

УДК 629.5.01:656.6

**ОБОСНОВАНИЕ НАДВОДНОГО БОРТА
РЕЙДОВОГО ПЕРЕВАЛОЧНОГО КОМПЛЕКСА
С ТРЮМОМ БЕЗ ЛЮКОВЫХ ЗАКРЫТИЙ
РАСЧЕТНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ КАЧКИ И ЗАЛИВАЕМОСТИ**

Г.В. Егоров, И.Ф. Давыдов, В.И. Тонюк

***Аннотация.** В статье обоснована возможность эксплуатации кранового трюмного судна при открытом грузовом трюме на примере судна проекта CV03.*

На основе расчетов качки с шестью степенями свободы была выполнена оценка заливаемости грузового трюма кранового судна проекта CV03 при эксплуатации в районе, соответствующем классу на двумерном нерегулярном волнении.

Анализ результатов расчетов показал, что заливание грузового трюма отсутствует, поэтому эксплуатация судна проекта CV03 вполне безопасна при открытом грузовом трюме и максимальной осадке 5,60 м, назначенной в условном предположении о наличии (формальном) люковых крышек, при высоте волны 3 %-й обеспеченности до 5,10 м.

***Ключевые слова:** крановое судно, трюм, хранение грузов, рейдовая перевалка грузов, надводный борт, качка, заливаемость, теория корабля.*

**ОБГРУНТУВАННЯ НАДВОДНОГО БОРТА
РЕЙДОВОГО ПЕРЕВАЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ
З ТРЮМОМ БЕЗ ЛЮКОВИХ ЗАКРИТТІВ
РОЗРАХУНКОВИМ МОДЕЛЮВАННЯМ КАЧКИ ТА ЗАЛИВАНОСТІ**

Г.В. Єгоров, І.Ф. Давидов, В.І. Тонюк

***Анотация.** У статті обґрунтовано можливість експлуатації кранового трюмного судна при відкритому вантажному трюмі на прикладі судна проекту CV03.*

На основі розрахунків хитавиці із шістьма ступенями свободи була виконана оцінка заливаності вантажного трюму кранового судна проекту CV03 при експлуатації в районі, відповідному до класу на двовимірному нерегулярному хвилюванні.

Аналіз результатів розрахунків показав, що заливання вантажного трюму відсутнє, тому експлуатація судна проекту CV03 цілком безпечна при відкритому вантажному трюмі й максимальній осадці 5,60 м, призначеній в умовному припущенні про наявність (формальну) люкових кришок, при висоті хвилі 3 %-ної забезпеченості до 5,10 м.

***Ключові слова:** кранове судно, трюм, зберігання вантажів, рейдова перевалка вантажів, надводний борт, хитавиця, заливаність, теорія корабля.*

© Егоров Г.В., Давыдов И.Ф., Тонюк В.И., 2018

RATIONALE OF THE SUPREME BOARD
RAYDAY TRUCKING COMPLEX
WITH THREE WITHOUT PUSH CLOSES
CALCULATED MODELING OF CARTRIDGE AND GRAVITY

G.V. Egorov, I.F. Davydov, V.I. Tonyuk

Abstract. *In paper possibility of operation of crane hold vessel with open cargo hold on the example of CV03 project vessel is grounded.*

On the basis of calculations of motion with six degrees of freedom the estimation of wettability of cargo hold of crane vessel of CV03 project at operation in class corresponding area on two-dimensional irregular waves has been executed.

The analysis of results of calculations has shown that there is no flooding of cargo hold therefore operation of CV03 project vessel is quite safe with open cargo hold and maximal draught is of 5,60 m assigned in conditional statement of availability (formal) of hatch covers with wave height is up to 5,10 m of 3% probability.

Keywords: *crane vessel, hold, storage of cargo, road transshipment, freeboard, motion, wettability, ship theory.*

Постановка проблеми. Еще в начале XXI века казалось, что суда смешанного река-море плавания и ограниченных морских районов плавания советских типов «бессмертны». Действительно, благодаря своим выгодным уникальным главным характеристикам – «партионная» грузоподъемность в 5000 / 3000 / 2000 тонн при малых осадках и при относительно малой стоимости, эти суда были вне конкуренции по сравнению с другими типами судов мирового флота. Именно защищенность рыночной «ниши» позволила им достаточно длительное время быть экономически интересными для отечественных владельцев, в том числе и для относительно небольших частных компаний.

