях. При этом складывается рынок портовых услуг (РПУ) по схеме, приведенной на рис. 2.

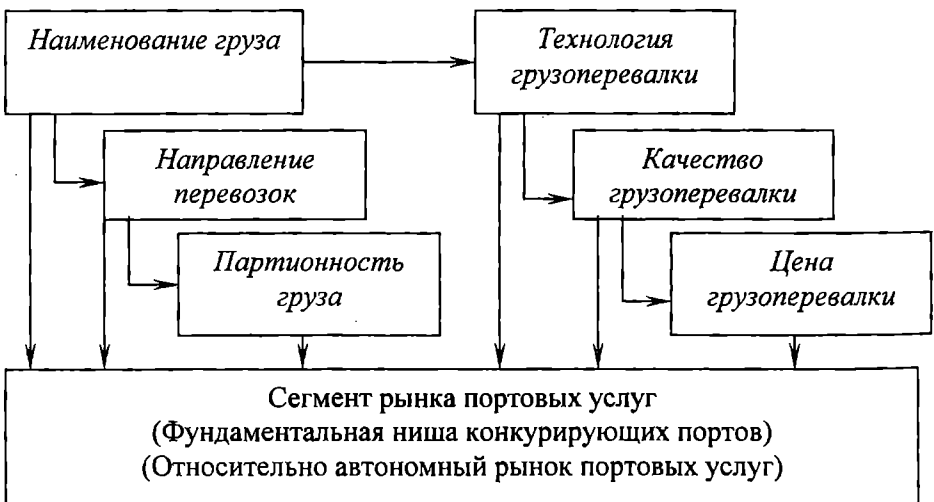


Рис. 2. Схема выделения сегментов рынка портовых услуг

Итак, каждый сегмент РПУ является по сути дела «мини-рынком», на котором оперируют определенные порты, предоставляющие клиентуре в лице грузо- и судовладельцев комплексы операций по обслуживанию грузов и судов. Понятно, что портовая клиентура будет стремиться к обеспечению своих интересов и выбирать для грузоперевалки тот порт, который в наибольшей степени удовлетворит эти интересы.

На любой РПУ в общем случае «замыкаются» два рынка транспортных услуг, субъектами которых являются судоходные компании на морском плече маршрута доставки грузов и перевозчики смежных видов транспорта на материковой части этого маршрута. Кроме того, на РПУ «накладываются» определенные рынки экспедиторских и агентских услуг.

Отметим также, что РПУ и другие упомянутые рынки услуг всегда связываются с некоторым товарным рынком (по наименованию грузов), на котором продавцы и покупатели заключают сделки по продаже-купле товара (рис. 3)

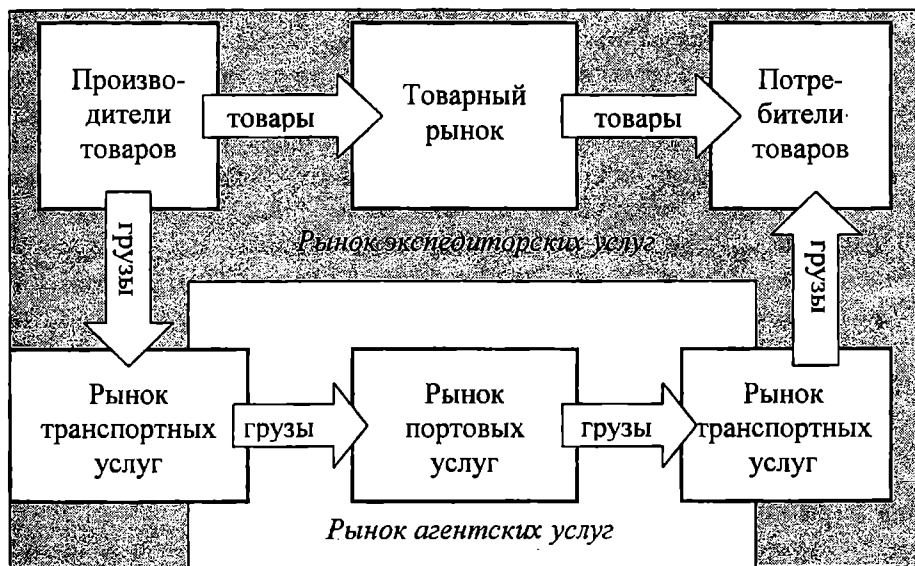


Рис. 3. Схема взаимосвязи рынков товаров и услуг

Как видно из схемы сегментирования РПУ непосредственно от портов зависят такие факторы как технология, качество и цена грузоперевалки. Очевидно, что порты могут активно влиять на каждый из этих факторов и тем самым регулировать конкурентоспособность своих услуг, иначе говоря, – использовать экономические рычаги для привлечения клиентуры.

Как показано в [10], исследование любого рынка, в том числе и РПУ, следует начинать с анализа развития рыночной (конъюнктурной) ситуации на основе ее рассмотрения в привязке к определенному периоду

времени. При таком подходе целесообразно выделять границы периода, т.е. первый и последний годы и анализировать соответствующую им информацию – ретроспективную (первый заданный год) и текущую (последний заданный год).

Обращение к анализу ретроспективной ситуации на РПУ позволяет смоделировать некую «стартовую» позицию каждого порта, что позволяет в дальнейшем установить характер конкурентного поведения портов в смысле повышения, понижения или сохранения на неизменном уровне их деловой активности в течение рассматриваемого периода времени.

Полное решение поставленной задачи может быть найдено путём всестороннего исследования по целому ряду производственно-экономических показателей, характеризующих функционирование рассматриваемого РПУ с использованием обширной и разнообразной информации, составляющей, как правило, коммерческую тайну портов. В данной статье задача намеренно упрощается, и её решение отыскивается лишь по одному показателю – рыночной доле портов, который при прочих одинаковых условиях допустимо, на наш взгляд, рассматривать в качестве интегральной характеристики, дающей представление о достигнутой прочности позиции портов на РПУ.

Сразу же и настойчиво подчеркнем, что при указанном условии рыночная доля портов не отождествляется с их конкурентоспособностью, чем «грешат» некоторые наши специалисты в области теории портовой конкуренции, ибо элементарная логика подсказывает, что конкурентоспособность и рыночная доля портов (как и любых фирм) находятся в отношениях причины и следствия, т.е. чем выше конкурентоспособность порта (причина), тем больше его рыночная доля (следствие) при прочих одинаковых условиях, включая и показатель производственной мощности (а, значит, и величины) порта.

Для упрощения изложения рассматриваемых вопросов в дальнейшем будем выделять так называемый «базовый» порт, который конкурирует с другими портами РПУ.

Исследуемая задача решается при условии, что плотность распределения рыночных долей портов подчиняется логнормальному распределению с положительным коэффициентом асимметрии, что, как показано в [10], характерно для рынков с числом операторов не менее трех. В этом же источнике предусматривается также использование правила «трех сигм», что позволяет разбить РПУ на четыре сектора (M_I – M_{IV}), в каждый из которых включаются порты с близкими значениями рыночной доли. Тем самым фиксируется уровень силы (или слабости) рыночной позиции базового порта и его конкурентов.

В соответствии с используемой в теории рынка терминологией в упомянутых секторах объединяются:

- M_I – порты-лидеры рынка;
- M_{II} – порты с сильной конкурентной позицией;
- M_{III} – порты со слабой конкурентной позицией;
- M_{IV} – порты-аутсайдеры рынка.

Цель решения задачи состоит в выявлении сектора РПУ, к которому тяготеет каждый порт из числа рассматриваемых.

Решение задачи выполняется по алгоритму, предусматривающему реализацию следующих вычислительных и логических операций.

1. Определяется рыночная доля портов D_i :

$$D_i = Q_i / Q, \quad i = \overline{1, m},$$

где i – шифр порта;

Q_i и Q – емкость соответственно реализованной рыночной ниши порта i и РПУ.

2. Полученные значения показателя рыночной доли портов упорядочиваются по возрастанию (неубыванию) и строится последовательность

$$D_1 \leq D_2 \leq \dots \leq D_i \leq \dots \leq D_m.$$

При этом величины D_1 и D_m принимаются далее в качестве соответственно минимального (D_{\min}) и максимального (D_{\max}) значений рыночной доли портов.

3. Находится среднее арифметическое значение рыночной доли оперирующих на РПУ портов – \bar{D}

$$\bar{D} = 1/m,$$

слева от которого оказываются порты с более низкими, а справа с более высокими рыночными долями.

4. Рассматриваемая совокупность портов разбивается на два подмножества (M_1^0 и M_2^0) по правилу

$$\left. \begin{array}{l} i \in M_1^0, \text{ если } D_i < \bar{D}, \quad i = \overline{1, k}; \\ i \in M_2^0, \text{ если } D_i \geq \bar{D}, \quad i = \overline{k+1, m} \end{array} \right\}.$$

Очевидно, что в подмножество M_1^0 попадут порты, рыночная доля которых находится в интервале $[D_{\min}, \bar{D})$, а подмножество M_2^0 образуют порты с рыночной долей из интервала $[\bar{D}, D_{\max}]$.

5. Процедура дифференциации портов по рыночной доле продолжается, теперь уже в рамках подмножеств M_1^0 и M_2^0 . С этой целью для соответствующих интервалов изменения рыночных долей портов $[D_{\min}, \bar{D}]$ и $[\bar{D}, D_{\max}]$ определяются средние арифметические значения и среднеквадратические отклонения рыночных долей – соответственно \bar{D}_1^0, \bar{D}_2^0 и y_1, y_2

$$\bar{D}_1^0 = \sum_{i=1}^k D_i / k; \quad \bar{D}_2^0 = \sum_{i=k+1}^m D_i / (m-k);$$

$$y_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^k (D_i - \bar{D}_1^0)^2 / k}; \quad y_2 = \sqrt{\sum_{i=k+1}^m (D_i - \bar{D}_2^0)^2 / (m-k)}.$$

6. Фиксируются граничные значения показателя рыночной доли портов для формирования секторов M_I - M_{IV}

$$D_{\min}; D_1^0; \bar{D}; D_2^0; D_{\max}.$$

7. Порты всей рассматриваемой совокупности распределяются между секторами РПУ по правилу

$$i \in \left\{ \begin{array}{l} M_I, \text{ если } D_i \in [\bar{D} + 3y_2; D_{\max}] \\ M_{II}, \text{ если } D_i \in [\bar{D}; \bar{D} + 3y_2) \\ M_{III}, \text{ если } D_i \in [\bar{D} - 3y_1; \bar{D}) \\ M_{IV}, \text{ если } D_i \in [D_{\min}; \bar{D} - 3y_1) \end{array} \right\}, \quad i = \overline{1, m}.$$

В заключение делается вывод о «стартовой» рыночной позиции рассматриваемых портов. При этом позиция базового порта сопоставляется с позициями портов-конкурентов. Эту операцию в принципе можно осуществить и для всех оперирующих на РПУ портов.

Далее по той же схеме выполняется анализ текущей рыночной ситуации для последнего заданного года с целью установления характера изменения ситуации на РПУ и определения конкурентной позиции каждого порта.

Выполненный таким образом анализ ситуации на рассматриваемом РПУ дает представление о её состоянии в начале и конце заданного периода времени. Полученные результаты необходимо дополнить оценкой характера ее развития на протяжении всего периода с тем, чтобы выявить тенденцию изменения показателя рыночной доли оперирующих на РПУ портов и в итоге установить, как изменялась (улучша-

лась, ухудшалась, оставалась стабильной) рыночная позиция базового порта и его конкурентов на протяжении рассматриваемого периода времени.

Поставленная задача решается при условии, что плотность распределения значений показателя темпа прироста рыночной доли его субъектов приближается к нормальному закону [10]. Такой подход позволяет распределить оперирующие на РПУ порты на четыре сектора (N_I - N_{IV}) по характеру изменения (улучшения, ухудшения или сохранения) их конкурентной позиции.

В соответствии с принятой в теории рынка терминологией в формируемых таким образом секторах объединяются:

- N_I – порты с быстро улучшающейся конкурентной позицией;
- N_{II} – порты с улучшающейся конкурентной позицией;
- N_{III} – порты с ухудшающейся конкурентной позицией;
- N_{IV} – порты с быстро ухудшающейся конкурентной позицией.

Принадлежность портов к перечисленным секторам определяется по показателю темпа прироста их рыночной доли,

$$i \in \left\{ \begin{array}{l} N_I, \text{ если } T_i \in [\bar{T} + 3y; T_{\max}] \\ N_{II}, \text{ если } T_i \in [\bar{T}; \bar{T} + 3y) \\ N_{III}, \text{ если } T_i \in [\bar{T} - 3y; \bar{T}) \\ N_{IV}, \text{ если } T_i \in [T_{\min}; \bar{T} - 3y) \end{array} \right\}, \quad i = \overline{1, m},$$

где \bar{T} и y – соответственно среднее арифметическое и среднеквадратическое отклонение темпов изменения рыночной доли портов.

Далее делается вывод о тенденции изменения конкурентной позиции базового порта (улучшение, ухудшение, сохранение на некотором неизменном уровне). При необходимости это же самое можно выполнить и для каждого из остальных портов.

Результаты охарактеризованных проработок дают достаточно чёткое представление о положении на РПУ рассматриваемых портов, что как раз и характеризует их конкурентный статус. Эти результаты объединяются в конкурентную карту РПУ [10], представленную в приведенной ниже табл. 1. В этой таблице фиксируется по сути дела конкурентный статус заданных портов путём отнесения каждого из них к одному из типовых положений 1-16.

Очевидно, что конкурентный статус портов наиболее четко определяется в положениях 1 (лидеры рынка с быстро улучшающейся конкурентной позицией) и 16 (аутсайдеры с быстро ухудшающейся конкурентной позицией).

Матрица конкурентной карты рынка

| Характер изменения конкурентной позиции портов | Конкурентные позиции портов | | | |
|------------------------------------------------|-----------------------------|---------|--------|------------|
| | Лидеры | Сильная | Слабая | Аутсайдеры |
| Быстрое улучшение | 1 | 5 | 9 | 13 |
| Улучшение | 2 | 6 | 10 | 14 |
| Ухудшение | 3 | 7 | 11 | 15 |
| Быстрое ухудшение | 4 | 8 | 12 | 16 |

Очевидно также, что в обоих этих случаях конкурентные отношения на РПУ развиваются по односторонней схеме: лидеры испытывают противодействие со стороны портов с более слабым конкурентным статусом, аутсайдерам же приходится противодействовать портам с более сильным конкурентным статусом.

В остальных положениях (2-15) конкурентные отношения между портами реализуются по двухсторонней схеме: каждому из них противостоят соперники как с более сильным, так и с более слабым конкурентным статусом.

Из приведенной таблицы видно также, что по силе конкурентного статуса порты разделяются на две категории: в положениях 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14 им характерна положительная тенденция развития, что служит предпосылкой усиления их конкурентного статуса; в положениях 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15, 16 имеет место прямо противоположная тенденция.

Выбор конкурентной стратегии портов на перспективу необходимо начинать с оценки состояния конкурентного «климата» на РПУ, который складывается под воздействием факторов макро- и микросреды рынка. Эту процедуру допустимо выполнять в упрощенной постановке при условии, что достаточно четкое представление о конкурентном «климате» на РПУ дает показатель интенсивности конкуренции портов, отражающий степень их взаимного противодействия в борьбе за клиентуру, или, иначе говоря, за их конкурентную активность.

В практике бизнеса установлено [10], что на конкурентную активность субъектов рынка в наибольшей степени влияют два фактора: темпы роста (сворачивания) рынка за счет увеличения (уменьшения) количества потребителей и/или объемов реализации товаров; соотношение рыночных долей субъектов рынка. Установлено также, что интенсивность рыночной конкуренции изменяется по правилу: нарастает по мере снижения темпов

роста рынка и выравнивания рыночных долей его субъектов; ослабевает при противоположной тенденции изменения этих показателей.

Отмеченная закономерность лежит в основе методики оценки интенсивности конкуренции на рынках разных типов. Суть этой методики характеризуется ниже в приложении к РПУ.

Методикой предусматривается определение интенсивности рыночной конкуренции портов с двух точек зрения: для некоторого (заданного) периода времени и в определенный момент времени (на конец рассматриваемого периода). Рассчитываемые при этом показатели интенсивности конкуренции портов учитывают проявление двух факторов – темпов роста РПУ (I_p) и соотношения рыночных долей портов (I_D).

Первый показатель характеризует динамику РПУ на рассматриваемом временном интервале. Как отмечается в [10], из практики бизнеса известно, что диапазону изменения показателя I_p (от 0 до 1) соответствует интервал изменения темпов роста рынка от 140% до 70%, т. е. при $T_p \geq 140\% I_p \Rightarrow 0$, а при $T_p \leq 70 I_p \Rightarrow 1$. Содержательно это означает, что при росте спроса на портовые услуги конкурентная активность портов затухает, а при падающем спросе она стремительно нарастает.

Показатель интенсивности конкуренции портов, обуславливаемой соотношением их рыночных долей, находится из выражения

$$I_D = 1 - V_D,$$

где V_D – коэффициент вариации рыночных долей портов.

Из приведенного соотношения видно, что с уменьшением коэффициента вариации (а это происходит по мере сближения значений рыночных долей портов) интенсивность портовой конкуренции повышается. И, напротив, при увеличении коэффициента вариации, когда рыночные доли портов существенно отличаются, интенсивность конкуренции портов падает до нуля. Заметим, что с увеличением коэффициента вариации рыночных долей портов (от 0 до 1) показатель интенсивности портовой конкуренции изменяется в противоположном направлении (от 1 до 0), т.е. при $V_D \Rightarrow 1 I_D \Rightarrow 0$, а при $V_D \Rightarrow 0 I_D \Rightarrow 1$.

Обобщающая оценка конкурентного «климата» на РПУ проводится с учетом совокупного проявления факторов темпа роста (сворачивания) рынка и соотношения рыночных долей портов, т.е. с учетом показателей I_p и I_D .

Исследование конъюнктурной ситуации на РПУ позволяет решить задачу по выявлению конкурентов каждого порта. Очевидно, что суть данной задачи состоит в выяснении вопроса о том, с какими конкретно портами и с какой степенью остроты конкурирует рассматриваемый порт.

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

Этот вопрос решается путем сопоставления рыночной доли базового (любого другого) порта с рыночной долей каждого из оперирующих на рассматриваемом РПУ портов.

Из практики бизнеса известно [10], что существует некоторая критическая пропорция рыночных долей двух независимых конкурентов, когда стремление к изменению этой пропорции затухает. Обычно эту пропорцию определяют как 2:1 (или 1:2) и считают, что при таком условии конкуренция между изучаемыми субъектами рынка отсутствует. В случае же равенства рыночных долей конкурентов (соотношение 1:1) активность их соперничества достигает своего максимума.

Отмеченная закономерность характерна для стабильно функционирующих рынков, к числу которых можно отнести и РПУ. Исходя из этой закономерности, можно в принципе выявить конкурентов рассматриваемого порта по характеризующей ниже схеме.

Очевидно, что полное множество возможных соотношений рыночных долей портов находится в некотором интервале, который может быть разбит на подинтервалы по степени остроты портовой конкуренции и проявляемой портами конкурентной активности. Эту операцию можно выполнить для базового порта путем выделения, например, пяти (или иного количества) подинтервалов в привязке к зафиксированным граничным значениям соотношения рыночных долей портов, что отражено в табл.2.

Таблица 2

Информация к выявлению портов-конкурентов

| Расчетные подинтервалы | Диапазон изменения соотношения рыночных долей портов | Степень остроты конкуренции портов | Инициаторы конкуренции на РПУ |
|------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 0 - 0,5 | Практически нулевая | — |
| 2 | 0,51 - 0,75 | Слабая с возможным нарастанием | Порт-конкурент |
| 3 | 0,76 - 1,35 | Предельно острая | Оба порта |
| 4 | 1,36 - 1,75 | Слабая с возможным затуханием | Базовый порт |
| 5 | 1,76 - 2 и более | Практически нулевая | — |

Полученные таким образом результаты обоснований и расчетов дают возможность сделать заключение о наиболее вероятном развитии в обозримой перспективе конкурентных отношений между базовым портом и его соперниками по РПУ. Именно эта информация является основой для выбора конкурентной стратегии как базового порта, так и всех его конкурентов.

При решении данной задачи необходимо исходить из существа понятия стратегии, под которой подразумевается некая обобщенная модель действий (набор правил и приемов), необходимых для достижения поставленных целей при условии обеспечения эффективного использования ресурсного потенциала рассматриваемого предприятия, каковым в случае рынка является фирма-продавец товара, а на РПУ – порт.

Как показано в [9], оперирующим на рынке фирмам сопутствует деловой успех обычно тогда, когда они в своей деятельности руководствуются такой конкурентной стратегией, которая адекватна, с одной стороны, их ресурсному потенциалу и, с другой стороны, состоянию конкурентного «климата» на рынке. При этом каждая фирма в силу своей уникальности (отличия от других фирм) отдает предпочтение определенной, только ей одной свойственной комбинации стратегических идей и подходов к их реализации. Тем самым обуславливается существование множества вариантов делового поведения фирм на рынке и соответствующего ему поля конкурентных стратегий.