Как уже отмечалось [1], интерес к применению судов смешанного плавания (ССП) для работы с речных терминалов на рейдовые перевалочные комплексы (РПК) для доставки массовых грузов во многом определяется недостатком количества глубоководных портов и проблемой доставки груза к этим глубоководным портам по железной дороге и автотранспортом.

Конечная цель – погрузка (выгрузка) СПП на морское судно с дедевейтом от 25 до 300 тыс. тонн в условиях рейда (в режиме STS – ship to Ship – борт о борт).

Однако для успешной реализации такой схемы требуется собственно сам РПК в виде для нефтеналивных грузов танкера-накопителя или для сухих грузов балкера-накопителя со своим (своими) кранами или плавкраном у борта.

При решении задачи по перевалке сухогрузов с достаточно серьезными требованиями к суточной производительности РПК (12-20 тыс.

тонн в сутки и выше), уже сложно применять обычные балкеры со своими кранами.

Поэтому выходом является создание комбинированных РПК в виде специализированного несамоходного судна с мощным высоко производительным краном и зоной для размещения груза. Зона для размещения груза необходима для накопления груза во время перерыва между «большими» судами (фидерные ССП плавания подходят чаще).

Безусловно, в плавучем кране с палубной площадкой для складирования груза нет ничего нового. Они в таких ситуациях, как правило, и применяются.

Но объем груза, который может быть размещен на такой площадке, крайне незначителен. Более эффективным решением является применение трюмного размещения груза. Трюм в свою очередь формально требует наличия «конвенционных» (или, как минимум, водонепроницаемых) люковых закрытий, что дорого и для перевалочного несамоходного комплекса на рейде явно избыточно. Поэтому следует попытаться избежать таких затрат, выполнив закрытия трюма как средство защиты груза от непогоды.

Однако, в свою очередь наличие фактически «открытого» трюма с заметным объемом, который уже сложно трактовать как рецесс, приводит к известным проблемам в назначении надводного борта.

Целью статьи является обоснование надводного борта кранового несамоходного судна с грузовым трюмом без водонепроницаемых люковых закрытий (суда «открытого» типа) на основе расчетного моделирования параметров качки и заливаемости РПК (на примере проекта CV03 Морского Инженерного Бюро).

Изложение основного материала. Исследуемое РПК проекта CV03 представляет собой несамоходную морскую баржу ограниченного района плавания, с формой корпуса в виде прямоугольного понтона с небольшими подрезами в носу и корме, с надстройками бака и юта, с транцевыми носовой и кормовой оконечностями, с грузовым трюмом в средней части, с кормовым расположением жилой надстройки и машинного отделения (см. схему общего расположения на рисунке 1).

Основная идея исследования состоит в том, что такому судну назначается надводный борт в предположении о наличии люковых крышек.

Это решение может быть принято только в том случае, если в условиях реального волнения на рейде трюм РПК не будет заливаться забортной водой (или, по крайней мере, масса забортной воды, попадающей в этот трюм, будет незначительной, и может быть безопасно удалена средствами осушения).

Для обоснования был выполнен широкий комплекс исследований, в том числе расчетное моделирование параметров качки и заливаемости РПК, о котором и идет речь в настоящей публикации.

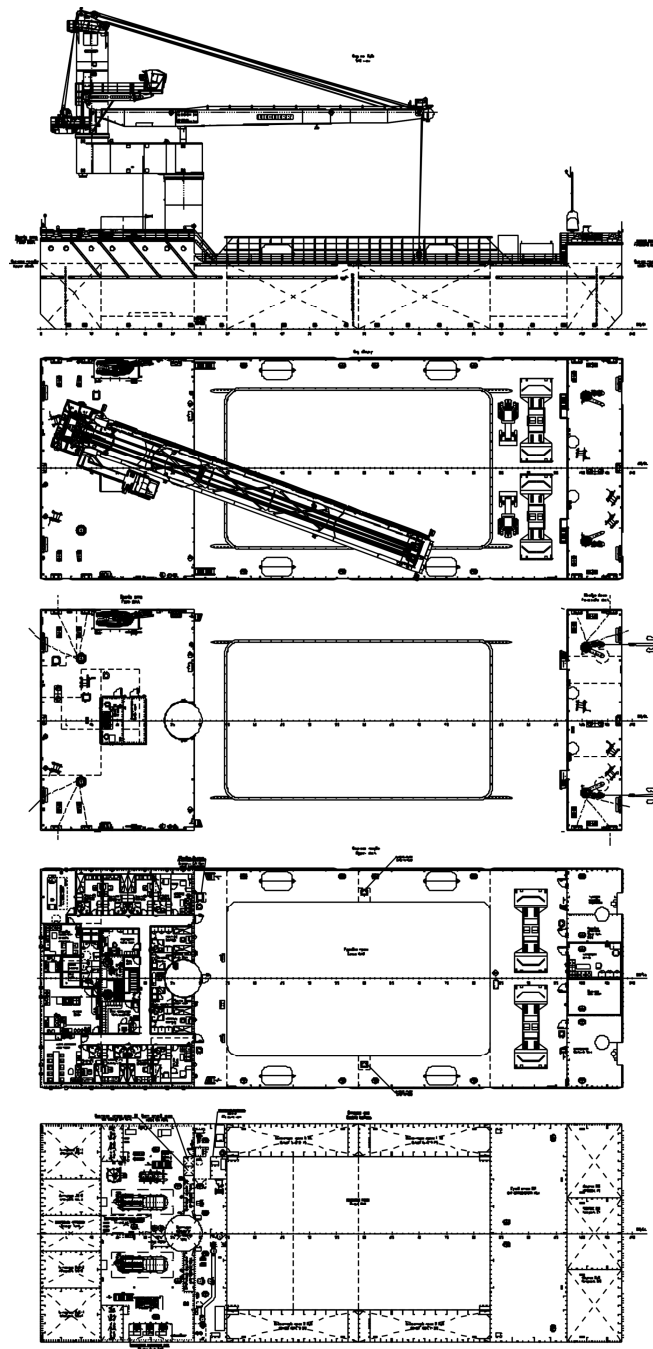


Рис. 1. Общее расположение рейдового перевалочного комплекса

Расчетная оценка заливаемости производилась для судна в полном грузу с учетом шести видов качки на волнении на основе рекомендаций

Циркуляра 608 Комитета по Безопасности на Море MSC/Circular.608/Rev.1 «Interim Guidelines for Open-top Containerships», так как сама задача доказательства безопасности эксплуатации судна без люковых закрытий в море не зависит от типа судна, а вот предполагаемый район эксплуатации с его режимами волнения влияет значительно.

В процессе оценок были выполнены расчеты присоединенных масс и коэффициентов демпфирования; рассчитаны амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики всех шести видов качки, относительных вертикальных перемещений и скоростей (относительно взволнованной поверхности) характерных точек корпуса судна при движении на регулярном волнении с различными курсовыми углами по отношению к набегающему волнению; определены статистические характеристики всех видов качки и кинематических характеристик в условиях нерегулярного двухмерного волнения.

На основе расчетов параметров качки без хода на регулярном и нерегулярном волнении с различными курсовыми углами производились оценки опасности заливаемости грузового трюма.

Была показана возможность безопасной эксплуатации судна на нерегулярном волнении в пределах района плавания с высотой волн трехпроцентной обеспеченности до 5 м включительно (6 баллов по шкале ГУГМС).

Параметры качки на регулярном и нерегулярном волнении определены с помощью известной системы программ «КАЧКА» [2].

В комплексе программ «КАЧКА» использованы две системы координат, связанных с судном.

В программах расчета гидродинамических коэффициентов и передаточных функций качки и волновых нагрузок принята правая система: ось Z проходит через центр тяжести судна и направлена вверх, ось X лежит в ДП и направлена в корму, ось Y – на правый борт, начало координат расположено в плоскости ватерлинии равновесия судна на тихой воде.