Вместе с тем при относительно стабильной ситуации на рынке в указанном поле обычно доминируют четыре типа (разновидности) стратегий, четко различимых по сути и механизму реализации. В теории конкуренции они получили наименование *виолентной («силовой»)*, *патентной (нишевой)*, *коммутантной (приспособительской)* и *эксплерентной (пионерской)* конкурентных стратегий, каждая из которых может быть единственной в конкурентной ориентации фирмы [9]. Вместе с тем возможно и различное их сочетание, что ведет к понятию **полистратегии** как основы повышения гибкости и эффективности делового поведения фирмы.

В приложении к портовому бизнесу рассмотренные конкурентные стратегии интерпретируются следующим образом.

Виолентная стратегия. В случае РПУ эту стратегию можно с некоторыми допущениями отнести к деятельности наиболее крупных портов при условии, что их деловая активность направляется на максимальное увеличение грузовой базы за счет расширения фундаментальной и реализованной рыночных ниш.

Преследуя эту цель, указанные порты могут нацеливаться на охват сегментов РПУ как по отдельным крупным грузопотокам рынка, следующим в нескольких направлениях перевозок, так и по совокупности различных грузопотоков с большим удельным весом в портовом грузообороте.

В итоге перед портами открывается в конечном счете возможность для снижения цен на услуги и повышения на этой основе запаса их конкурентоспособности.

Пациентная стратегия. В случае РПУ этой стратегии следуют порты всех категорий – от самых крупных до самых небольших, стремясь, во-первых, надежно удерживать уже привлеченные грузопотоки и, во-вторых, наращивать объемы осваиваемых грузопотоков.

В обоих случаях порты направляют свои усилия на максимально полное удовлетворение потребностей клиентуры, связываемых обычно с особыми требованиями к технологии грузоперевалки и/или интенсивности процесса загрузки-разгрузки судов. Тем самым порты поддерживают высокий уровень потребительской ценности предоставляемых клиентуре услуг и благодаря этому обеспечивают необходимый запас их конкурентоспособности.

Коммутантная стратегия. Для РПУ эта стратегия кажется, на первый взгляд, неприемлемой вследствие того, что даже маломощные порты не подпадают под определение понятия малой фирмы. Однако в условиях грузопотокового дефицита порты всех категорий вступают в борьбу за клиентуру в духе именно коммутантной конкурентной стратегии, т.е. с нацеленностью на максимально полное удовлетворение потребностей клиентуры, какими бы эти потребности ни были бы.

Точно так же порты реагируют в ситуациях, когда от клиентуры поступают разовые заявки на осуществление процессов грузоперевалки и/или обслуживания судов с обеспечением особых требований, связываемых обычно с технологией грузоперевалки и сроков пребывания в портах грузов и судов под обслуживанием.

Еще более рельефно дух коммутантной стратегии присутствует в конкурентной борьбе стивидорных компаний, оперирующих как в пределах одного порта, так и в разных портах, тяготеющих к одному и тому же РПУ.

Эксплерентная стратегия. Этим видом стратегии порты пользуются редко и притом в скромных масштабах, как правило, без высокого риска с адекватной выгодой. Ее концептуальная суть присутствует как тенденция в деятельности портов, которые отличаются высокой деловой активностью и постоянной нацеленностью на совершенствование внутривортового менеджмента, технологии грузоперевалки и организации обслуживания судов.

Выбор конкурентной стратегии порта непосредственно связан и даже может предопределяться определённой целью, актуальной для него в рассматриваемый момент или период времени.

В обобщенной постановке цели функционирования портов соответствует некий уровень их экономического состояния, достижение которого порты считают необходимым для сохранения и/или упрочения своих позиций на РПУ. В конкретном определении цели портов могут

связываться с одной из следующих стратегических идей: обеспечением выживаемости, максимизацией текущей прибыли, завоеванием лидерства по показателям рыночной доли, или качества предоставляемых клиентуре услуг [2]. Эти цели характерны и для деятельности портов.

Обеспечение выживаемости становится главной целью портов, когда на РПУ резко обостряется конкуренция (обычно при падении спроса на портовые услуги) или существенно меняются потребительские требования клиентуры. В обоих случаях перед портами встает проблема вынужденного снижения цен на свои услуги (в пределах до уровня производственных издержек) в надежде, что такой шаг будет способствовать привлечению клиентуры.

Максимизацию текущей прибыли порты принимают в качестве основной цели в ситуациях, когда отсутствует возможность надежного прогнозирования долговременных показателей и/или на РПУ преобладает нерегулярный спрос на портовые услуги. В таких ситуациях порты производят оценку спроса и издержек применительно к разным уровням цен на свои услуги и выбирают такую цену, которая обеспечивает при прочих одинаковых условиях наибольшую величину текущей прибыли.

Завоевание лидерства по рыночной доле становится приоритетной целью для портов, стремящихся к обеспечению долговременных прибылей при минимальных ценах на свои услуги. Вариантом этой цели является стремление портов добиться конкретного приращения рыночной доли за определенный период времени (обычно в пределах одного года).

Завоевание лидерства по показателям качества предоставляемых клиентуре услуг для портов может быть главной целью при условии, что на их услуги максимально высокого качества при адекватно высоких ценах сохраняется стабильный спрос клиентуры в объеме, гарантирующем портам достижение желаемой прибыли.

Цель функционирования любого порта определяется исходя из его конкурентного статуса с учётом динамики конкурентной среды РПУ как по характеру, так и по темпам роста (сворачивания) рынка в совокупности с изменением конкурентного статуса оперирующих на РПУ портов. При этом необходимо исходить из сложившихся в практике бизнеса закономерностей, характеризуемых ниже.

Установлено, что в конкурентной борьбе на рынках преобладают обычно следующие варианты развития событий [9, 10]:

1. Лидеры рынка направляют свои усилия на укрепление завоеванной позиции, пресекая попытки проникновения в их реализованные ниши более слабых по конкурентному статусу соперников и вытесняя при возможности последних из общей фундаментальной ниши (наступательная стратегия);

2. Субъекты рынка с сильной конкурентной позицией стремятся, с одной стороны, атаковать ближайших соперников с более

сильным конкурентным статусом и, с другой стороны, подавлять подобно лидерам более слабых конкурентов (наступательная стратегия);

3. Субъекты рынка со слабой конкурентной позицией и аутсайдеры рынка обычно стремятся отразить давление более сильных конкурентов и усилить свою позицию за счет подавления более слабых конкурентов (соответственно оборонительная и наступательная стратегии);

Рассмотренная концепция обоснования выбора конкурентной стратегии портов конечно же не является единственно возможной и до конца разработанной. Поэтому она нуждается в развитии в соответствии с теми новыми идеями в области обеспечения эффективного функционирования экономики, которые обозначены в [6] и достаточно подробно изложены в [9, 12]. Именно в таком направлении мы видим перспективы в исследовании рассмотренных в данной статье вопросов.

ЛИТЕРАТУРА.

1. *Доиль П. Менеджмент: стратегия и тактика.* – СПб.: Изд-во «Питер», 1999. – 574 с.
2. *Котлер Ф., Армстронг Г., Сондерс Д., Вонг В. Основы маркетинга: Пер. с англ. – 2-е европ. изд. – К., М., СПб.: Изд. дом «Вильямс», 1998. – 736 с.*
3. *Майер Э. Контроллинг как системы мышления и управления.* – М.: Финансы и статистика, 1993. – 278 с.
4. *Портер М. Э. Конкуренция. Учебн. пособие: Пер. с англ.: – М.: Изд. дом «Вильямс», 2000. – 495 с.*
5. *Портер М. Международная конкуренция: Пер. с англ.: – М.: Междунар. отношения, 1993. – 896 с.*
6. *Друкер Питер Ф. Задачи менеджмента в XXI веке: Пер. с англ.: Учебн. пособие. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2002. – 272 с.*
7. *Шевченко Л.С. Конкурентное управление: Учебн. пособие. – Харьков: Эспада, 2004. – 520 с.*
8. *Мескон М. Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: Пер. с англ.: – М.: ДЕЛО, 1992. – 702 с.*
9. *Юданов А.Ю. Конкуренция: теория и практика: Учебно-практическое пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство «ГНОМ и Д», 2001. – 304 с.*
10. *Азоев Г.Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика. – М.: Центр экономики и маркетинга, 1996. – 208 с.*
11. *Кныш М.И. Конкурентные стратегии. Учебн. пособие. – СПб.: Изд. тип. «Любавич», 2000. – 280 с.*
12. *Бест М. Новая конкуренция. Институты промышленного развития. – М.: ТЕИС, 2002. – 356 с.*

Надійшла 12.01.06

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНО- ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПОРТА

Дана постановка и предложена модель задачи оптимизации процесса формирования программы развития морского порта. В основе подхода – теория игр и взаимное влияние участников конфликта (портов) при выборе их стратегии развития.

Ключевые слова: теория игр, конфликтная ситуация, конкурентоспособность, дерево допустимых вариантов, программа развития порта.

Совокупное воздействие технических, технологических и организационных факторов предопределяет неравномерный характер процесса функционирования морских портов и объективно обуславливает необходимость создания специальных резервов их производственных мощностей.

Вследствие неустойчивости мировой и отечественной экономики часто изменяются объемы, направления и структура грузопотоков. На них существенное влияние оказывает широкий спектр политических и экономических взаимоотношений между странами, конъюнктурные изменения на мировом товарном рынке [1].

Отсутствие либо недостаток производственных резервов в порту при значительном росте объемов перевозок повышает издержки транспорта вследствие увеличения простоев подвижных средств и снижения скоростей доставки грузов. Это приводит к снижению конкурентоспособности порта и, как следствие, к потере клиентов.

В свою очередь, избыток резервов мощностей, полученный в результате неадекватной стратегии развития порта, вызывает нерациональные затраты на их создание и содержание.

Технический прогресс в судостроении, портостроении, машиностроении привел к увеличению размеров судов, применению высокопроизводительных специализированных перевалочных установок и использованию глубоководного причального фронта. Это вызвало существенный рост капиталоемкости производственных мощностей порта. Поэтому в современных условиях расчет и обоснование оптимальных производственных мощностей морского порта приобретают особое значение.

В связи с этим целью статьи является разработка модели и метода оптимизации процесса формирования программы развития материально-технической базы порта.

Между морскими портами Украины существует жесткая конкуренция. Одним из факторов усиления конкуренции является ввод в эксплуатацию новых производственных мощностей по переработке тех же грузов, что и в других портах региона [2, 3].

Следовательно, изменение производственных мощностей одним из портов, повышающее его конкурентоспособность, неизбежно повлияет на работу и развитие других портов. Возникает конфликт интересов.

Ввиду отсутствия полных сведений о масштабе и направлении действий портов-конкурентов определение объемов увеличения производственных мощностей каждого порта представляет собой задачу выбора лучшей для него стратегии развития в условиях конфликта и неопределенности. При этом порт, движимый внутренними стимулами и интересами в условиях рынка, должен выбрать такую программу действий, которая устраивала бы и конкурентов и отрасль в целом.

Такой подход позволяет представить модель задачи оптимизации процесса формирования программы развития материально-технической базы порта в рамках теории игр.

В этом случае возникает игра, в которой выигрыш каждого порта зависит как от его собственного действия, так и от действий других портов. Каждый из портов, участников конфликтной ситуации, стремится обеспечить себе максимально выгодный конечный результат своих действий.

В общем случае для описания игры необходимо:

- выявление действующих сторон;
- выявление сторон, отстаивающих свои интересы в конфликте;
- определение возможностей дальнейшего развития своей материально-технической базы участниками конфликта;
- формирование участниками конфликта предварительной программы развития;
- определение целей участников конфликта в процессе принятия решения.

Действующими сторонами в конфликте являются порты p , каждый из которых преследует свои цели. Характеру действия каждого соответствует программа развития Π^p ($p = 1, 2, \dots, N$, где N – количество портов) в течение спрогнозированного периода времени T . Таким образом, коалиция действия состоит из одного игрока, принимающего решение из множества допустимых для него решений $\{\Pi^p\}$.

Исходя из природных и технических условий, а также возможности привлечения финансирования, могут быть сформированы допустимые варианты развития материально-технической базы порта.

Целью любого варианта развития материально-технической базы порта является увеличение поступлений денежных средств F . С технической точки зрения это достигается путем увеличения его пропускной способности на величину $W_{ij}^P(k)$.

Реализация вариантов развития требует значительных капиталовложений $I_{ij}^P(k)$. Большинство строительных работ являются типовыми, а стоимость перегрузочного оборудования общеизвестна и может быть уточнена у компаний-производителей.

Портовые тарифы регулируются государством и между портами ведется неценовая конкуренция. Следовательно, величину доходов F , получаемых конкурирующими портами от переработки единицы груза (тонна, TEU) до и после реализации вариантов развития, можно считать одинаковой.

Приведенные к расчетной единице (тонна, TEU) эксплуатационные расходы $R_j^P(k)$ после реализации проекта развития могут уменьшиться за счет:

- использования новой техники (снижение расходов на ремонт и обслуживание);
- внедрения новых технологий производства работ, что способствует уменьшению количества работников, повышению интенсивности и точности выполнения операций;
- увеличения объема предоставляемых услуг [4].

Совокупность допустимых вариантов развития формирует допустимые программы развития порта. Анализ существующего и прогнозируемого грузопотоков при выборе последовательности реализации вариантов развития позволит минимизировать расходы на содержание неиспользуемых производственных мощностей $r_j^P(k)$, приведенных к расчетной единице (тонна, TEU).

Теория графов [5] дает возможность представить совокупность допустимых вариантов развития материально-технической базы порта в виде дерева $D^P(A, L)$ (рис.1).

Дерево состоит из непустого множества A , содержащего узлы $a(k)$, которые дифференцированы по шагам k ($k=0, 1, \dots, T-1$), и множества L , характеризующегося совокупностью дуг вида

$$l_{ij}(k+1) = \{a_i(k), a_j(k+1)\}, \quad (1)$$
$$a_i(k) a_j(k+1) \in A.$$

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

Шаг k в дереве вариантов $D^p(A, L)$ – это этап принятия решения о переходе от одного узла $a_i(k)$ к инцидентному ему другому узлу $a_j(k+1)$ по дуге $l_{ij}(k+1)$. Положение каждого конкретного узла в дереве определяется шагом k и порядковым номером $j(k)$ в множестве узлов, принадлежащих данному шагу. Каждый узел представляет конец одного допустимого проекта развития и начало нового. Вершина $a_1(0)$ – начало программы развития на плановый период.

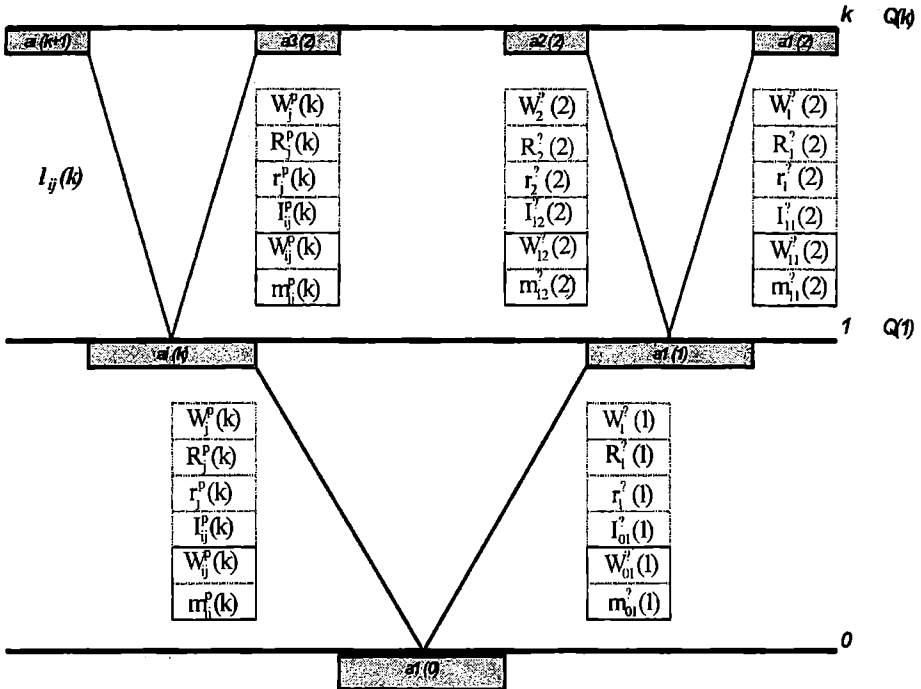


Рис. 1. Структура дерева допустимых вариантов развития

Дуги $l_{ij}(k)$ характеризуются вариантами развития порта. Максимальное число дуг, выходящих из одного узла определяется исходя из прогнозных величин объемов грузопотоков на будущие периоды времени и с учетом технических возможностей развития. Эта величина характеризует множество вариантов принятия решений $\{l_{ij}(k)\}$ на шаге k .

Варианты допустимых программ развития производственных мощностей I^p_j порта p определяется соотношением вида.

$$I^p_j = \{l_{ij}(0), \dots, l_{ij}(k), \dots, l_{ij}(T-1)\}, \quad (2)$$

$$l_{ij}(k) = \{a_i(k), a_j(k+1)\} \in L,$$

$$a_i(k), a_j(k+1) \in A.$$

Каждая стратегия $U(k)$ (выбор той или иной дуги для перехода) ставит в соответствие информационному множеству z дерева $D^p(A, L)$

число $j=1,2,\dots,J_z$, где J_z – общее число альтернатив информационного множества z . Информационные множества представляют собой подмножества всех неоконченных вариантов развития порта p в рассматриваемом периоде времени T . Так как совокупность допустимых стратегий представлена деревом вариантов развития $\mathcal{D}^p(A,L)$, то каждое информационное множество состоит из одного элемента (позиции). Следовательно, конфликтная ситуация относится к классу игр с полной информацией [6].

Принятие решения каждой из действующих сторон о переходе в состояние j является исходом конфликта и определяет ситуацию игры.

Морские порты самостоятельно планируют свою деятельность, определяют стратегию и основные направления своего развития в соответствии с отраслевыми научно-техническими прогнозами и приоритетами, конъюнктурой рынка и экономической ситуацией [7].

Таким образом, каждый порт в задаче – самостоятельный экономический объект и ему присущи в конфликте определенные интересы. Тогда коалиция интересов p_u , как и коалиция действия p_d , состоит из одного игрока и $p_d \equiv p_u \equiv p$, то есть коалиция действия является одновременно и коалицией интересов. Следовательно, игра носит ярко выраженный бескоалиционный характер [8, 9].

Целью каждого участника конфликта является получение наибольшего выигрыша ΔF^p из возможных ситуаций m . То есть, если $\Delta F^p(m_1) > \Delta F^p(m_2)$, то участник предпочтет ситуацию m_1 ситуации m_2 ($m_1 \succ m_2$).

Функция выигрыша $\Delta F^p(m)$ порта p зависит от стратегий всех участников конфликта, и каждая сторона стремится получить максимальное ее значение в конечной ситуации, которая и определяет решение игры.

Исходя из данной постановки задачи, модель конфликта описывается системой вида

$$K = (P, \{P^p\}, \{\Delta F^p\}) \quad (3)$$

$$p \in P \quad p \in P$$

Ситуация в игре, а следовательно и выигрыш, зависят не только от выбора портом p собственной стратегии, но и от того, каких стратегий будут придерживаться остальные. Просмотр допустимых стратегий сторон и их сравнение по результатам с позиции отношения предпочтения определяет понятие оптимальности ситуации.

Выработка решений о предстоящей реализации вариантов развития описывается бескоалиционной игрой, в которой участники имеют информацию друг о друге и стремятся максимизировать свои критерии эффективности. Для данного класса игр основным является принцип

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

оптимальности по Нэшу [6]. В соответствии с этим принципом отклонение каждым портом от выбранной за основу программы развития, реализующей стратегию, которая приводит к ситуации равновесия, лишь уменьшает значение его функции выигрыша (критерия эффективности).

Математическая модель выбора оптимальной программы развития описывается следующим образом. [8]:

$$\sum_{k=0}^{T_p-1} \sum_{i=1}^{I(k)} \sum_{j=1}^{I_i(k)} \Delta F_{ij}^p(k) \cdot x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k) \rightarrow \max. \quad (4)$$

$$x_j(k) = x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k). \quad (5)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T-1; i = 1, 2, \dots, I(k); j = 1, 2, \dots, I_i(k))$$

$$\sum_{j=1}^{I_i(k)} m_{ij}^n(k) = 1 \quad (6)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T_n-1; j = 1, 2, \dots, I_i(k))$$

$$m_{ij}^n(k) \geq 0 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} (k = 0, 1, \dots, T_p-1; i = 1, 2, \dots, I(k); j = 1, 2, \dots, I_i(k)) \\ x_i(0) = 1 \\ (i=1) \end{aligned} \quad (8)$$

где $\Delta F_{ij}^p(k)$ – финансовый результат, который может быть получен в результате реализации варианта развития по дуге $l_{ij}(k)$ и увеличения мощности порта p на величину $W_{ij}^p(k)$;

$x_i(k)$ – вероятность i -го состояния порта p на шаге k ;

$m_{ij}^n(k)$ – условная вероятность развития по дуге $l_{ij}(k)$, n -я итерация

(параметр управления);

$I(k)$ – множество вершин дерева (альтернатив развития) на шаге k ;

$I_i(k)$ – множество альтернатив принятия решения в множестве вершин дерева на шаге k .

Спрогнозированный грузопоток на каждый период $Q(k)$ распределяется между рассматриваемыми портами-конкурентами $p \in P$ согласно их конкурентоспособности (рейтинга). На каждом шаге могут быть реализованы варианты развития, которые могут изменить конкурентоспособность портов. Следовательно, конкурентоспособность Y_{ij}^p каждого порта рассчитывается на каждом шаге k для различных соче-

таний реализации любого из возможных вариантов развития портов.

Объем грузопотока, который может получить и освоить порт (расчетный) после реализации варианта развития по дуге $l_{ij}(k)$, рассчитывается по формуле

$$Q_{ij}^p(k+1) = \min\{W_j^p(k); Q(k+1) - \sum(Q_{ij}^{p1}(k+1))\}, \quad (9)$$

где $Q(k+1)$ – объем грузопотока на следующий период времени после окончания реализации варианта развития по дуге $l_{ij}(k)$;

$Q_{ij}^{p1}(k+1)$ – объем грузопотока, который будет освоен портами с большей конкурентоспособностью (высшим рейтингом), после реализации ими вариантов развития по дуге $l_{ij}(k)$;

$W_j^p(k)$ – общая мощность, которую достигнет порт в результате реализации варианта развития по дуге $l_{ij}(k)$.

$$W_j^p(k) = W_{ij}^p(k) \cdot x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k), \quad (10)$$

где $W_{ij}^p(k)$ – величина мощности, на которую увеличивается общая мощность порта в результате реализации варианта развития по дуге $l_{ij}(k)$;

$x_i(k)$ – вероятность i -го состояния порта p на шаге k ;

$m_{ij}^n(k)$ – условная вероятность развития по дуге $l_{ij}(k)$, n -я итерация.

При таких условиях остаток грузопотока устанавливается исходя из следующего соотношения:

$$Q_{oc}(k+1) = \max\{0; Q(k+1) - \sum(Q_{ij}^{p1}(k+1) - Q_{ij}^p(k+1))\}. \quad (11)$$

Освоение грузопотока $Q_{ij}^p(k+1)$ в следующий период времени $T(k+1)$ позволит получить финансовый результат, который рассчитывается по формуле

$$\Delta F_{ij}^p(k) = Q_{ij}^p(k+1) \cdot (F - R_j^p(k)) - (W_j^p(k) - Q_{ij}^p(k+1)), \quad (12)$$

где $\Delta F_{ij}^p(k)$ – финансовый результат, который может быть получен в результате реализации варианта развития по дуге $l_{ij}(k)$ и увеличения мощности порта p на величину $W_{ij}^p(k)$;

$Q_{ij}^{p1}(k+1)$ – освоенный грузопоток после окончания реализации варианта развития по дуге $l_{ij}(k)$;

F – средний доход портов от переработки единицы груза;

$R_j^p(k)$ – эксплуатационные расходы порта при переработке единицы груза;

$r_j^p(k)$ – расходы на содержание неиспользуемых мощностей порта;

$I_{ij}^p(k)$ – необходимые инвестиции для реализации варианта развития по дуге $I_{ij}(k)$.

Таким образом, варьируя параметрами управления, можно получить оптимальное решение задачи (4)-(8) с учетом взаимодействия портов. В целом рассмотренная постановка позволяет принимать оптимальные решения и при изменяющихся во времени объемах спрогнозированных грузопотоков, что соответствующим образом учтено в соотношении (9).

Выводы теоремы Куна-Таккера позволяют применить метод оптимизации многошаговой задачи (4)-(8) [8, 10].

С этой целью запишем функции Лагранжа L^p и Гамильтона H^p

$$L_p = \sum_{k=0}^{T_p-1} \sum_{i=1}^{I_i(k)} \sum_{j=1}^{I_j(k)} \Delta F_{ij}^p(k) \cdot x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k) - \sum_{k=0}^{T_p-1} \sum_{j=1}^{I_j(k)} \lambda_j(k) \cdot (x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k) - x_j(k)), \quad (13)$$

где $\lambda_j(k)$ – множители Лагранжа на шаге k .

$$H_i^p(k) = \sum_{j=1}^{I_j(k)} \Delta F_{ij}^p(k) \cdot x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k) - \sum_{j=1}^{I_j(k)} \lambda_j(k) \cdot x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k) = \sum_{j=1}^{I_j(k)} (\Delta F_{ij}^p(k) - \lambda_j(k)) \cdot x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k). \quad (14)$$

Из соотношений (13)-(14) следует

$$L^p = \sum_{k=0}^{T_p-1} \sum_{i=1}^{I_i(k)} \sum_{j=1}^{I_j(k)} H_i^p(k) + \sum_{k=0}^{T_p-1} \sum_{j=1}^{I_j(k)} \lambda_j(k) \cdot x_j(k) = \sum_{j=1}^{I_j(k)} \lambda_j(T) \cdot x_j(T) + \sum_{k=0}^{T_p-1} \sum_{i=1}^{I_i(k)} \sum_{j=1}^{I_j(k)} (H_i^p(k) + \lambda_j(k) \cdot x_j(k)) + \sum_{i=1}^{I_i(0)} H_i^p(0) \quad (15)$$

Выражение для определения множителей Лагранжа имеет вид [8]

$$\begin{cases} \lambda_i(T) = 0; & (x_j(k) = \lambda_i(k)) \\ \lambda_i(k) = \sum_{j=1}^{I_i(k)} (\lambda_j(k) - \Delta F_{ij}^p(k)) \cdot m_{ij}^n(k). \end{cases} \quad (16)$$

Выбор начальной допустимой вероятности движения по схеме $I_{ij}(k)$ в каждом множестве направлений развития $I(k)$ определяется из выражения

$$m_{ij}^0(k) = \frac{1}{I_i(k)} \quad (17)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T-1; i = 1, 2, \dots, I(k)),$$

где $m_{ij}^0(k)$ – допустимая начальная вероятность выбора варианта развития, θ -я итерация;

$I_i(k)$ – множество альтернатив принятия решения в множестве вершин дерева на шаге k (число дуг).

Максимальное изменение функции Гамильтона может быть найдено из решения задачи линейного программирования

$$\sum_{j=1}^{I_i(k)} (\Delta F_{ij}^p(k) - \lambda_i(k)) \cdot x_i(k) \cdot m_{ij}^n(k) \rightarrow \max \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{I_i(k)} m_{ij}^n(k) = 1 \quad (19)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T_n-1; j = 1, 2, \dots, I_i(k))$$

$$m_{ij}^n(k) \geq 0 \quad (20)$$

$$(k = 0, 1, \dots, T_p-1; i = 1, 2, \dots, I(k); j = 1, 2, \dots, I_i(k)).$$

Основные этапы решения задачи (4)-(8) представлены на рис. 2.

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

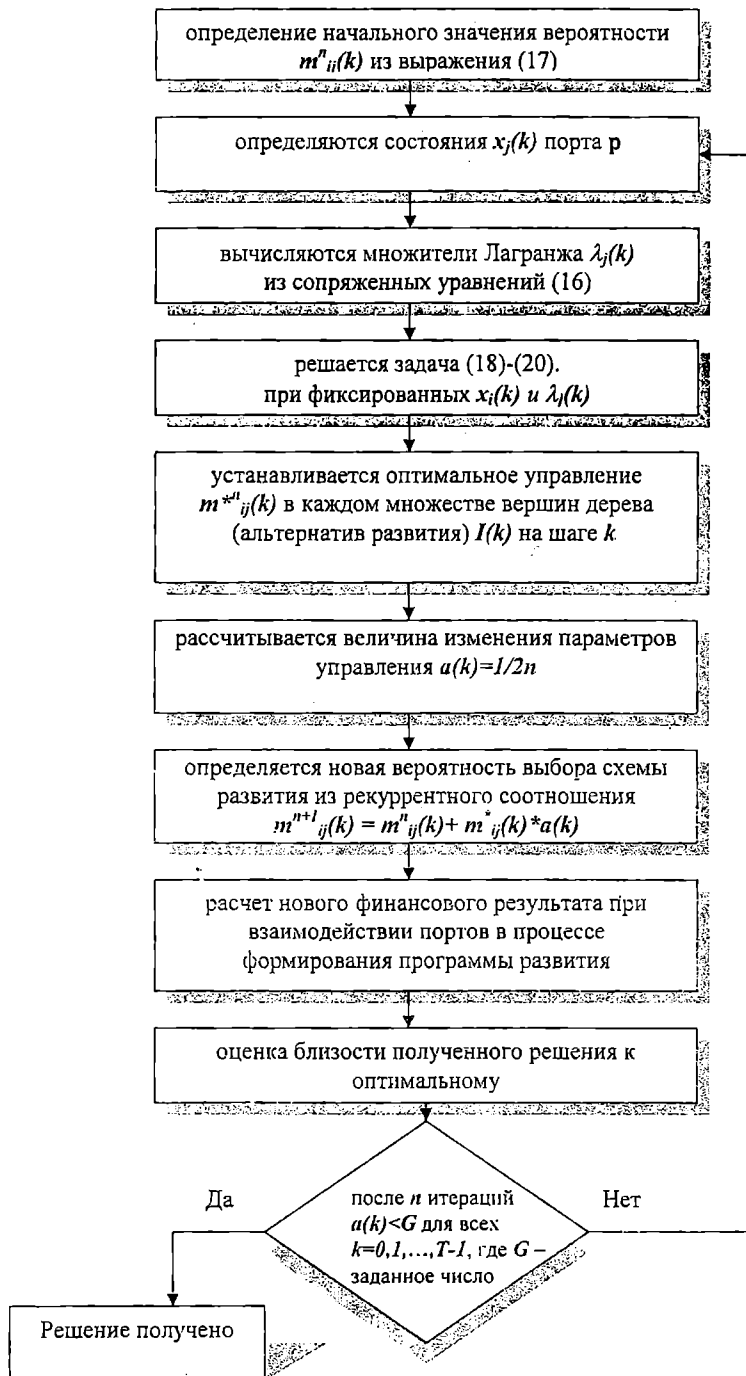


Рис.2. Основные этапы решения задачи выбора оптимальной программы развития

Таким образом, в ходе решения задачи осуществляется просмотр всех портов и вариантов их развития в течение периода, на который известен прогноз объема грузопотоков. Каждый вариант развития порта оценивается в тесной взаимосвязи с последующим его развитием, а также с позиции эффективности для отрасли в целом. Кроме того, предложенная модель оптимизации процесса формирования программы развития материально-технической базы порта позволяет:

- выявить оптимальные объемы увеличения пропускной способности перегрузочных терминалов с учетом спрогнозированных объемов грузопотоков;
- учесть взаимное влияние портов-конкурентов при принятии решения о развитии мощностей, что дает возможность избежать излишних капиталовложений в увеличение пропускной способности терминалов;
- реализовать рыночные принципы взаимодействия портов – равноправное партнерство и взаимную выгоду в производственной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куприенко С.В. Система показателей оценки конкурентоспособности морского порта // *Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць.* – Одесса: ОНМУ, 2005. – Вип.16. – С. 124-137.
2. Шibaев А.Г., Куприенко С.В. Система показателей оценки конкурентоспособности морского порта // *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. праць.* – Одеса: ОНМУ, 2004. – Вип. 7. – С. 235-245.
3. Шibaев А.Г., Куприенко С.В. Интегральный подход к оценке конкурентоспособности морского порта // *Судоходство.* 2005. – № 1-2. – С.33-34.
4. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность организации в условиях кризиса: экономика, маркетинг, менеджмент. – М. Издательско-книготорговый центр «Маркетинг», 2002. – 892 с.
5. Уилсон Р. Введение в теорию графов. – М.: Мир, 1977. – 208 с.
6. Оуэн Г. Теория игр. – М.: Мир, 1971. – 232 с.
7. Устав Ильичевского морского торгового порта Украины.
8. Шibaев А.Г. Постановка и игровая модель задачи организации работы морских транспортных судов // *Информационные технологии и системный анализ для транспорта: Сб. научн. тр. ин-та киберн. НАН Украины.* – К., 1994. – С.45-49.

**Управление проектами и совершенствование
работы флота и портов**

9. Крушевский А.В. Теория игр. – К.: Вища школа, 1977. – 216 с
10. Таха Х. Введение в исследование операций: Пер. с англ.
В 2-х т. – М.: Мир, 1985. – Т.2. – 496 с.

Надійшла 12.01.06

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ТРАМПОВЫХ СУДОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ

Представлены основные этапы работы по привлечению трамповых судов для перевозки грузов.

Ключевые слова: организация доставки грузов, трамповое судоходство, суда, судоходные компании, грузовладелец.

Морская доставка товаров завершает внешнеторговую сделку и состоит из ряда последовательных, логично связанных друг с другом коммерческих и технологических операций. Одним из наиболее значимых вопросов является поиск судна и, следовательно, судоходной компании. Такая работа осуществляется, как правило, посредниками, представляющими интересы грузовладельца, и является особенно важной в трамповом судоходстве. Это определяется следующими основными факторами:

- большим количеством судоходных компаний, работающих на рынке транспортных услуг;
- непостоянным характером выполняемой работы;
- значительным влиянием на эффективность транспортных операций факторов конъюнктурного характера;
- ограниченностью информации о позициях судов и их потребностях в грузах.

Несмотря на детальные описания техники заключения фрахтовых сделок [1, 2], до настоящего времени не предложены четкие подходы, методы и алгоритмы правильного выбора судна и судоходной компании. При этом «успешное завершение сделки» и осуществление перевозки в конечном итоге определяется именно правильным подбором судна (и, соответственно, судовладельца) [3].

Предложенные в работе [4] способы оценки конкурентоспособности услуг судовладельцев, работающих в сфере линейных перевозок, не адекватны трамповому судоходству. Это объясняется спецификой различных организационных форм эксплуатации флота, которыми определяется характер и состав транспортного обслуживания.

В последующих исследованиях проблема конкурентоспособности отдельных предприятий морского комплекса рассматривается с позиций самих организаций транспорта. Они, в основном, отражают возможные способы повышения эффективности деятельности [5, 6]. Однако в пред-

лагаемых авторами методами недостаточно четко сформулированы и учтены интересы клиентуры. Тем не менее, окончательное решение всегда принимает грузовладелец. Именно он, основываясь на своих интересах, определяет формы и способы доставки.

В работах [7, 8] достаточно глубоко проработаны вопросы транспортного обслуживания с позиций удовлетворения интересов грузовладельцев. Однако предлагаемые авторами решения справедливы для тех случаев, когда «и грузовладелец, и судовладелец входят в одну и ту же систему хозяйствования» [6]. Предложенные решения не адекватны современной ситуации, сложившейся на рынке транспортных услуг. Как известно, отечественные судовладельцы практически не перевозят внешнеторговые грузы, а экспортеры и импортеры товаров прибегают к услугам иностранных судоходных компаний.

Целью настоящей статьи является разработка методических положений по обоснованию выбора грузовладельцем трампового судна и судоходной компании с учетом организационных, технологических и коммерческих аспектов доставки товара.

Осуществление морской перевозки предполагает вступление одной из сторон внешнеторгового контракта – продавца или покупателя в зависимости от базисных условий поставки товара – в договорные отношения с судоходными компаниями. Известно [9], что в трамповом судоходстве коммерческая деятельность, связанная с привлечением тоннажа для выполнения обязательств по доставке товара, называется фрахтованием. Грузовладелец, заключивший соответствующую сделку, становится фрахтователем, а объектом фрахтования во всех разновидностях фрахтовых операций является судно.

Интересы грузовладельца-фрахтователя, связанные с морской перевозкой груза, во многом определяются содержанием внешнеторгового контракта (рис. 1).

Финансовый интерес связан с величиной расходов по привлечению судов для выполнения доставки. В общем случае они не должны превышать разницы между ценами товара CIF и FOB [10].

Временной фактор связан со сроками перевозки и величиной оборотных денежных средств в размере стоимости товара, изъятого из оборота на время транспортировки.

Приоритетность этих факторов зависит от того, какая из сторон внешнеторгового контракта принимает на себя обязательства выполнить перевозку и, соответственно, выступить в роли фрахтователя судна. Для фрахтователя-продавца более важными являются сроки доставки. Это связано с тем, что невыполнение поставки товара покупателю в оговоренные сроки может рассматриваться как нарушение обязательств по товарной сделке. Для фрахтователя-покупателя приоритетное значение имеет величина финансовых средств, заключенных в товаре, т.к.

стоимость товара на время его транспортировки практически изъята из денежного обращения.

Фактор «риски» связан с доставкой товаров морем и определяется требованиями транспортных условий внешнеторгового контракта к безопасной работе судов. Опасность работы судов возникает обычно из-за навигационных условий – ограничений глубин в портах, наличии значительных приливно-отливных явлений в портах, отсутствие необходимой протяженности причальной линии, появление ледовой обстановки различной степени сложности [9].

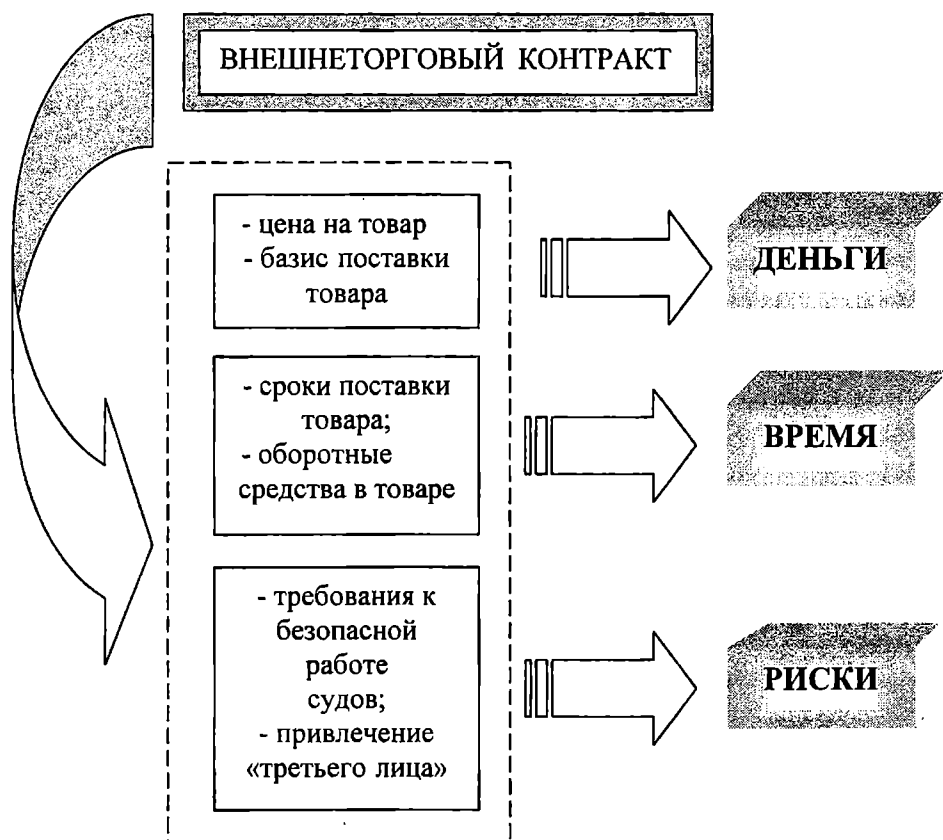


Рис. 1. Формирование интересов грузовладельца-фрахтователя по морской перевозке груза

Определенными рисками характеризуется и собственно заключение сделки с судовладельцем [3]. Это следует из того, что для рынка трампового тоннажа характерными особенностями являются:

- географическая отдаленность судовладельцев и грузовладельцев-фрахтователей;

- отсутствие регулярного общения;
- многочисленность и разнообразие фрахтовых сделок.

Особое значение это приобретает при заключении сделок на рейсовых условиях. В этом случае грузовладелец фактически перепоручает выполнение своих обязательств по доставке товара судовладельцу. При этом перевозчик фактически становится участником осуществления внешнеторговой сделки, так называемым «третьим лицом», которое привлекается для ее реализации. При фрахтовании тоннажа на время обязательства по поставке товара исполняет сам фрахтователь – на арендованном у судовладельца тоннаже. Тем не менее, это не уменьшает риска вступления в договорные отношения с судоходным предприятием и заключения фрахтовой сделки.

Выбор судна и судоходной компании грузовладельцем в конечном итоге определяется полнотой учета и реализации его интересов, связанных с морской транспортировкой товаров. Последовательность действий грузовладельца-фрахтователя и принятия им решения о выборе судна и судоходной компании приведены на рис. 2.

Исходной базой грузовладельца в поиске и выборе судна является формулировка требований, которым должно соответствовать судно с учетом технологических и коммерческих особенностей выполнения предстоящей перевозки.

Информация о товаре, содержащаяся во внешнеторговом контракте, во многом ориентирует грузовладельца в определении типа и размерной группы судна. Однако многообразие судов, предлагаемых на фрахтовом рынке трампового тоннажа, требует конкретизации критериев.

Выбор судна грузовладельцем по сути сводится к оценке возможностей судна выполнить необходимую перевозку. В зависимости от условий конкретной товарной сделки и особенностей предстоящей доставки для грузовладельца могут представлять интерес и другие характеристики судна: его возраст, линейные размеры, наличие грузового вооружения.

Следующим этапом после принятия решения о целесообразности использования определенного судна является оценка судоходного предприятия, владеющего выбранным судном или обладающим правами на распоряжении им.

Одним из основных критериев на этом этапе является наличие опыта (положительного или отрицательного) работы с рассматриваемой судоходной компанией по предыдущим сделкам. В силу специфики трампового судоходства, стороны, как правило, не имеют подобного опыта из-за отмеченной ранее географической разобщенности судовладельцев и грузовладельцев. Как правило, они вступают в разовые договорные отношения и не поддерживают постоянных деловых связей. В этих условиях значительную роль играет информация о судоходном предприятии: история компании, опыт и время работы на рынке,

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

финансовое состояние, темпы развития, доля рынка перевозок, принадлежащая компании.

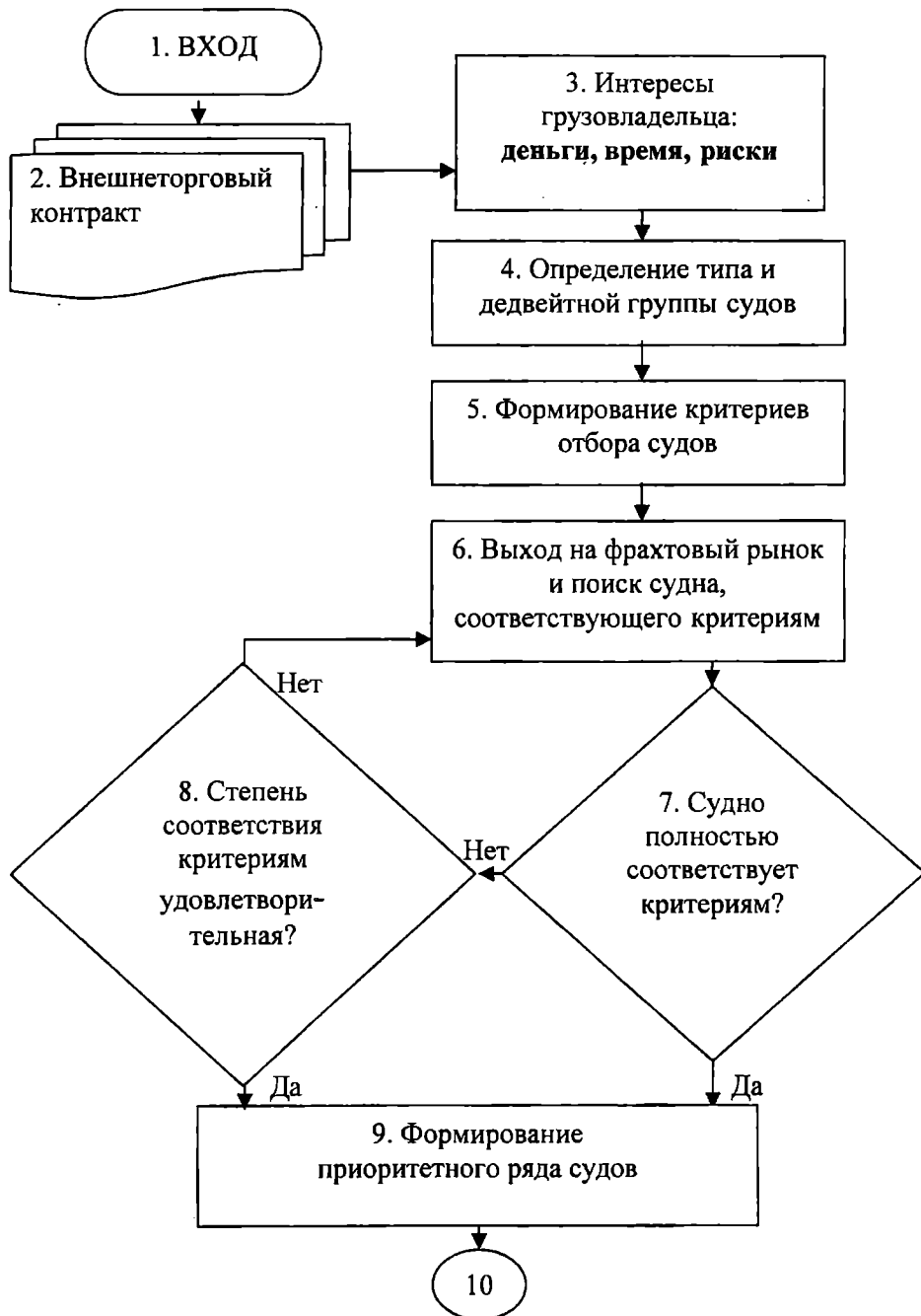
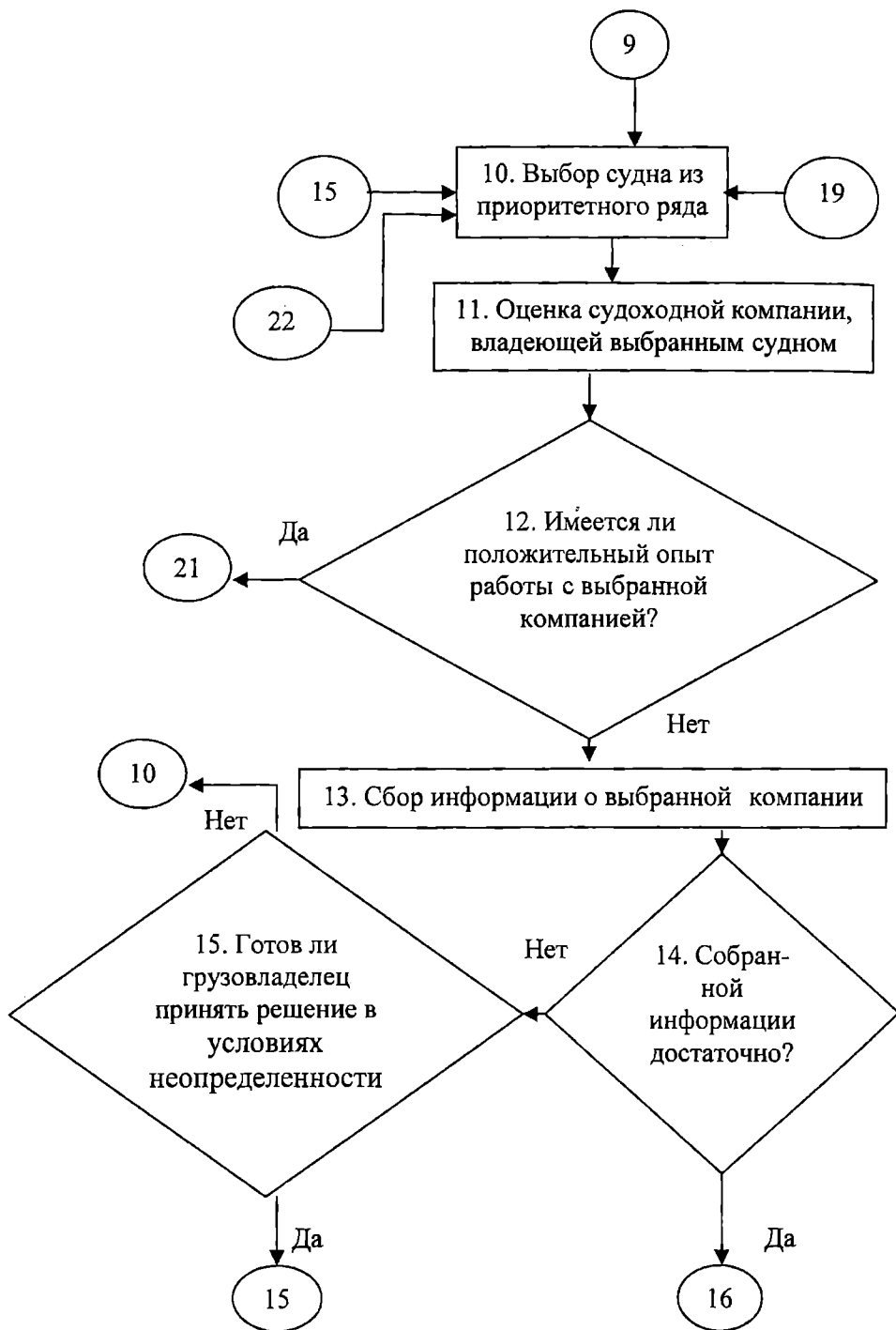
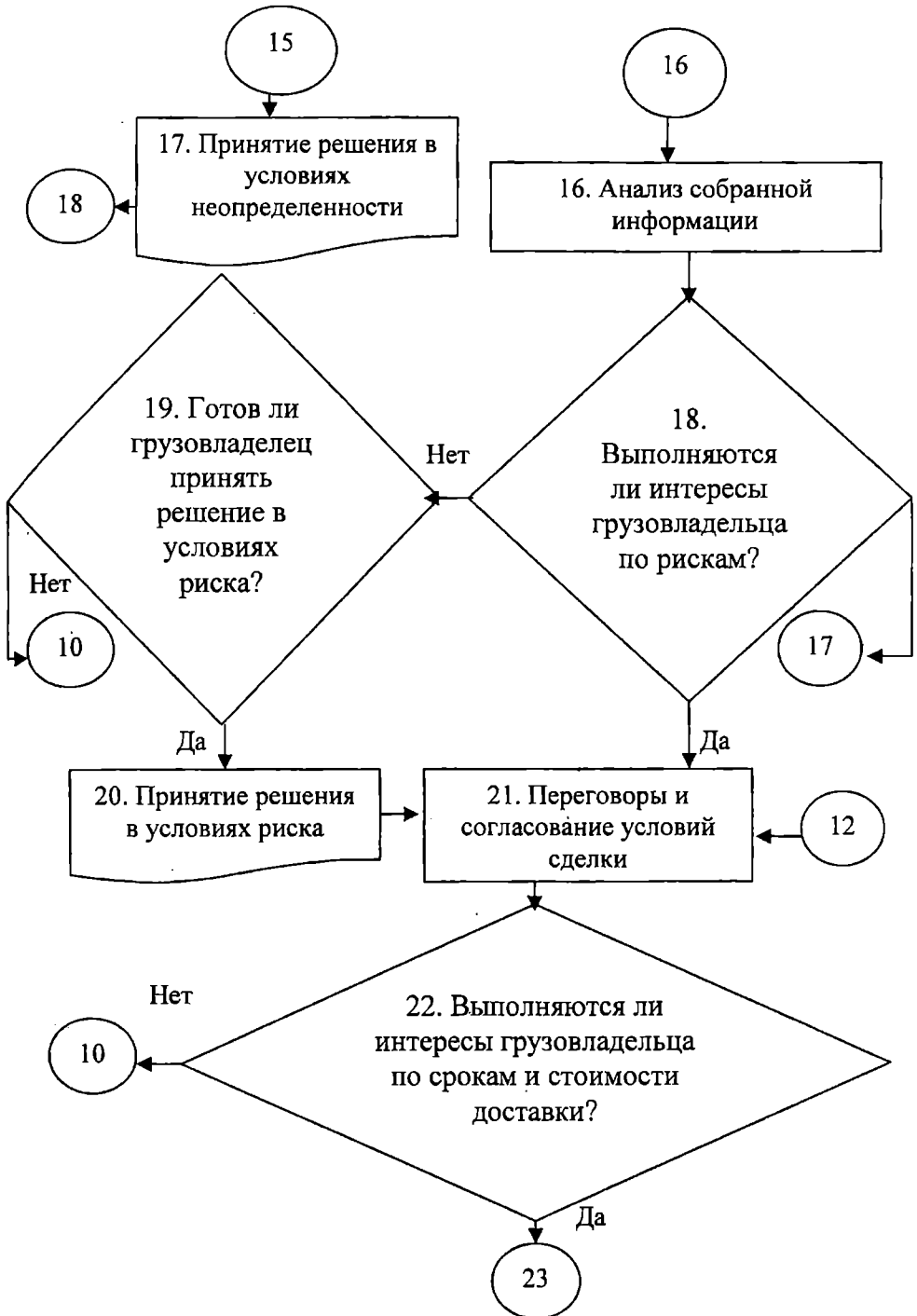


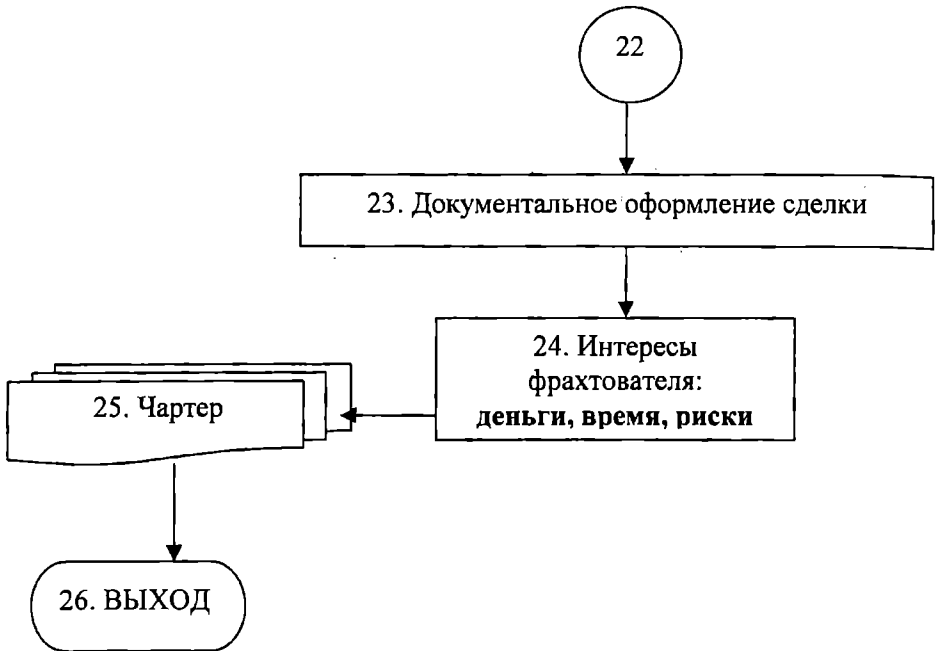
Рис. 2. Имитационная модель принятия грузовладельцем решения о выборе судна и судоходной компании



Продолжение рис. 2. Имитационная модель принятия грузовладельцем решения о выборе судна и судоходной компании



Продолжение рис. 2. Имитационная модель принятия грузовладельцем решения о выборе судна и судоходной компании



Продолжение рис. 2. Имитационная модель принятия грузовладельцем решения о выборе судна и судоходной компании

Современные средства связи и информационные ресурсы позволяют найти практически все о любой фирме, работающей в морском бизнесе. Полнота и достоверность собранных материалов являются важными исходными данными для анализа рыночной позиции и деловой репутации выбранной компании.

В случае, когда собранной информации недостаточно либо она характеризуется невысокой степенью достоверности, перед грузовладельцем возникает необходимость принятия решения в условиях неопределенности, которая обусловлена недостаточной осведомленностью о свойствах и характеристиках контрагента-судовладельца. Для такого рода задач используется ряд критериев, ориентированных на получение некоторого результата: максимального выигрыша (максиминный критерий Вальда), минимального риска (минимаксный критерий Сэвиджа), критерий оптимизма-пессимизма Гурвица [11].

Если на основании собранной информации компания соответствует требованиям грузовладельца, и он готов вступить в договорные отношения с ней, то следующим этапом является переговорный процесс. В случаях, когда оценка компании является низкой, грузовладелец вынужден оценивать рискованность вступления в коммерческие взаимоотношения с судовладельцем.

В ходе переговорного процесса стороны уторговывают коммерческие условия сделки, среди которых наибольший интерес для грузовладельца представляют сроки и стоимость оказания услуги. Если эти интересы грузовладельца выполняются, стороны документально подтверждают факт заключения сделки подписанием чартера. В том случае, если интересы грузовладельца по стоимости и срокам доставки не выполняются, он вынужден отказаться от заключения сделки и рассмотреть возможность привлечения для работы на перевозках следующего (из приоритетного ряда) судна.

Таким образом, предложенная постановка и разработанная имитационная модель позволяют:

- сформулировать и установить приоритетность интересов грузовладельца-фрахтователя, связанных с доставкой товара морем;
- определить и систематизировать в технологической последовательности основные операции по организации привлечения трамповых судов для доставки грузов;
- установить предпосылки для решения вопроса оценки степени соответствия судна интересам грузовладельца-фрахтователя и особенностям предстоящей перевозки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмистров М.М. Организация фрахтовых и внешнеторговых транспортных операций. М.: Транспорт, 1982. – 288 с.
2. Бабкин Е.В., Мартынов А.Л. Международные фрахтовые и транспортные операции. СПб.: СПГУВК, 2002. – 204 с.
3. Забелин В.Г. Фрахтовые операции во внешней торговле. М.: Росконсульт, 2000. – 256 с.
4. Панарин П.Я. Об оценке качества линейного обслуживания // Экономика и эксплуатация морского транспорта: Сб. научн. трудов. М., 1979. – Вып. 15. – С. 41 – 44.
5. Меркт Е.В. Стратегические приоритеты развития мировой портовой системы // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. пр. – Одеса: ОДМУ, 2000. – Вип.7. – С. 17-25.
6. Савельева И.В. Повышение конкурентоспособности современной судоходной компании в условиях развития электронной коммерции // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. пр. – Одеса: ОНМУ, 2002. – Вип. 2. – С. 94-103.
7. Панибратец Н.А. Совершенствование методов и повышение качества доставки грузов морем. М.: ЦРИА «Морфлот», 1978. – 44 с.

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

8. Раховецкий А.Н. Эффективность рейса морского судна. – М.: Транспорт, 1989. – 141 с.
9. Рылов С.И., Горшков Я.А. Фрахтование морских судов. – Одесса: ОГМУ, 1999. – 174 с.
10. Шibaев А.Г., Коскина Ю.А. Оптимизация доставки внешне-торговых грузов с учетом производственных возможностей элементов транспортной системы // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: Зб. наук. пр. – Одеса: ОНМУ, 2004. – Вип. 7. – С. 177-191.
11. Теория прогнозирования и принятия решений: Учебн. пособие / Под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высшая школа, 1977. – 351 с.

Надійшла 11.01.06

УДК 627.33.093:656.61.073.235

Н.А. Лебедева
С.М. Гончарук

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ МОЩНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ИЛЬИЧЕВСКОГО МОРСКОГО ТОРГОВОГО ПОРТА

Приведены результаты апробации разработанной авторами методики решения задачи формирования оптимальной стратегии развития мощности контейнерных терминалов мультимодального транспортного узла на примере развития Ильичевского морского торгового порта (ИМТП).

Ключевые слова: инженерная подготовка производства (ИПП), мультимодальные транспортные узлы (МТУ), мультимодальные транспортные коридоры (МТК), мониторинг, исходное множество альтернатив (ИМА), оптимальная стратегия развития мощности, эффективная область альтернатив (ЭОА).

Мировой опыт показал, что улучшение благосостояния общества и влияющее на него эффективное функционирование экономики любого государства в большой степени зависят от опережающего развития многовидовой транспортной системы, с учетом ее интеграции в мировое транспортное сообщество. При этом создание экономической привлекательности транспортных коммуникаций для участия в международных транзитных перевозках на мировом рынке транспортных услуг является одной из главных задач которую необходимо решать на отраслевом и государственном уровнях.

Единая транспортная система Украины (ЕТСУ) сегодня включает в себя внушительные по протяженности и технической оснащенности транспортные коммуникации (более 22 тыс. км магистральных железных дорог; 164,1 тыс. км автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием; более 43 тыс. км магистральных нефте- и газопроводов; 19 морских и 9 крупных речных портов; международные аэродромы; мощные линии электропередач и связи), [5]. Тем не менее, уровень технической оснащенности, надежность функционирования, соответствие параметров транспортной системы мировым стандартам обеспечиваются в Украине недостаточными темпами и без должного, на наш взгляд, научно-технического обоснования.

Отсутствие достаточного количества собственного морского подвижного состава, существенное старение основных фондов на желез-

ных дорогах, низкий уровень интеграционного соответствия параметров автомобильных дорог евростандарту, недостаточные мощности портов для переработки наиболее конкурентоспособных грузов (контейнеры), существенно усложняют решение проблемы повышения эффективности работы ЕТСУ и ее регионов. В данных условиях развитие транспорта, обеспечение успешной интеграции в Европейское транспортное пространство необходимо проводить поэтапно, концентрируя основные инвестиции на наиболее перспективных направлениях ЕТСУ, к которым (исходя из европейского опыта) можно отнести международные транспортные коридоры (МТК) и пограничные (перегрузочные) узлы.

Как показал опыт эксплуатации МТК, а также многочисленные исследования зарубежных и отечественных ученых [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], эти коридоры в последние годы стали называть мультимодальными или интермодальными, а узлы, в которых происходят процессы взаимодействия различных видов транспорта, мультимодальными транспортными узлами (МТУ). По всем формальным и неформальным признакам, отмеченным в работах [3, 5, 6, 14, 15], к мультимодальным транспортным узлам можно отнести крупные черноморские порты (Одесса, Ильичевск, Южный) в совокупности с железнодорожными подходами, сортировочными и припортовыми станциями и автодорожными коммуникациями. Эти порты являются начально-конечными пунктами взаимодействия различных видов транспорта в рамках девятого международного мультимодального коридора, который, в свою очередь, может взаимодействовать с коридорами № 3 и № 5 и др. Учитывая изложенное, можно сделать вывод о безусловной актуальности и государственной значимости детального рассмотрения вопросов перспективного развития облика и мощности данных узлов.

В последние годы принимаются меры по развитию указанных портов и в том числе Ильичевского морского торгового порта (ИМТП), который имеет большие резервы для строительства новых и реконструкции существующих терминалов. Большой интерес в данном вопросе представляет предложенная и подготовленная специалистами ИМТП программа развития пропускной способности контейнерных терминалов до 4 млн. TEU, так называемая программа 4М, основные положения и мероприятия которой изложены в [16].

В сентябре 2005 года в украинской транспортной газете «Моряк» № 35, приведена информация, показывающая, что темпы роста контейнерных перевозок могут составить более 30 % в год [17]. Один из авторов проекта 4М А. Кузьменко в работах [16, 17], подробно аргументирует последовательность и этапность его реализации.

Поддерживая предложения по активному развитию ИМТП, авторы настоящей статьи поставили перед собой цель провести экспертизу принятой в программе 4М стратегии этапного наращивания мощности порта на основе реализации предложенной авторами в [14] методики.

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

Большое количество факторов, влияющих на искомый результат, определяют сложность и размерность задачи. Покажем это на простом примере. Намеченные этапы развития порта (вместе с существующим состоянием их шесть) можно представить как возможные мероприятия по изменению его облика и мощности. Каждое из них не зависит друг от друга и может теоретически, при наличии инвестиций, создаваться в любой период времени и в совокупности с другими мероприятиями.

Учитывая это, можно представить 32 совокупности (альтернативы) предложенных мероприятий ($2^{n-1} \rightarrow 2^{6-1}$), которые формируют 2^{31} стратегий этапного изменения облика и мощности порта в пределах принятого горизонта расчета с учетом выхода на перспективный объем работы в 4 млн. TEU.

Методологические особенности решения проблемы изменения облика и мощности мультимодальных транспортных узлов на основе системного подхода подробно изложены авторами в работах [14, 15]. Используя предложенные в [14] методологические и методические рекомендации, в настоящей работе выполнена их практическая апробация на конкретной задаче поиска оптимальной стратегии этапного развития контейнерных терминалов ИМТП для намеченных в 4М мероприятий.

Реализация сформулированной цели выполнена в настоящей работе для исходных данных, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для формирования оптимальной стратегии этапного развития узла

| № п/п | Мероприятия (этапы программы 4М) | Обозначения мероприятий | Δ Гв, тыс. TEU | К, млн. дол. США | С ак., дол. США/конт. | С расх., дол. США/конт. |
|-------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | Начальное состояние | M_0 | 150 | 4 | 103 | 61,8 |
| 2 | 1 этап | M_1 | 600 | 12 | 103 | 61,8 |
| 3 | 2 этап | M_2 | 300 | 10 | 103 | 61,8 |
| 4 | 3 этап | M_3 | 450 | 30 | 103 | 61,8 |
| 5 | 4 этап | M_4 | 1350 | 150 | 103 | 61,8 |
| 6 | 5 этап | M_5 | 600 | 40 | 103 | 61,8 |

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

В соответствии с [14, 15] формирование эффективной области альтернатив и поиск оптимальной стратегии этапного наращивания мощности контейнерных терминалов в исследуемом узле произведены в такой последовательности:

1. На базе намеченных в программе 4М мероприятий (табл. 1) сформировано множество возможных альтернатив изменения облика и мощности узла (табл. 2).

Таблица 2

Возможные альтернативы t технического состояния системы, сформированные из предложенных в 4М мероприятий

| Номер альтернативы (A_i) | Состав альтернативы | $\Gamma_{\text{вн}}$, млн. TEU | Номер в доминирующей последовательности. |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | M_0 | 150 | 1 |
| 2 | $M_0 + M_1$ | 750 | 4 |
| 3 | $M_0 + M_2$ | 450 | 2 |
| 4 | $M_0 + M_3$ | 600 | 3 |
| 5 | $M_0 + M_4$ | 1500 | 12 |
| 6 | $M_0 + M_5$ | 750 | 5 |
| 7 | $M_0 + M_1 + M_2$ | 1100 | 8 |
| 8 | $M_0 + M_1 + M_3$ | 1200 | 9 |
| 9 | $M_0 + M_1 + M_4$ | 2200 | 22 |
| 10 | $M_0 + M_1 + M_5$ | 1350 | 11 |
| 11 | $M_0 + M_2 + M_3$ | 900 | 6 |
| 12 | $M_0 + M_2 + M_4$ | 1800 | 16 |
| 13 | $M_0 + M_2 + M_5$ | 1050 | 7 |
| 14 | $M_0 + M_3 + M_4$ | 1950 | 18 |
| 15 | $M_0 + M_3 + M_5$ | 1200 | 10 |
| 16 | $M_0 + M_4 + M_5$ | 2100 | 19 |
| 17 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3$ | 1500 | 13 |
| 18 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_4$ | 2400 | 24 |
| 19 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_5$ | 1650 | 15 |

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|-------------------------------------|------|----|
| 20 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_4$ | 2550 | 26 |
| 21 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_5$ | 1800 | 17 |
| 22 | $M_0 + M_1 + M_4 + M_5$ | 2700 | 28 |
| 23 | $M_0 + M_2 + M_3 + M_4$ | 2250 | 23 |
| 24 | $M_0 + M_2 + M_3 + M_5$ | 1500 | 14 |
| 25 | $M_0 + M_2 + M_4 + M_5$ | 2400 | 25 |
| 26 | $M_0 + M_3 + M_4 + M_5$ | 2550 | 27 |
| 27 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_4$ | 2850 | 29 |
| 28 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_5$ | 2100 | 20 |
| 29 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_4 + M_5$ | 3100 | 30 |
| 30 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_4 + M_5$ | 3150 | 31 |
| 31 | $M_0 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$ | 2150 | 21 |
| 32 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$ | 3450 | 32 |

2. Построена доминирующая по возможной провозной (пропускной) способности Гв(t) последовательность альтернатив (табл. 3).

Таблица 3

Доминирующая последовательность технических состояний системы

| Номер альтернативы | Состав альтернативы технического состояния системы | Γ_{vi} , млн. TEU | K_i , млн. \$ США | τ_{ij} |
|--------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | M_0 | 150 | 4 | 1 |
| 2 | $M_0 + M_2$ | 450 | 14 | 2 |
| 3 | $M_0 + M_3$ | 600 | 34 | 3 |
| 4 | $M_0 + M_1$ | 750 | 16 | 4 |
| 5 | $M_0 + M_5$ | 750 | 44 | 4 |
| 6 | $M_0 + M_2 + M_3$ | 900 | 44 | 5 |
| 7 | $M_0 + M_2 + M_5$ | 1050 | 54 | 6 |
| 8 | $M_0 + M_1 + M_2$ | 1100 | 26 | 6 |
| 9 | $M_0 + M_1 + M_3$ | 1200 | 46 | 7 |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-------------------------------------|------|-----|----|
| 10 | $M_0 + M_3 + M_5$ | 1200 | 74 | 7 |
| 11 | $M_0 + M_1 + M_5$ | 1350 | 56 | 8 |
| 12 | $M_0 + M_4$ | 1500 | 154 | 9 |
| 13 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3$ | 1500 | 56 | 9 |
| 14 | $M_0 + M_2 + M_3 + M_5$ | 1500 | 84 | 9 |
| 15 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_5$ | 1650 | 66 | 10 |
| 16 | $M_0 + M_2 + M_4$ | 1800 | 164 | 10 |
| 17 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_5$ | 1800 | 86 | 10 |
| 18 | $M_0 + M_3 + M_4$ | 1950 | 184 | 11 |
| 19 | $M_0 + M_4 + M_5$ | 2100 | 194 | 12 |
| 20 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_5$ | 2100 | 96 | 12 |
| 21 | $M_0 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$ | 2150 | 234 | 13 |
| 22 | $M_0 + M_1 + M_4$ | 2200 | 166 | 13 |
| 23 | $M_0 + M_2 + M_3 + M_4$ | 2250 | 194 | 13 |
| 24 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_4$ | 2400 | 176 | 14 |
| 25 | $M_0 + M_2 + M_4 + M_5$ | 2400 | 204 | 14 |
| 26 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_4$ | 2550 | 196 | 15 |
| 27 | $M_0 + M_3 + M_4 + M_5$ | 2550 | 224 | 15 |
| 28 | $M_0 + M_1 + M_4 + M_5$ | 2700 | 206 | 16 |
| 29 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_4$ | 2850 | 206 | 17 |
| 30 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_4 + M_5$ | 3100 | 216 | 18 |
| 31 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_4 + M_5$ | 3150 | 236 | 18 |
| 32 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$ | 3450 | 246 | |

3. Для сокращения размерности задачи выполнено просеивание полученной доминирующей последовательности, исключаящее из нее заведомо неконкурентные технические состояния. В результате получена доминирующая по $G_v(t)$ и $K(t)$ последовательность возможного множества технических состояний, приведенная в табл. 4.

4. На основе данных табл. 4 и принятой в программе 4М динамики роста потребных к освоению объемов контейнерных перевозок ($\Delta G = 150\ 000$ конт./год) построен график этапного освоения перевозок (рис. 1) и определены технически необходимые сроки исчерпания мощности намеченных в табл. 4 альтернативных технических состояний.

5. На основе системного анализа, соотношения возможной провозной способности $G_v(t)$ по намеченным техническим состояниям узла и потребной $G_p(t)$, в матричной форме фиксируются разрешенные переходы из менее в более мощные технические состояния узла (табл. 5).

6. По разрешенным переходам определены потребные объемы инвестиций (K_{ij}), которые приведены в табл. 5.

Млн. TEU

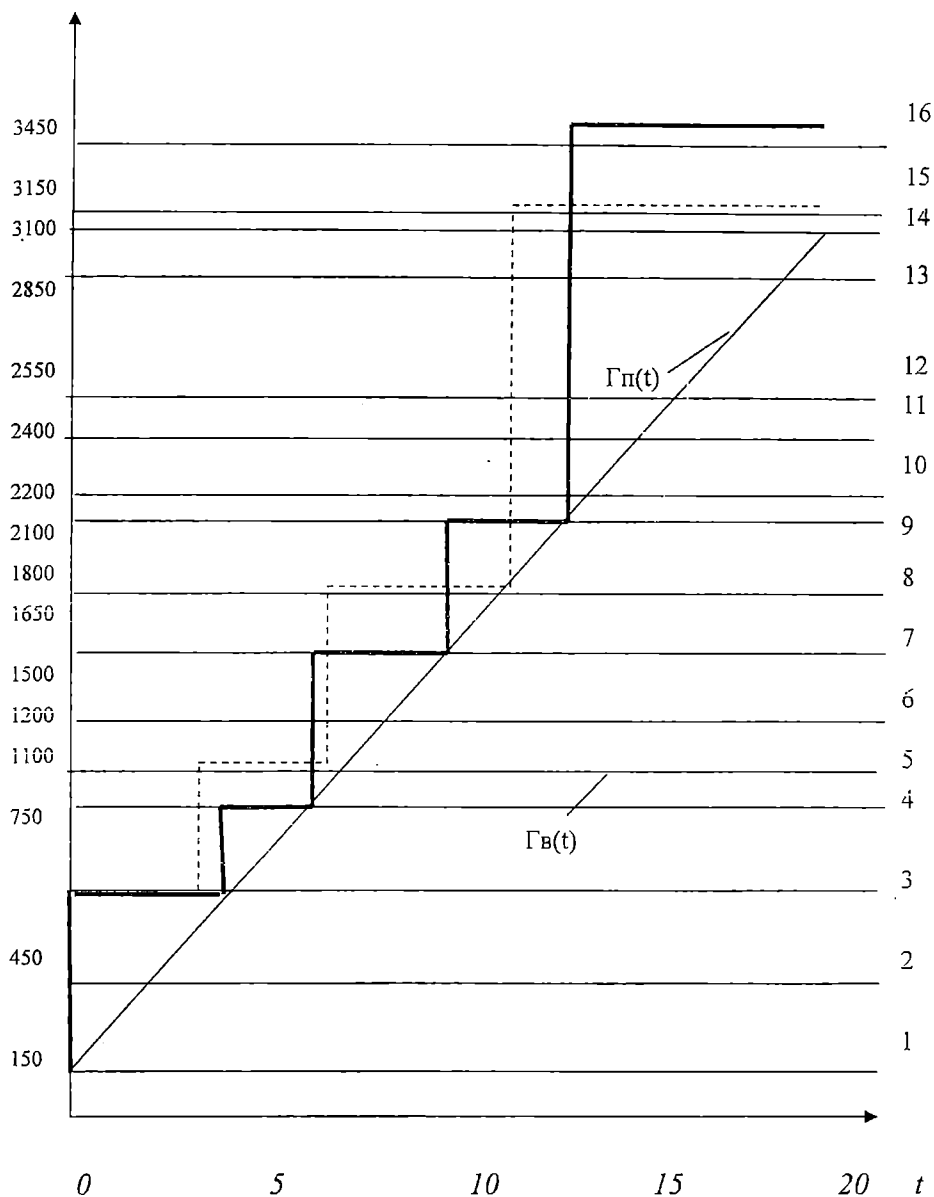


Рис. 1. График освоения перевозок:
 ————— оптимальная стратегия;
 - - - - - субоптимальная стратегия;
 1, ..., 16 — технические состояния системы

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

Таблица 4

*Доминирующая по $\Gamma_{\text{вн}}(t)$ и $K(t)$ последовательность
возможного множества технических состояний системы*

| Номер альтернативы | Состав альтернативы технического состояния системы | $\Gamma_{\text{вн}}$, млн. TEU | K_i , млн. \$ США | τ_{ij} |
|--------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | M_0 | 150 | 4 | 1 |
| 2 | $M_0 + M_2$ | 450 | 14 | 2 |
| 3 | $M_0 + M_1$ | 750 | 16 | 4 |
| 4 | $M_0 + M_1 + M_2$ | 1100 | 26 | 7 |
| 5 | $M_0 + M_1 + M_3$ | 1200 | 46 | 8 |
| 6 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3$ | 1500 | 56 | 10 |
| 7 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_5$ | 1650 | 66 | 11 |
| 8 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_5$ | 1800 | 86 | 12 |
| 9 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_5$ | 2100 | 96 | 14 |
| 10 | $M_0 + M_1 + M_4$ | 2200 | 166 | 15 |
| 11 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_4$ | 2400 | 176 | 16 |
| 12 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_4$ | 2550 | 196 | 17 |
| 13 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_4$ | 2850 | 206 | 19 |
| 14 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_4 + M_5$ | 3100 | 216 | 20 |
| 15 | $M_0 + M_1 + M_3 + M_4 + M_5$ | 3150 | 236 | - |
| 16 | $M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$ | 3450 | 246 | - |

Таблица 5

Матрица стоимости разрешенных переходов

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | X | 10 | 12 | 22 | 42 | 52 | 62 | 82 | 92 | 162 | 172 | 192 | 202 | 212 | 232 | 242 |
| 2 | | X | 0 | 12 | 0 | 42 | 52 | 0 | 82 | 0 | 162 | 0 | 190 | 202 | 0 | 232 |
| 3 | | | X | 10 | 30 | 40 | 50 | 70 | 80 | 150 | 160 | 180 | 190 | 200 | 220 | 230 |
| 4 | | | | X | 0 | 30 | 40 | 0 | 70 | 0 | 150 | 0 | 180 | 190 | 0 | 220 |

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

Продолжение таблицы 5

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|--|--|---|----|---|----|----|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 5 | | | | X | 10 | 0 | 40 | 50 | 0 | 0 | 150 | 160 | 0 | 190 | 200 |
| 6 | | | | | X | 0 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 0 | 190 |
| 7 | | | | | | X | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 180 |
| 8 | | | | | | | X | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 | 160 |
| 9 | | | | | | | | X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| 10 | | | | | | | | | X | 10 | 30 | 40 | 50 | 70 | 80 |
| 11 | | | | | | | | | | X | 0 | 30 | 40 | 0 | 0 |
| 12 | | | | | | | | | | | X | 10 | 0 | 40 | 50 |
| 13 | | | | | | | | | | | | X | 0 | 0 | 40 |
| 14 | | | | | | | | | | | | | X | 0 | 30 |
| 15 | | | | | | | | | | | | | | X | 0 |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | X |

7. Определены эксплуатационные расходы по всем намеченным альтернативным техническим состояниям (табл. 6).

Таблица 6

Определение эксплуатационных расходов по техническим состояниям исследуемой системы переходов

| № п/п | $t=1$ $\Gamma_2=0,4$ $a_2=0,909$ | $t=5$ $\Gamma_5=1,0$ $a_5=0,621$ | $t=10$ $\Gamma_{10}=1,75$ $a_{10}=0,386$ | $t=15$ $\Gamma_{15}=2,5$ $a_{15}=0,239$ | $t=20$ $\Gamma_{20}=3,25$ $a_{19}=0,149$ |
|----------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| | $C(t) a_t$ | $C(t) a_t$ | $C(t) a_t$ | $C(t) a_t$ | $C(t) a_t$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 22,4 | | | | |
| 2 | 22,4 | | | | |
| 4 | 22,4 | | | | |
| 8 | 22,4 | 38,37 | | | |
| 9 | 22,4 | 38,37 | | | |
| 13 | 22,4 | 38,37 | | | |
| 15 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | | |
| 17 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | | |
| 20 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | | |
| 22 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | | |
| 24 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | | |
| 26 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | 36,92 | |

Продолжение таблицы 6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|------|-------|------|-------|-------|
| 29 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | 36,92 | |
| 30 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | 36,92 | |
| 31 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | 36,92 | |
| 32 | 22,4 | 38,37 | 41,7 | 36,92 | 29,92 |

8. С использованием полученной информационной базы по модифицированной методике [13] организована многошаговая расчетная процедура, основанная на применении метода динамического программирования [12] на сетке «состояние – время» (рис. 2).

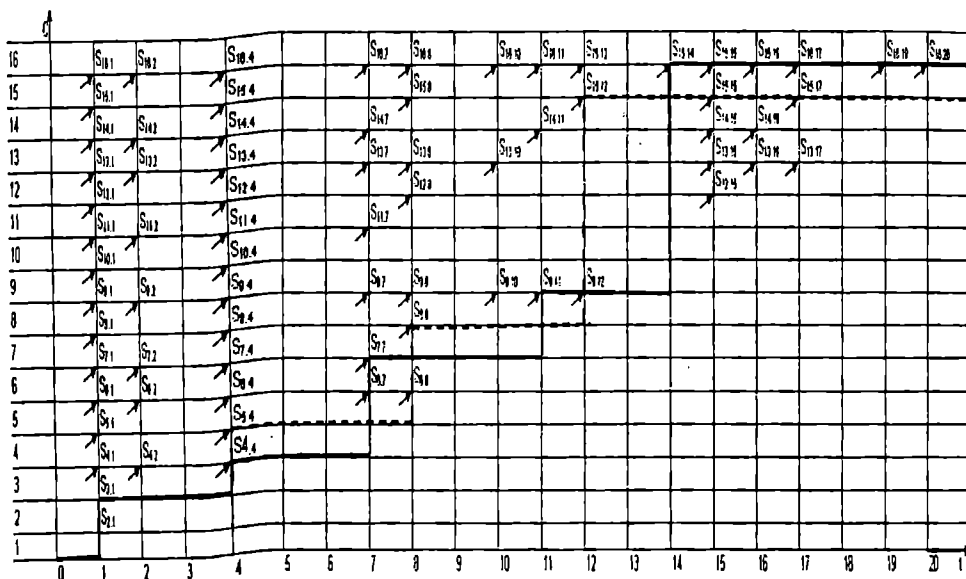


Рис. 2. Оптимальная и субоптимальная схемы этапного наращивания мощности МТУ

9. Произведен анализ полученной и нанесенной на рис. 1 (жирная линия), оптимальной схемы этапного изменения облика и мощности исследуемой транспортной системы, намечены субоптимальные схемы, (пунктирная линия рис. 1), имеющие несколько худшую величину критерия (2), но дающие положительный интегральный эффект (1).

10. Для принятия окончательного решения произведено графо-аналитическое сопоставление суммарных дисконтированных строительно-эксплуатационных расходов с дисконтированным результатом работы системы (рис. 3).

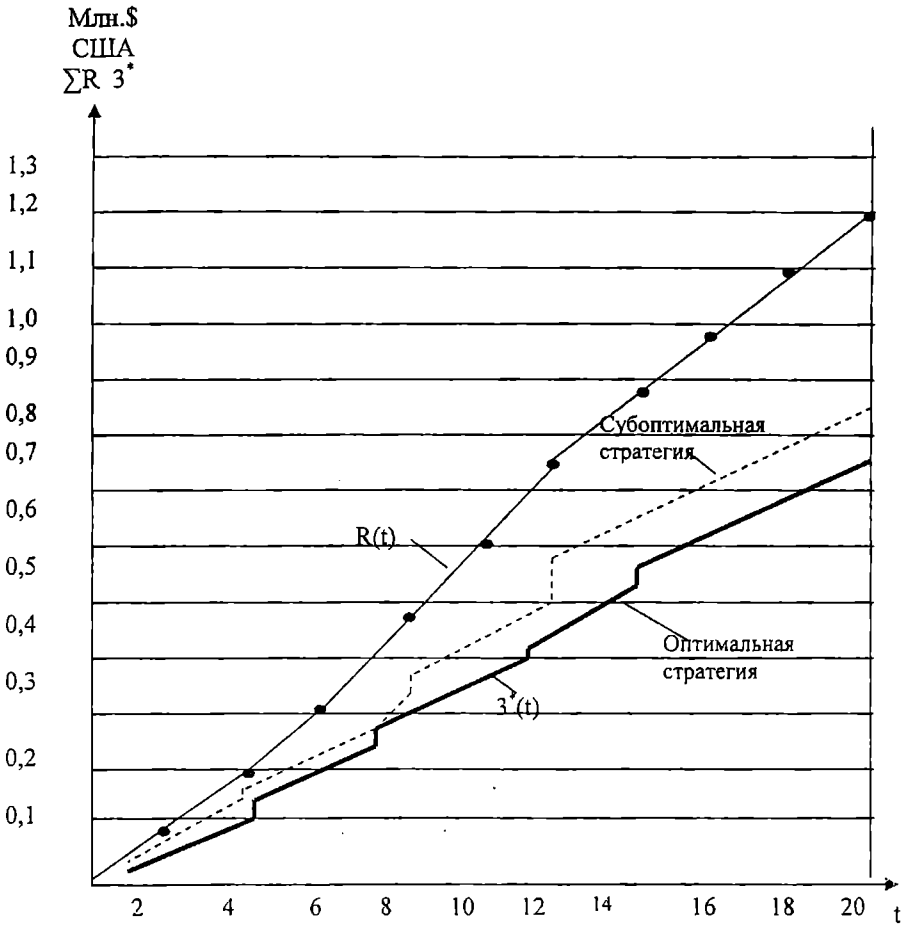


Рис. 3. Сопоставление результата работы системы и затрат на ее развитие и эксплуатацию

При этом, в качестве критерия, позволяющего оценить эффективность любой возможной схемы (стратегии) этапного развития МТУ, принят чистый дисконтированный доход ЧДД (интегральный эффект), который в соответствии с требованиями [10, 11], определяется по формуле

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - 3_t^*}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

где R_t — результат работы системы, достигнутый в t -ом году;

3_t^* — затраты для реализации результатов с учетом инвестиций

$3_t^* = (K_t + C_t)$ в t -ом году;

T – горизонт расчета;

E – норма дисконта;

K_t – объем потребных инвестиций в t -ом году;

C_t – затраты на эксплуатацию системы в t -ом году.

Если учесть, что суммарный, дисконтированный результат работы системы в пределах принятого горизонта расчета ($\sum_{t=1}^T R_t \alpha_t$) для всех

вариантов (альтернатив) изменения облика и мощности одинаков, т. к. он зависит от объемов работы и доходной ставки и не зависит от параметров системы, то критерий оптимальности для формирования стратегий этапного изменения мощности исследуемой транспортной системы, можно представить как сумму дисконтированных строительно-эксплуатационных расходов за расчетный период времени.

$$\min Z = \sum_{t=1}^{\tau_{ij}} C_0(t) \alpha_t + \sum_{j=1}^n K_{ij} \alpha_{\tau_{ij}} + \sum_{j=1}^n \sum_{t=\tau_{ij}+1}^T C_i(t) \alpha_t, \quad (2)$$

где $\min Z$ – минимум суммарных дисконтированных строительно-эксплуатационных расходов на этапное развитие МТУ в пределах принятого горизонта расчета T ; $C_0(t)$ – эксплуатационные расходы по переработке грузов в исходном техническом состоянии исследуемой системы; $t = \tau_{ij}$ – срок завершения эксплуатации системы в исходном состоянии; $\alpha_t = 1/(1+E)^t$ – коэффициент дисконтирования затрат во времени, $t = 1, 2, 3, \dots, T$; K_{ij} – стоимость перевода системы из i технического состояния в новое техническое состояние j ; $j = 1, 2, \dots, n$ – количество технических состояний, кроме существующего, входящих в любую из возможных схем этапного наращивания мощности исследуемой системы; τ_{ij} – срок перехода из i в j техническое состояние системы; $\alpha_{\tau_{ij}}$ – коэффициент дисконтирования в год перехода из i в j техническое состояние; $C_i(t)$ – функция эксплуатационных расходов в i -том техническом состоянии системы.

Следует особо подчеркнуть, что существенное влияние на процесс поиска эффективной области альтернатив (ЭОА) изменения облика и мощности МТУ имеют анализ, синтез и прогноз потребных объемов работы узла, которые зависят от стратегий развития экономики страны и ее регионов, имеющих, в свою очередь, множество возможных сценариев [14].

Множество возможных сценариев, соответствующих принятой стратегии развития экономики страны, дают множество расчетных случаев, которые характеризуются функцией $\Gamma_{\Pi i}(t)$. Принятый в настоя-

щем примере сценарий (расчетный случай), предусматривал расчетную процедуру при росте контейнерных объемов на $\Delta \Gamma_{\text{П}}$ равном 150 тыс. контейнеров в год. Как показала расчетная процедура, принятое соотношение доходов и расходов позволяет получить такой суммарный дисконтированный результат (табл. 8), который дает положительный интегральный эффект для любой стратегии этапного наращивания мощности узла, начиная с седьмого года эксплуатации, при условии, что из получаемого результата необходимые суммы реинвестируются в развитие порта до достижения поставленной в программе цели.

Таким образом в первом расчетном случае получена область эффективных альтернатив (стратегий, схем) этапного развития МТУ, из которой лицо, принимающее решение (ЛПР), может выбрать наиболее приемлемую, исходя из задач текущего периода эксплуатации при различном сочетании доходной и расходной ставок на переработку одного контейнера. Учитывая необходимость создания экономической привлекательности транспортных коммуникаций, следует рассмотреть вопрос о снижении аккордной ставки. В свою очередь, если ЧДД не будет в полном объеме реинвестирован в развитие мощности порта, то область эффективных стратегий этапного развития порта уменьшится. Одним из слабых мест предложенной [16, 17] программы 4М является недостаточное внимание, уделяемое анализу пропускной и перерабатывающей способности припортовых железнодорожных станций и их связи с железнодорожными сортировочными станциями.

По самым скромным расчетам при увеличении объема переработки контейнеров в Ильичевском морском торговом порту до 3,5 млн. штук в год, необходимо обеспечить дополнительную пропускную способность сортировочной и припортовых станций на 96 пар поездов в сутки. Если учесть существование планов увеличения объема переработки контейнеров в Одесском морском порту до такого же объема, то становится очевидной необходимость больших инвестиций в развитие железнодорожных подходов к портам. Данный вопрос требует специальной самостоятельной проработки и, по мнению авторов, не терпит отлагательств.

Таким образом, если принять за начало расчетного периода 2004 г., горизонт расчета взять равным 20 годам, начальный объем перевозок принять равным 150 тыс. TEU/год, а динамику роста $\Delta \Gamma_{\text{П}}$ принять 150 тыс. конт./год, что соответствует данным табл. 1, то можно зафиксировать следующую оптимальную стратегию этапного изменения облика и мощности узла (рис. 1, 2):

1. С первого по четвертый год расчетного периода система работает в третьем техническом состоянии, которое предусматривает реализацию ко второму году первого этапа программы 4М, ($M_0 + M_1$).

2. С четвертого по седьмой год эксплуатации экономически целесообразно, (как это запланировано в [16]), завершение реализации и

эксплуатация второго этапа программы 4М, что дает минимальные затраты, $(M_0 + M_1 + M_2)$.

3. С шестого года по одиннадцатый включительно, система эффективней работает в седьмом техническом состоянии, $(M_0 + M_1 + M_2 + M_5)$.

4. С одиннадцатого года расчетного периода по четырнадцатый год включительно, система работает экономически эффективно, в девятом техническом состоянии, $(M_0 + M_1 + M_2 + M_3 + M_5)$.

5. К пятнадцатому году расчетного периода эффективна реализация всех этапов программы 4М, $(M_0 + M_1 + M_2 + M_4 + M_5 + M_3)$.

Таким образом, для заданных условий и принятых исходных данных получена оптимальная, выбранная из множества (2^{15}) возможных, схема этапного наращивания мощности исследуемого МТУ.

В соответствии с разработанной методикой произведено графическое сопоставление суммарного дисконтированного результата работы системы и суммарных дисконтированных строительно-эксплуатационных расходов, соответствующих оптимальной схеме этапного изменения облика и мощности (рис. 3), которое показало, что при заданных расчетных исходных данных и 100 % реинвестиции прибыли в развитие мощности узла, результат превышает затраты со второго года эксплуатации системы.

Учитывая большое превышение результатов над затратами, возможна реализация субоптимальных схем, сокращающих количество этапов развития и увеличивающих резервы на более ранний период работы системы. В частности, возможно к пятому году реализовать пятое техническое состояние, к седьмому – восьмое, а к шестнадцатому – пятнадцатое. В этом случае положительный интегральный эффект будет получен с четвертого года эксплуатации системы.

На основании приведенных экспериментальных расчетов, можно сделать следующие выводы.

1. Разработана и экспериментально апробирована (на примере развития контейнерных терминалов ИМТП) методика формирования оптимальной стратегии изменения облика и мощности МТУ;

2. Графическое сопоставление суммарных дисконтированных результатов и затрат дает возможность наглядно определить период окупаемости вкладываемых инвестиций;

3. Предложенная методика дает возможность варьировать влияющими экономическими и техническими факторами в широком диапазоне и по мере необходимости корректировать ход реализации программы в режиме реального времени;

4. Уточнение исходных данных и рассмотрение нескольких сценариев, (расчетных случаев), позволит установить диапазон устойчивости предлагаемых проектных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербанин Ю.А. *Международный обмен и транспорт*. – СПб.: Лики России, 2003. – 68 с.
2. Правдин Н.В., Негрей В.Я., Подкопаев В.А. *Взаимодействие различных видов транспорта*. – М.: Транспорт, 1989. – 208 с.
3. Галахов В.И. *Мультимодальные транспортные коридоры*. – М.: Транспорт, 2001. – 71 с.
4. Кирпа Г.Н. *Интеграция железнодорожного транспорта Украины в Европейскую транспортную систему*. Днепропетровск: ДИИТ, 2004. – 247 с.
5. Бакаев А.А., Пирожков С.И., Ревенко В.Л., Бакаев Л.А., Кутах Ю.А. *Международные транспортные коридоры Украины: сети и моделирование. Т. 1. Наземные виды транспорта*. – К.: КУЭТТ, 2003. – 516 с.
6. Бакаев А.А., Пирожков С.И., Ревенко В.Л., Бакаев Л.А., Кутах Ю.А. *Международные транспортные коридоры Украины: сети и моделирование. Т. 2. Сети и моделирование*. – К.: КУЭТТ, 2003. – 622 с.
7. Цветов Ю.М., Един А.О., Макаренко М.В., Соколов Л.Н., Цветов М.Ю. *Основы организации транспортного обеспечения внешнеторговых связей Украины*. – Киев: ОАО ИКТП – Центр, 2000. – 581 с.
8. Гончарук С.М., Гавриленков А.В., Шварцфельд В.С. *Принятие решений при проектировании облика и мощности сети железных дорог (системный подход). Ч. 1. Методология формирования альтернатив облика и мощности сети железных дорог с учётом надёжности их функционирования*. – Хабаровск: ДВГУПС, 2003. – 178 с.
9. Дубинский П.Р., Магамадов А.Р. *Комплексная система непрерывного планирования работы транспортного узла*. – М.: Морфлот, 1979. – 59 с.
10. Виленский П.Л., Ливищ В.Н., Смоляк С.А. *Оценка эффективности инвестиционных проектов*. – М.: Дело, 2001. – 832 с.
11. *Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция)*. – М.: Экономика, 2000. – 421 с.
12. Беллман Р. *Динамическое программирование*. ИЛ, 1960. – 400 с.
13. Турбин И.В., Гавриленков А.В., Кантор И.И. *Изыскания и проектирование железных дорог*. – М.: Транспорт, 1989. – 479 с.

14. Лебедева Н.А., Гончарук С.М. Особенности решения проблемы изменения облика и мощности мультимодальных транспортных узлов на основе системного подхода. Проблемы техники. Одесса: Диалог Принт. – 2005. – № 2. С. 81-96.
15. Лебедева Н.А., Гончарук С.М. Инженерная подготовка производства как базовая основа для принятия решений по развитию мультимодальных транспортных узлов. – Вісник ОНМУ. – 36. наук. праць. – Одеса: ОНМУ. – 2005. – № 18. С. 219 – 225.
16. Кузьменко А. Порты Украины. – 2004. – № 6.
17. Моряк. – 2005. Сентябрь. – № 35.

Надійшла 12.01.06

РІВНОВАГИ У ЛОГІСТИЧНОМУ ЛАНЦЮЖКУ ЗА РІЗНИХ КРИТЕРІЇВ ОПТИМАЛЬНОСТІ УЧАСНИКІВ

Розглянуто логістичний ланцюжок виготовлення та доставки продукції на ринок, що включає виробниче та транспортне підприємства. Аналітично знайдені та порівняні між собою рівноважні стани у цьому логістичному ланцюжку за різних комбінацій критеріїв оптимальності учасників, таких як прибуток, валовий дохід, вантажооборот, рентабельність, інтенсивність прибутку. Досліджена асимптотична поведінка рівноважних транспортних тарифів.

***Ключові слова:** логістичний ланцюжок, виробник, транспортне підприємство, ринок, рівновага, критерій оптимальності.*

Дослідження логістичних ланцюжків, що зв'язують виробників, перевізників та споживачів продукції, набувають особливо важливого значення на сучасному етапі ринкових перетворень та розвитку транспортних коридорів.

Проте у численній літературі з логістики, що стала інтенсивно видаватись у останні роки [2, 5, 6, 13], зокрема, щодо інтегрованих ланцюжків поставок [4, 9, 12], відповідна проблематика розглядається переважно на описовому рівні, у кращому випадку з допомогою найпростіших розрахункових формул. З нашої точки зору, заслуговує на серйозну увагу дослідження логістичних систем з використанням та розвитком відповідних результатів мікроекономіки [3, 8, 10, 15] та теорії організації галузевих ринків [1, 7, 11, 14, 16].

Зокрема, значний інтерес становить моделювання рівноважних станів усередині логістичних ланцюжків, учасники яких можуть мати як традиційні однакові критерії максимуму власного прибутку, так і переслідувати різні цілі, наприклад, максимізацію доходу, вантажообороту, рентабельності, інтенсивності прибутку тощо.

Тож метою даної статті є встановлення та порівняння рівноваг у логістичному ланцюжку за різних комбінацій критеріїв оптимальності учасників.

Нехай логістичний ланцюжок включає споживчий ринок, ціна на якому формується як $P = b - kQ$, виробника продукції з питомою собівартістю v та транспортного підприємства із собівартістю перевезень

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

одиниці продукції z , де $b > 0$ – максимально можлива на ринку ціна продукції; $k > 0$ – показник еластичності попиту (зниження ціни із збільшенням обсягу продукції) на споживчому ринку; $Q \geq 0$ – обсяг виробництва і перевезення продукції на ринок.

Припустимо спочатку, що кожен з учасників (1 – виробник, 2 – перевізник) максимізує свій прибуток

$$F_1 = PQ - vQ - pQ = ((b - kQ) - v - p)Q \xrightarrow{Q} \max, \quad (1)$$

$$F_2 = pQ - zQ = (p - z)Q \xrightarrow{p} \max, \quad (2)$$

де p – транспортний тариф на перевезення одиниці продукції.

Прирівнюємо до нуля похідну від функції прибутку виробника $\frac{dF_1}{dQ} = b - 2kQ - v - p = 0$, звідси функція оптимальної реакції виробника на даний транспортний тариф

$$Q = \frac{b - v - p}{2k}. \quad (3)$$

Підставимо цей вираз у (2)

$$F_2 = (p - z) \left(\frac{b - v - p}{2k} \right) \xrightarrow{p} \max, \quad (4)$$

звідси

$$\frac{dF_2}{dp} = \frac{b - v - p}{2k} + (p - z) \frac{-1}{2k} = \frac{b - v + z - 2p}{2k} = 0,$$

рівноважний транспортний тариф

$$p^{FF} = \frac{b - v + z}{2} = z + \frac{b - v - z}{2} = z + \frac{A}{2}. \quad (5)$$

Тут верхній індекс FF означає рівновагу FF , коли кожен з учасників логістичного ланцюжка максимізує власний прибуток; $A = b - v - z > 0$ – економічний потенціал логістичного ланцюжка (якщо він від'ємний – випуск та доставка продукції на ринок не мають сенсу). Рівноважний транспортний тариф складається з собівартості перевезень

та половини економічного потенціалу ланцюжка.

Підставивши (5) у (3), отримаємо рівноважний обсяг продукції

$$Q^{FF} = \frac{b - v - z}{4k} = \frac{A}{4k}. \quad (6)$$

Рівноважна ринкова ціна

$$P^{FF} = \frac{3b + v + z}{4} = b - \frac{A}{4},$$

рівноважні прибутки учасників

$$F_1^{FF} = \frac{(b - v - z)^2}{16k} = \frac{A^2}{16k},$$

$$F_2^{FF} = \frac{(b - v - z)^2}{8k} = \frac{A^2}{8k},$$

сумарний рівноважний прибуток

$$F^{FF} = F_1^{FF} + F_2^{FF} = \frac{3A^2}{16k}.$$

Якщо ж тепер транспортне підприємство максимізує не прибуток, а валовий дохід, то його критерій (2) перетворюється на

$$D_2 = pQ \xrightarrow{p} \max. \quad (7)$$

Підставляючи сюди функцію (3) реакції виробника, що, як і раніше, максимізує прибуток, отримаємо

$$D_2 = p \frac{b - v - p}{2k} \xrightarrow{p} \max, \quad (8)$$

звідси

$$\frac{dD_2}{dp} = \frac{b - v - p}{2k} + p \frac{-1}{2k} = \frac{b - v - 2p}{2k} = 0,$$

рівноважний транспортний тариф

$$p^{FD} = \frac{b-v}{2} = z + \frac{b-v-2z}{2} = \frac{z}{2} + \frac{A}{2}. \quad (9)$$

Легко бачити, що $p^{FF} - p^{FD} = \frac{z}{2} > 0$, тобто якщо транспортне підприємство замість прибутку максимізуватиме валовий дохід, його рівноважний тариф знизиться на половину собівартості перевезень.

При цьому рівноважний обсяг продукції

$$Q^{FD} = \frac{b-v}{4k} = \frac{A}{4k} + \frac{z}{4k} \quad (10)$$

підвищується на $\frac{z}{4k}$ у порівнянні з Q^{FF} , рівноважна ринкова ціна

$$P^{FD} = \frac{3b+v}{4} = b - \frac{A}{4} - \frac{z}{4} \quad \text{знижується на } \frac{z}{4} \text{ (чверть собівартості}$$

перевезень) у порівнянні з P^{FF} .

Рівноважні прибутки учасників

$$F_1^{FD} = \frac{(b-v)^2}{16k} > F_1^{FF}, \quad F_2^{FD} = \frac{(b-v-2z)(b-v)}{8k} < F_2^{FF},$$

сумарний рівноважний прибуток учасників логістичного ланцюжка

$$F^{FD} = F_1^{FD} + F_2^{FD} = \frac{3(b-v)^2 - 4z(b-v)}{16k}.$$

Легко бачити, що $F_2^{FD} > 0$ при $z < \frac{b-v}{2}$, $F^{FD} > F^{FF}$ при $z < \frac{2(b-v)}{3}$, $F^{FD} < F^{FF}$ при $z > \frac{2(b-v)}{3}$, тобто при достатньо низькій собівартості перевезень (у всякому разі, такій, що забезпечує транспортному підприємству додатній прибуток навіть тоді, коли воно максимізує не прибуток, а дохід) сумарний прибуток учасників збільшується від такої зміни критерію оптимальності транспортного підприємства.

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

Якщо припустити, що транспортне підприємство максимізує не прибуток і не валовий дохід, а обсяг перевезеної продукції (вантажооборот), тобто його критерій

$$Q = \frac{b - v - p}{2k} \xrightarrow{p} \max,$$

звідси $p^{FQ} = 0$, рівноважний обсяг продукції

$$Q^{FQ} = \frac{b - v}{2k} = \frac{A}{2k} + \frac{z}{2k}$$

зростає удвічі навіть порівняно з Q^{FD} , рівноважний прибуток виробника

$$F_1^{FQ} = \frac{(b - v)^2}{4k},$$

збитки транспортного підприємства

$$F_2^{FQ} = -z \frac{b - v}{2k},$$

сумарний прибуток учасників $F^{FQ} = F_1^{FQ} + F_2^{FQ} = \frac{4(b - v)^2 - 8z(b - v)}{16k}$.

Легко бачити, що $F^{FQ} > F^{FD} > F^{FF}$ у випадку достатньо малої собівартості перевезень $z < \frac{b - v}{4}$, при $z > \frac{b - v}{4}$ матиме місце

$$F^{FQ} < F^{FD}.$$

Зауважимо, що ще більший – максимальний – сумарний прибуток учасників досягатиметься при їх інтеграції (яку позначимо індексом i), коли транспортний тариф дорівнюватиме не нулю, а собівартості перевезень: при $p = z$ отримуємо

$$Q^i = \frac{A}{2k}, P^i = b - \frac{A}{2}, F^i = \frac{A^2}{4k}, F^i - F^{FQ} = \frac{z^2}{4k} > 0.$$

Якщо ж транспортне підприємство максимізує власну рентабельність, то до розгляду слід увести і його постійні витрати c . Тоді

функція рентабельності $R_2 = \frac{F_2}{Z_2} = \frac{(p-z)Q}{zQ+c}$, підставивши до неї функцію реакцію виробника (3), отримуємо

$$R_2 = \frac{(p-z) \frac{b-v-p}{2k}}{z \frac{b-v-p}{2k} + c} \xrightarrow{p} \max.$$

Прирівнявши до нуля похідну $\frac{dR_2}{dp}$ та розв'язавши відповідне рівняння, знаходимо рівноважний транспортний тариф

$$p^{FR} = b - v + \frac{2kc - \sqrt{4k^2c^2 + 2zkc(b-v-z)}}{z}.$$

Цікаво, що $\frac{dp^{FR}}{dc} < 0$, тобто із зростанням постійних витрат транспортного підприємства його оптимальний за критерієм рентабельності тариф спадає (висновок, на перший погляд, парадоксальний – але, насправді, при великих постійних витратах підприємство – навіть при критерію рентабельності – має думати вже не про норму, а про масу прибутку, щоб покривати ці постійні витрати), причому все повільніше, оскільки $\frac{d^2 p^{FR}}{dc^2} > 0$, тобто функція $p^{FR}(c)$ опукла вниз. Оскільки ж $\lim_{c \rightarrow \infty} p^{FR} = \frac{b-v+z}{2} = p^{FF}$, оптимальний за критерієм рентабельності транспортний тариф спадає не до нуля, а асимптотично наближаючись до тарифу, оптимального за критерієм максимуму прибутку транспортного підприємства.

Тож, якщо транспортне підприємство максимізуватиме рентабельність перевезень, рівноважний транспортний тариф збільшиться у порівнянні з базовою рівновагою FF , відповідно знизяться обсяги перевезень та сумарні прибутки учасників.

Нарешті, розглянемо актуальний випадок, коли транспортне підприємство, поєднуючи фінансовий чинник з часовим, максимізує інтенсивність прибутку – відношення свого прибутку не до витрат (як у щойно розглянутому критерію рентабельності), а до проміжку часу, за який цей прибуток отримується. Уведемо тут величини a – постійні

витрати часу на перевезення (оформлення) вантажу, які не залежать від його обсягу Q , та пропускну спроможність транспортного підприємства M – кількість вантажу, що перевозиться за одиницю часу.

Тоді інтенсивність прибутку транспортного підприємства

$$I_2 = \frac{F_2}{T} = \frac{(p-z)Q}{a + \frac{Q}{v}},$$

підставивши до неї функцію реакції виробника на транспортний тариф та перетворивши, отримаємо

$$I_2 = M \frac{(p-z) \frac{b-v-p}{2k}}{aM + \frac{b-v-p}{2k}} \xrightarrow{p} \max.$$

Прирівнявши до нуля похідну $\frac{dI_2}{dp}$ та розв'язавши відповідне рівняння, знаходимо рівноважний транспортний тариф

$$p^{FI} = b - v + 2aMk - \sqrt{4a^2M^2k^2 + 2aMk(b - v - z)}.$$

Аналогічно попередньому аналізу за критерієм рентабельності, $\frac{dp^{FI}}{da} < 0$, тобто із зростанням постійних витрат часу транспортного підприємства його оптимальний за критерієм інтенсивності прибутку тариф спадає, причому все повільніше, оскільки $\frac{d^2 p^{FI}}{da^2} > 0$, тобто функція $p^{FI}(a)$ опукла вниз. Оскільки ж $\lim_{a \rightarrow \infty} p^{FI} = \frac{b-v+z}{2} = p^{FF}$,

оптимальний за критерієм інтенсивності прибутку транспортний тариф спадає не до нуля, а асимптотично наближаючись до тарифу, оптимального за критерієм максимуму прибутку транспортного підприємства.

Таким чином, якщо транспортне підприємство замість свого прибутку починає максимізувати інтенсивність прибутку, його тариф підвищується, обсяг перевезень (партії продукції) знижується, прибуток від кожної партії продукції зменшується, а інтенсивність прибутку (за одиницю часу) зростає.

У подальшому передбачаються дослідження інших цікавих комбінацій критеріїв учасників логістичного ланцюжка, зокрема, коли транспортне підприємство максимізує прибуток, а виробниче – інтенсивність прибутку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Авдашева С.Б., Розанова Н.М. Теория организации отраслевых рынков. – М.: Магистр, 1998. – 320 с.
2. Гаджинский А.М. Логистика. – М.: Маркетинг, 2001. – 396 с.
3. Гальперин В.М., Игнатъев С.М., Моргунов В.И. Микроэкономика: В 2-х т. – СПб.: Экономическая школа, 1999. – Т. 1. – 349 с. – Т. 2. – 503 с.
4. Кристофер М. Логистика и управление цепочками поставок: Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2004. – 316 с.
5. Неруш Ю.М. Логистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 389 с.
6. Семенов А.И., Сергеев В.И. Логистика. Основы теории. – СПб.: Изд-во «Союз», 2001. – 544 с.
7. Тироль Ж. Рынки и рыночная власть: Теория организации промышленности: Пер. с англ.: В 2-х т. – СПб.: Экономическая школа, 2000. – Т. 1. – 328 с. – Т. 2. – 450 с.
8. Томпсон А., Формби Дж. Экономика фирмы: Пер. с англ. – М.: БИНОМ, 1998. – 544 с.
9. Уотерс Д. Логистика. Управление цепью поставок: Пер. с англ. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503 с.
10. Франк Р.Х. Микроэкономика и поведение: Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 696 с.
11. Хэй Д., Моррис Д. Теория организации промышленности: Пер. с англ.: В 2-х т. – СПб.: Экономическая школа, 1999. – Т.1. – 384 с. – Т.2. – 592 с.
12. Хэндфилд Р.Б., Николс Э.Л. Реорганизация цепей поставок. Создание интегрированных систем формирования ценности: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2003. – 416 с.
13. Чудаков А.Д. Логистика. – М.: Изд-во РДЛ, 2001. – 480 с.
14. Шерер Ф.М., Росс Д. Структура отраслевых рынков: Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 1997. – 698 с.
15. Varian H.R. Microeconomic Analysis. New York – London: W.W.Norton & Company, 1992. – 506 p.
16. Church J., Ware R. Industrial organization. A strategic approach.– McGraw-Hill, 2000. – 926 p.

Надійшла 17.01.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ

В статье предложена система оценки рисков проектов на стадии выбора наиболее эффективного варианта для реализации, а также основные принципы контроля риска в ходе его реализации. Приведенная модель апробирована в ходе выполнения проекта реструктуризации наукоемкого производства газовых турбин (НПКГ «Заря» – «Машпроект», г. Николаев).

Ключевые слова: наукоемкое производство, неопределенность, организационные проекты, эффективность проекта, фазы проекта

Постановка проблемы

Численный анализ и ранжирование идей на ранних стадиях осуществления проекта может ввести в заблуждение, так как метрика и «взвешивание» могут меняться с изменением фазы проекта; проект в определенной фазе его осуществления отображает оценки рисков и эффективности отдельных работ, значимые, как правило, только в конкретном промежутке времени; оценка качественной информации в фазе осуществления может быть критичной для оценки всего проекта; проект должен быть сбалансирован с целями и стратегиями корпорации. *Целью настоящей работы* является решение задачи определения эффективности проектов в зависимости от степени риска их реализации.

Анализ последних публикаций и исследований

Для распределения ресурсов проекта могут быть использованы различные процедуры, но надо иметь в виду, что каждая из них может обеспечить лишь определенный взгляд на ситуацию, оставаясь бесполезной в других случаях. К таким процедурам относят:

- решетку оценок по стадиям и фазам проекта, но в этом случае можно получить противоречивые результаты на ранних стадиях и при разработке концепции проекта;
- графы, но конкретные вершины графов не отражают разницу между уровнями неопределенности, что может привести к заведомо плохим решениям;
- набор критериев (метрики), что дает численное ранжирование вариантов путей реализации проекта, однако остается пробле-

ма неопределенности информации, поэтому использование метрик на ранних стадиях проекта может привести к ошибкам на поздних стадиях [3];

- деревья решений [2], которые позволяют оценивать риски проекта и их эффективность, однако требуют точной информации о вероятностях успеха, которой нет на стадиях формулировки идей.

Изложение основного материала

Время – лучший ключ к идентификации, а не дискуссии по численным оценкам. В ходе реализации проекта по реорганизации научной организации НПО «Машпроект» и производственного объединения «Заря» в единый научно ориентированный комплекс газотурбостроения было принято выделить шесть фаз разработки проекта:

- формирование идеи и концепции реструктуризации;
- анализ существующих прототипов;
- разработка и оценка вариантов проектов;
- отбор оптимального проекта;
- завершение предпроектной подготовки.

Каждая фаза содержит контрольную точку для обзора, переосмысления и оценки прогресса (рис. 1). Стадию «завершения» можно назвать «подведение итогов». Её задача: определение источников принятых решений, создание базы для улучшения рассмотрения результатов на различных стадиях, возможность учета морального климата в команде, получение источников будущих идей.

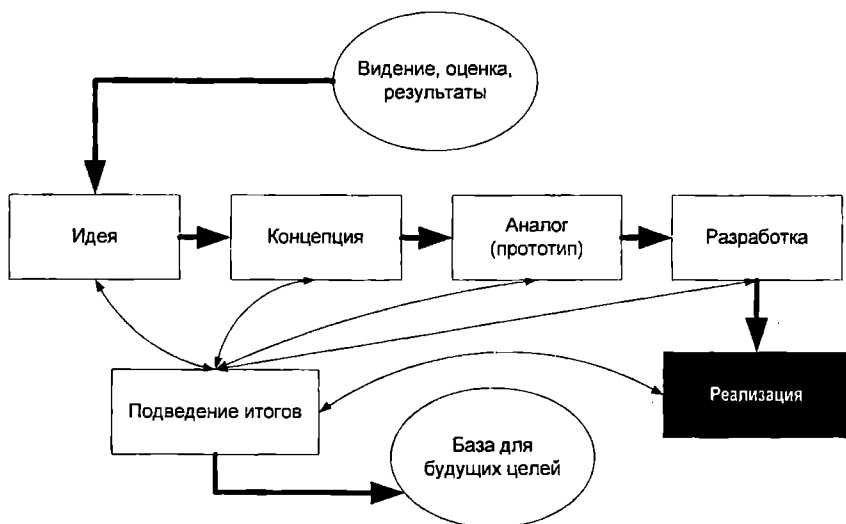


Рис. 1. Схема фаз разработки проекта

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

На всех стадиях необходимая информация и критерии оценок могут сильно отличаться. Хорошей отправной точкой выявления критических факторов, которыми могут быть риск или неопределенность, является применение критериев, использованных на ранних стадиях, впоследствии.

В табл. 1 приведены неопределенности, которые могут существенно влиять, по мнению авторов [4], на вероятность технического или производственного успеха проекта и степень управляемости вновь созданного предприятия.

Таблица 1

Неопределенности, которые могут существенно влиять на вероятность успеха проекта и степень управляемости вновь организованного предприятия

| Вероятность успеха | Степень управляемости предприятием |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1. Требуемые капиталовложения | 1. Отток персонала, научных кадров |
| 2. Требуемая новая организационная структура | 2. Сохранение заказчиков продукции и увеличение потенциальных заказчиков |
| 3. Требуемые новые технологические цепочки управления | 3. Необходимость продуктовой дифференциации и диверсификации производства |
| 4. Потенциальные проблемы взаимодействия структурных подразделений | 4. Увеличение себестоимости как выпускаемых так и вновь создаваемых изделий |
| 5. Прогнозируемое время разработки | 5. Уменьшение бюрократического управления |
| 6. Изменение функций подразделений и сотрудников | 6. Уменьшение дублирования функций подразделений и параллелизма в работе |
| 7. Качество и организация процесса изготовления новой продукции | 7. Динамика масштабов рынка |
| 8. Наличие необходимых искусств у персонала | 8. Сопротивление персонала изменениям |

Сложной задачей остается объединение количественной и качественной информации, особенно опыта и интуиции лица принимающего

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

решение (ЛПР). Обычным методом является применение «Аналитического иерархического процесса (АНР)» [1].

Выделение ресурсов на проект должно быть сбалансировано с краткосрочными и долгосрочными целями предприятия. Обычно частные решения по краткосрочным целям могут входить в противоречие с решениями, обеспечивающими достижение долгосрочных целей. Типичные противоречия указаны ниже (табл. 2).

Таблица 2

Противоречия частных задач при доминировании долгосрочных и краткосрочных целей

| Краткосрочные цели | Долгосрочные цели |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Снижение издержек на производство существующих продуктов | Рост объемов продаж новых продуктов |
| Сохранение процессного метода управления предприятием для завершения начатых разработок | Проектный метод управления наукоемким производством |
| Снижение текущих затрат и себестоимости | Рост продаж и прибыли |
| Допустимый риск | Допущение ограниченного риска |
| Отсутствие четкого видения и стратегии | Ясные, четкие видения и стратегии |
| Узкая фокусировка бизнеса | Диверсификация производства |

Таким образом, предлагается сделать упор на следующие подходы к учету неопределенности при выполнении проектов реорганизации научных предприятий с производственными системами:

- фиксирование факта различий подходов к неопределенности на разных стадиях разработки;
- целесообразность преодоления неопределенности на более поздних этапах разработки после накопления необходимой информации;
- обеспечение баланса целей, оценок и частных задач исходя из стратегии предприятия;
- учет неопределенности при принятии решений о распределении ресурсов и приоритетах отдельных проектов в портфеле НИОКР.

Наиболее выгодный путь анализа рисков – идентификация рисков, когда еще остается свобода действий и решений. В таких случаях можно

минимизировать влияние рисков на выполнение графика работ и бюджет проекта.

Успех зависит главным образом от следующих шести факторов:

- дифференцированности возможных вариантов построения системы управления;
- солидной подготовки разработки (оценок окружающей обстановки, наличия технического и финансового обеспечения и т.д.);
- отличной предпроектной подготовки;
- качественной технологической стороны разработки;
- точного определения результата модернизации производства в начале разработки;
- правильного подбора межфункциональной команды.

Очевидно, что диапазон возможных источников риска достаточно широк. Степень влияния конкретного риска часто зависит от того, что уже проинвестировано к моменту оценки. Если в этом случае будет сделана попытка вернуться назад, то, безусловно, задержится прогресс разработки. Ключом к управлению рисками является контролирование вероятности их появления, которая уменьшается с прогрессом разработки. Риск остается, но управляя им, мы снижаем шансы того, что возможна катастрофа. Эффективно управляемый риск менее разрушителен, чем работа в режиме реакции на его проявление (рис. 2).

а)

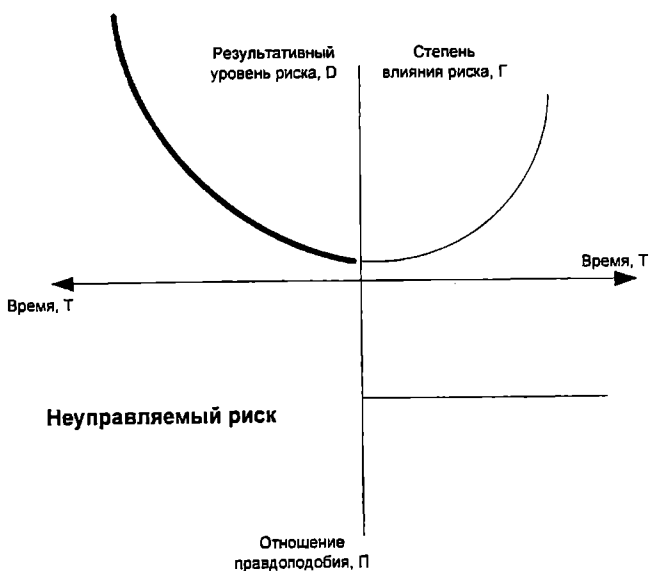
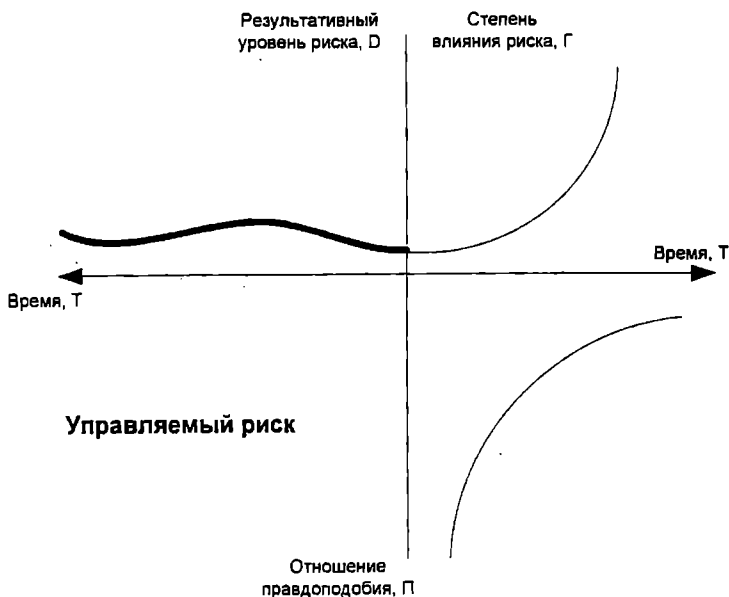


Рис. 2. Сравнение последствий:
а) неуправляемого риска

б)



*Продолжение рис. 2. Сравнение последствий:
б) управляемого риска*

Уровень риска есть базовый критерий для принятия решения о начале проекта, графика его выполнения и бюджета. Неточность оценки уровня риска до начала работ может быть устранена впоследствии.

После идентификации рисков следует установить их приоритеты. Полезно при этом использовать карту рисков (рис. 3).

На поле карты рисков нанесены данные для шести рисков, выбранных из более длинного списка:

- T_1 – отсутствие проверенной системы инвестиционной поддержки новых разработок.
- T_2 – будут ли выбранные аналоги по слиянию научных компаний с производственными системами воспроизводить условия функционирования конкретного модифицируемого предприятия?
- T_3 – не надо ли улучшить основной параметр в интересах победы в конкуренции?;
- T_4 – не определены требования к будущему наукоемкому предприятию (не поставлены цели и задачи его функционирования, не определены функции и системы управления предприятием);
- T_5 – будет ли обеспечена работа при требуемой структуре управления;

- T_6 – как разрешается ситуация, когда разработчик проекта уходит и возникают проблемы с реализацией проекта.

Пороговая линия (рис. 3) отсекает риски, особо важные (расположены выше её), требующие активного риск-менеджмента. Риски, расположенные на карте ниже этой линии, не требуют такого подхода. Управление обычно заключается в понижении вероятности риска. Каждый риск требует специального плана действий со своими сроками и критериями выполнения.

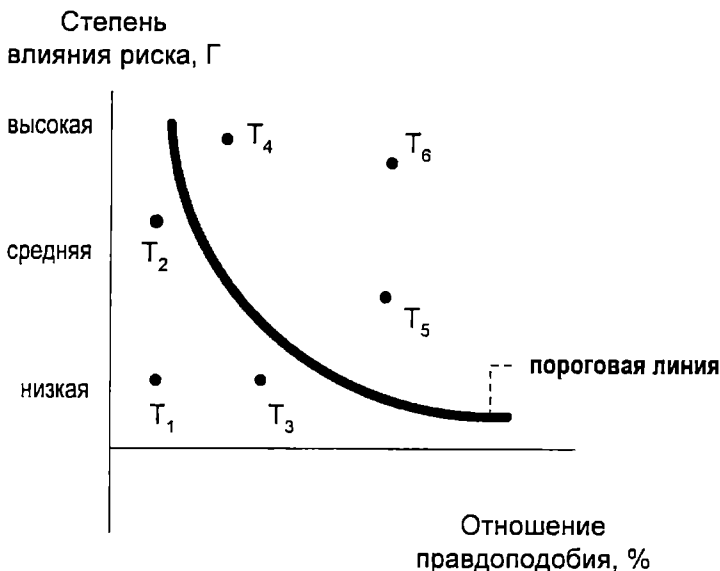


Рис. 3. Карта рисков

Управление рисками включает работу по каждому конкретному плану и обновление данных на карте рисков. Это обновление должно содержать следующие компоненты:

- перемещение точек рисков при активном управлении (обычно влево);
- перемещение точек рисков, лежащих ниже пороговой линии;
- идентификация новых рисков и их нанесение на карту;
- генерацию планов действий для тех рисков, которые лежат ниже этой линии.

Основная часть риск-менеджмента сводится, как правило, к избежанию слабостей. Однако слабости могут обеспечить фирму информацией, которая позволяет быстрее разработать новый продукт. Разработка продукта есть процесс обучения. Поэтому целесообразно планировать

эксперименты таким образом, чтобы они давали информацию о «среднем пути» между удовлетворением требований и ошибками.

Выводы

Ключом к управлению рисками является обычно контроль отношения правдоподобия, которое должно двигаться вниз по мере прогресса разработки; так как большинство критичных рисков носят межфункциональный характер, то для поиска их следует создавать межфункциональные группы специалистов; начало работы с наиболее легкими для устранения рисками – плохой путь в разработке нового продукта; для ускорения обучения следует планировать эксперименты так, чтобы результаты были «средним путем» между критериями соответствия требованиям и несоответствия им.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bremer M.S. Practical R&D Project Prioritization // RTM, 1994. V. 37, № 5.*
2. *Coffin M. A., Taylor B. W. R&D project selection and scheduling with a filtered beam search approach // IIE Transactions, 1996/ V. 28, № 2.*
3. *Cooper R.G., Edgett S.J., Kleinschmidt E.J. Best Practices for Managing R&D Portfolios // RTM, 1998. V. 41, № 4.*
4. *Tritle G. L., Scriven E. F. V., Fusfeld A. R. Resolving Uncertainty in R&D Portfolios // RTM, 2000. V. 43, № 6.*

Надійшла 16.01.06

УДК 338.4 (075.8)

Ю.И. Бурименко
А.В. Тишейкина

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОГРАММ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Предложен метод оценки надежности программ социально-экономического развития региона, разработанных на проектной основе. Метод позволяет получить оценку вероятности отклонения программных показателей развития от запланированных, рассчитывать обобщенный показатель надежности, решать обратную задачу надежности.

Ключевые слова: программа социально-экономического развития, надежность, проект, случайная величина, закон распределения, математическое ожидание, среднеквадратическая ошибка.

Законом Украины «Про державне прогнозування та розроблення програм економічного і соціального розвитку України» от 28 апреля 2000 года определены основные принципы и требования к прогнозным и программным документам экономического и социального развития административно-территориальных единиц (областей, районов, городов) на среднесрочный и краткосрочный периоды. Этим законом определены также полномочия и ответственность участников процесса прогнозирования и разработки программ развития. В законе сказано, что одним из основных принципов государственного прогнозирования и разработки программ развития является принцип научности. Согласно этому принципу программы развития должны разрабатываться на научной основе с постоянным усовершенствованием методологии, использованием мирового опыта. Однако, как отмечено в работах [1-3], существующие программы социально-экономического развития регионов носят в основном декларативный характер. В них отсутствуют стратегии и способы достижения программных целей, объемы и источники необходимых для этого средств, критерии оценки эффективности результата и др. Фактически программы развития не используют предусмотренный законом принцип научности, что приводит к хаотичности процесса реализации программ, снижению конечного результата. В этом состоит одна из главных проблем развития не только регионов, но и государства в целом.

В последние годы разработана проектно-ориентированная методология формирования программ социально-экономического развития региона [4-6]. В ее основе лежит проектный подход ко всем этапам формирования программы развития: прогнозирования факторов внутренней и внешней среды и получение исходных данных на основе SWOT-анализа; разработки и принятия решений по всем направлениям программы развития, рассматриваемой как система проектов (мегапроект); разработки системы управления процессом реализации программы развития; имитационного моделирования процесса реализации программы развития, ее коррекции, поиска резервных решений и т.д. Такая методология отражает все аспекты принципа научности и одновременно отвечает основным характеристикам, определяющим эффективность программы: гибкость, экономичность, четкость плана процесса реализации. Однако остается открытым ключевой вопрос: как оценить степень надежности проектно-ориентированных программ развития региона? Ответу на этот вопрос посвящена данная работа.

Постановка задачи

Отправляясь от исходных прогнозных данных, погрешности и рисков, возникающих в процессе разработки и предстоящей реализации программы социально-экономического развития, разработать универсальный количественный метод оценки ее надежности.

Метод решения

Подход к решению поставленной задачи должен основываться на результатах анализа характерных особенностей используемых способов формирования программ развития на следующих основных этапах: прогнозирования и получения исходных данных; процесса разработки и принятия решений; подготовки плана реализации программы развития. Если на указанных этапах используются формальные методы, например, метод экстраполяции для прогнозирования некоторых данных или методы математического программирования при принятии решений, то оценить точность (надежность) результатов несложно. Проблема возникает когда ставится задача оценки надежности программы развития при использовании неформальных методов ее формирования, применение которых исключить невозможно. Это имеет место при обосновании программных целей развития, выборе стратегий их достижения, разработке WBS, оценке условий предстоящей реализации проектов программы.

Очевидно, что параметры всех составляющих процесса разработки программы развития определяются, в основном, исходя из данных статистических и/или экспертных оценок при наличии множества случай-

ных факторов. Например, на первом этапе формирования программы развития, состоящем в подготовке информационно-аналитической базы, необходимо выполнить ряд аналитических работ. Основные из них следующие:

- традиционный анализ материалов региональной статистики (статистических данных об уровне социально-экономического развития региона);
- опросы экспертов;
- социологические опросы;
- SWOT-анализ специфики социально-экономической ситуации, условий и потенциала развития.

Итогом этих работ являются исходные данные, необходимые для прогнозирования основных показателей развития. Отметим, что они объективно представляют собой либо конкретные значения некой случайной величины, либо выборку из некоторой генеральной совокупности, полученную путем опроса экспертов, социологических опросов, обработки статистических данных.

Аналогичная ситуация возникает и при оценке параметров, характеризующих работы на остальных двух этапах процесса формирования программы развития. К ним относятся, в частности, такие важные параметры, как продолжительность и стоимость работ, их качество, затрачиваемые ресурсы и т.д. В результате программные цели развития региона, формулируемые обычно в виде конкретных числовых значений, например, процентного прироста валового регионального продукта, снижения уровня безработицы, бедности и др., носят вероятностный характер. Их следует рассматривать как желаемые значения математических ожиданий соответствующих случайных величин. Следует также принять во внимание, что разработка и реализация программы развития осуществляется в условиях воздействия большого числа трудно учитываемых и возможно равнозначных случайных факторов. В этих условиях есть основания предположить, что числовые значения показателей развития имеют нормальный закон распределения. При таком допущении для полной идентификации закона распределения каждого показателя развития кроме математического ожидания необходимо определить среднеквадратическое отклонение σ , что несложно.

Пусть программа социально-экономического развития региона содержит n проранжированных показателей экономического и социального развития. Обозначим через a_i , ($i = \overline{1, n}$) целевое значение (желаемое математическое ожидание) i -го показателя, рассматриваемого как случайная величина; через $a_{i \max}$ и $a_{i \min}$ обозначим максимальное и минимальное значения i -го показателя (задаются или оцениваются

экспертами). Тогда, согласно свойству нормального закона распределения, состоящего в том, что три среднеквадратических отклонения в обе стороны от математического ожидания охватывает 99,8% всех значений распределения случайной величины, получим следующую разумную оценку среднеквадратического отклонения i -го показателя

$$\sigma_i = \frac{a_{i\max} - a_{i\min}}{6} = \frac{\Delta_i}{6}, \quad \Delta_i = a_{i\max} - a_{i\min}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Рассмотрим теперь метод оценки σ_i в случае, когда целевые показатели программы развития устанавливаются по результатам экспертных оценок. Очевидно, что при такой оценке значение каждого показателя следует рассматривать как случайную величину с любым неизвестным законом распределения, выбираемую с помощью экспертов из некоторого множества возможных значений. Пусть эксперты выдают m различных значений каждого показателя. Тогда $(x_i^1, \dots, x_i^j, \dots, x_i^m)$ можно рассматривать как выборку объема m из совокупности возможных значений i -го показателя развития с математическим ожиданием a_i и дисперсией σ_i^2 , которые подлежат определению.

В этом случае в качестве надлежащей оценки a_i обычно принимают среднее арифметическое значение выборки [7]

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_i^j, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

называемое выборочным средним. Согласно закону больших чисел такая оценка является состоятельной, т.е. приближается к a_i при $m \rightarrow \infty$.

Кроме того, все эти оценки ($i = \overline{1, n}$) являются несмещенными, т.е. не содержат систематических ошибок по той причине, что математическое ожидание $M(\bar{x}_i) = a_i$ и дисперсия $D(\bar{x}_i) = \frac{\sigma_i^2}{m}$.

Для определения несмещенной оценки среднеквадратических отклонений $\{\sigma_i\}$ ($i = \overline{1, n}$), воспользуемся приведенными в работе [7] рекомендациями. При малых m ($m < 30$), что обычно имеет место при экспертных оценках, несмещенной оценкой дисперсии может служить оценка вида

$$\overline{S}_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (x_i^j - \bar{x}_i)^2, \quad \sigma_i = \sqrt{\overline{S}_i^2}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Располагая значениями $\{a_i\}$ и $\{\sigma_i\}$ ($i = \overline{1, n}$), можно перейти к оценкам надежности достижения программных показателей развития и программы в целом. Надежность достижения каждого показателя развития целесообразно охарактеризовать двумя параметрами: вероятностью того, что для любого $\varepsilon > 0$ значение $x_i - a_i$ выйдет за пределы интервала $(-\varepsilon, \varepsilon)$ и вероятностью того, что время достижения i -го показателя t_{x_i} отклонится от запланированного t_{a_i} на величину не меньшую чем Δ . Для определения обоих параметров надежности воспользуемся неравенством Чебышева, дающего оценку вероятности отклонения случайной величины от своего математического ожидания [7]. Согласно этому неравенству значение первого параметра надежности для i -го показателя определится по формуле

$$P_{1i}(|x_i - a_i| \geq \varepsilon) \leq \frac{\sigma_{1i}^2}{\varepsilon^2}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где σ_{1i} вычисляется по формуле (1) или (3).

Аналогично, значение второго параметра надежности i -го показателя будет равно

$$P_{2i}(|t_{x_i} - t_{a_i}| \geq \Delta) \leq \frac{\sigma_{2i}^2}{\Delta^2}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Значение σ_{2i} в формуле (5), представляющее собой среднеквадратическое отклонение продолжительности достижения i -го показателя развития, подлежит определению. Оно может быть найдено исходя из методики, предложенной в работе [8]. Для этого необходимо определить в сетевом графике работ (проектов), обеспечивающих достижение i -го показателя, критические работы (проекты). Затем, для каждой из этих работ по формуле (1) или (3) найти σ_{ki} – среднеквадратическое отклонение продолжительности выполнения k -той критической работы i -го показателя. Тогда, согласно [8]

$$\sigma_{2i} = \sqrt{\sum_{k=1}^{q_i} \sigma_{ki}^2}, \quad (6)$$

где q_i – число критических работ в сетевом графике i -го показателя. Если в сетевом графике имеется несколько критических путей, то в

формуле (6) следует использовать критические работы того пути, который отвечает максимальному значению σ_{2i} .

Таким образом, надежность программы социально-экономического развития региона оценивается векторным критерием $N = (P_{11}, \dots, P_{1n}, P_{21}, \dots, P_{2n})$, компоненты которого рассчитываются по формулам (4) и (5) при σ_{1i}, σ_{2i} ($i = \overline{1, n}$), вычисляемых по формулам (1), (3), (6) и заданных интервальных ограничений на отклонение от средних значений показателей развития по величине и времени достижения.

Разумеется, что с помощью векторного критерия надежности N затруднительно дать ощутимую оценку надежности программы развития. В связи с этим целесообразно ввести обобщенный скалярный показатель надежности программы развития вида

$$N_0 = 1 - \frac{1}{2n} \sum_{r=1}^2 \sum_{i=1}^n \frac{|P_{ri}'' - P_{ri}|}{|P_{ri}'' - P_{ri}^*|}, \quad P_{ri}^* = \min_i P_{ri}, \quad (7)$$

где P_{ri}'' – нормативная (задается) вероятность отклонения ri -того показателя надежности. Из формулы (7) следует, что $N_0 \geq 0$ и максимальная надежность $N_0 = 1$ будет достигнута в том случае, если все компоненты векторного критерия будут равны нормативным.

Формулы (4) и (5) позволяют решать и обратную задачу надежности. А именно: определить σ_{1i}, σ_{2i} и ε, Δ ($i = \overline{1, n}$), обеспечивающие значения компонентам P_{1i}, P_{2i} ($i = \overline{1, n}$) векторного критерия надежности значения не больше чем k_{1i}, k_{2i} . Решение очевидно. Задаваясь значениями ε и Δ , из формул (4) и (5) находим

$$\sigma_{1i}^* = \varepsilon \sqrt{k_{1i}}, \quad \sigma_{2i}^* = \Delta \sqrt{k_{2i}}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Полученные значения σ_{1i}^* и σ_{2i}^* будут теми максимально допустимыми значениями для σ_{1i} и σ_{2i} , которые обеспечивают выполнение условий $P_{1i} \leq k_{1i}, P_{2i} \leq k_{2i}$ ($i = \overline{1, n}$).

Можно также задать σ_{1i}, σ_{2i} ($i = \overline{1, n}$) и при известных k_{1i}, k_{2i} найти ε^* и Δ^* по формулам

$$\varepsilon^* = \min_i \left(\frac{\sigma_{1i}}{\sqrt{k_{1i}}} \right), \quad \Delta^* = \min_i \left(\frac{\sigma_{2i}}{\sqrt{k_{2i}}} \right).$$

Эти параметры определяют нижнюю границу значений ε и Δ , для которых $P_{1i} \leq k_{1i}$, $P_{2i} \leq k_{2i}$ ($i = \overline{1, n}$).

Заметим, что в формулах (4) и (5) значения ε и Δ могут быть заданы по каждому из n показателей развития отдельно.

Выводы

1. Предложенный метод оценки надежности программ социально-экономического развития региона достаточно универсален. Он применим для программ развития любого масштаба.

2. Метод позволяет решать как прямую, так и обратную задачу надежности при любых заранее неизвестных законах распределения целевых показателей развития.

3. Введенный критерий надежности дает возможность объективно осуществлять более полный сравнительный анализ эффективности различных программ развития.

4. Оценить надежность программы социально-экономического развития на основе изложенного метода можно при условии, что программа развития разработана на проектной основе.

В перспективе целесообразно исследовать влияние на надежность программ социально-экономического развития безусловно существующей взаимосвязи между случайными величинами, характеризующими числовые значения показателей развития, и временем их достижения. Это достаточно сложная проблема, требующая глубокого анализа как не очень обширного статистического материала по реализованным программам развития, так и внутренних взаимосвязей между работами (проектами) в рамках самой программы развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцева Л., Польська І. Тенденції соціального розвитку регіонів України // *Економіка України*. – 2003. – № 5. – С. 67-73.
2. Кривенко Л.В., Проник Т.В., Крищенко С.В. Формування сучасної національної моделі соціально-економічного розвитку: проблеми та перспективи // *Регіональні перспективи*. – 2002. – № 2(21). – С. 27-28.
3. Артеменко В. Методи інтегральної оцінки якості життя населення в управлінні регіональним розвитком // *Регіональна економіка*. – 2002. – № 1. – С. 166-177.
4. Тишейкина О.В. Общие экономические проблемы макропроектирования развития региона // *Управління проектами та розвиток виробництва*. – 2000. – № 2(1). – С. 103-106.

5. *Тишейкіна О.В. Основні принципи формування програм соціально-економічного розвитку регіонів // Труды IV-ой международной научно-практической конференции «Оптимум-2003». Ч. 2. – С. 45-46.*
6. *Тишейкина А.В. Моделирование процесса формирования программы социально-экономического развития региона // Зб. робіт конкурсу «Регіональна аналітика». – Харків, 2004. – С. 216-225.*
7. *Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. – М.: Наука, 1965.*
8. *Томас Р. Количественные методы анализа хозяйственной деятельности: Пер. с англ. – М.: Дело и Сервис, 1999.*

Надійшла 17.01.06

СОДЕРЖАНИЕ

Ученые

Одесского национального морского университета

Кузьменко Георгий Иванович 3

Теория, прочность и проектирование корабля

Воробьев Ю.Л., Павлов И.А.

ПОТЕНЦИАЛ ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ КАЧКЕ СУДНА,
ДВИЖУЩЕГОСЯ ПО МЕЛКОВОДНОМУ ФАРВАТЕРУ 7

Сизов В.Г.

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ УЛУЧШЕНИЯ ФОРМЫ СУДНА 14

Баскаков С.Н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ДАВЛЕНИЙ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОНТОНА 20

Егоров Г.В., Тонюк В.И.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ
КАЧКИ ТРИМАРАНА, ДВИЖУЩЕГОСЯ НА ГЛУБОКОЙ ВОДЕ 27

Сердюченко А.Н.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОДОЛЬНОЙ КАЧКЕ СУДОВ НА
РЕГУЛЯРНЫХ ВОЛНАХ КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ 37

Егоров Г.В.

ОСТАТОЧНАЯ ПРОЧНОСТЬ КОРПУСА В РАСЧЕТАХ
НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ И ОБЕСПЕЧЕНИИ БОРЬБЫ ЗА ЖИВУЧЕСТЬ.
КРИТЕРИИ И ПРИМЕРЫ 49

Семин А.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ВНУТРЕННИХ ПОМЕЩЕНИЙ И
ОТКРЫТЫХ ПАЛУБ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И
СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ 64

Канифольский А.О.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ РАЗМЕРОВ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОРПУСА
БЫСТРОХОДНЫХ ОДНОКОРПУСНЫХ ВОДОИЗМЕЩАЮЩИХ
СУДОВ 76

Судовые установки и механизмы

Петренко В.А., Кириллов В.Х., Ерин В.А.

РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
СУДОВОЙ АВТОНОМНОЙ ЭЖЕКТОРНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ
МАШИНЫ 81

Вычужания В.В.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНДИЦИОНИРУЕМОГО
ПОМЕЩЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА САУ ПО РТ 102

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Варбанец Р.А., Ивановский В.Г. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА РАЗДЕЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ MALIN 6000 И DOCTOR | 117 |
| Коноплев А.В., Стариков М.А. ВЫБОР УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ | 130 |

Морские порты

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Гришин А.В. НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ГРАВИТАЦИОННЫХ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ | 137 |
| Гришин А.В., Федорова Е.Ю. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОТКОСА, ВЫЗВАННОЕ ВОЗВЕДЕНИЕМ НА НЕМ СООРУЖЕНИЯ | 149 |

Управление проектами и совершенствование работы флота и портов

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Магамадов А.Р. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ОБОСНОВАНИЯ ВЫБОРА КОНКУРЕНТНОЙ СТРАТЕГИИ ПОРТОВ | 156 |
| Куприенко С.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПОРТА | 171 |
| Коскина Ю.А. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ТРАМПОВЫХ СУДОВ ДЛЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ | 183 |
| Лебедева Н.А., Гончарук С.М. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ МОЩНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ИЛЬИЧЕВСКОГО МОРСКОГО ТОРГОВОГО ПОРТА | 193 |
| Сударев В.О. РІВНОВАГИ У ЛОГІСТИЧНОМУ ЛАНЦЮЖКУ ЗА РІЗНИХ КРИТЕРІЇВ ОПТИМАЛЬНОСТІ УЧАСНИКІВ | 209 |
| Чернов С.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ | 217 |
| Бурименко Ю.И., Тишейкина А.В. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОГРАММ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА | 225 |

Наукове видання

ВІСНИК
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Збірник наукових праць

Випуск 19

*Українською, російською
та англійською мовами*

Видається з 1998 р.

*Свідоцтво про державну реєстрацію:
Серія КВ № 278
від 25.07.1997 р.*

Комп'ютерне верстання та розробка
оригінал-макету збірника – *Кобзева Н.Ю.*

Підписано до друку з оригінал-макету 16.06.06
Формат 70x108/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 14,7.
Замовлення № 296.

**Адреса редакційної колегії та видавництва ОНМУ:
65029, Одеса, вул. Мечникова, 34, тел. 728-31-14.**