Эта система координат приведена на рисунке 2. Символы η_j ($j = 1, \dots, 6$) обозначают положительные направления продольно-горизонтальной, поперечно-горизонтальной, вертикальной, бортовой, килевой качки и рыскания соответственно.

Положительное направление отсчета курсовых углов в расчетах качки показано на рис. 3. Встречному волнению соответствует $\mu = 180^\circ$.

Фазовые углы (запаздывание) определяются относительно максимума волнового склона в начале координат системы XYZ .

В расчетах кинематических характеристик качки на нерегулярном волнении для удобства пользователя принята обычная система координат: начало в точке пересечения ОП, ДП и миделя, ось X направлена в нос, ось Y – на правый борт, ось Z – вертикально вверх.

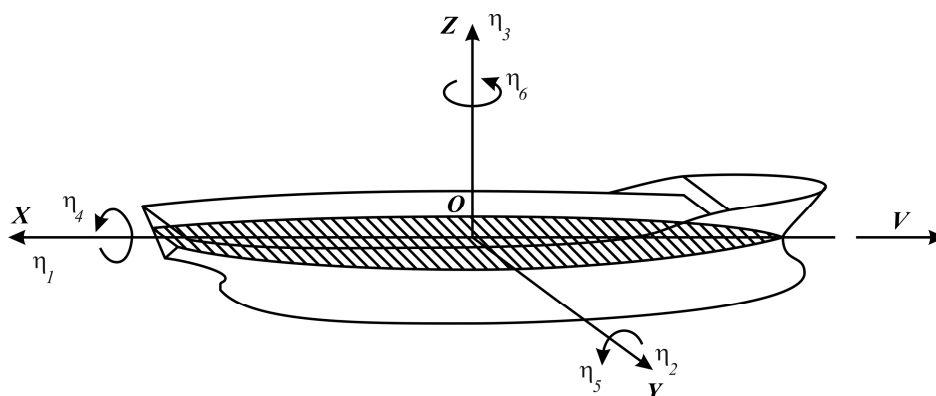


Рис. 2. Система координат в расчетах качки

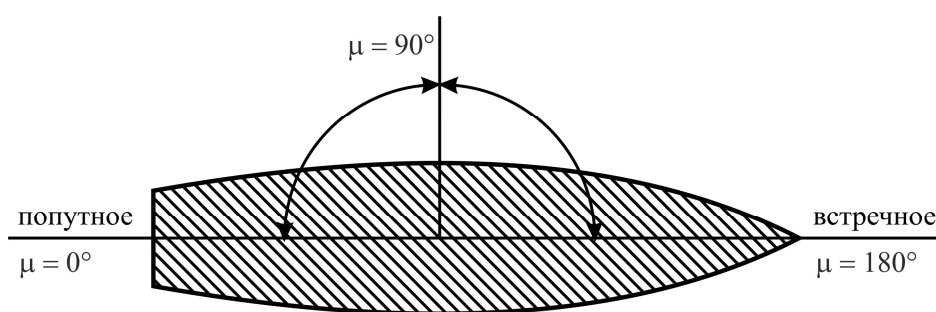


Рис. 3. Отсчет курсовых углов в расчетах качки

Учитывая высокое значение отношения $B/d = 4,29$ для судна в полном грузу при осадке 5,60 м, расчет гидродинамических характеристик качки (ГДХ) производился по методу Франка, что позволило в полной мере учесть все особенности формы корпуса и соотношения главных размеров.

Необходимая точность определения ГДХ обеспечивалась специальным выбором координат точек контуров поперечных сечений.

Результаты расчетов ГДХ, полученные с помощью модуля PROG1B, входящего в комплекс программ «КАЧКА» представлены на рисунках 4 и 5.

Все расчеты производились для судна в грузу без хода и девяти значений курсового угла $\mu - 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ$ и 180° (0° – соответствует попутному волнению, 180° – встречному).

Расчетные крутизны для каждого курсового угла принимались равными $1/90$.

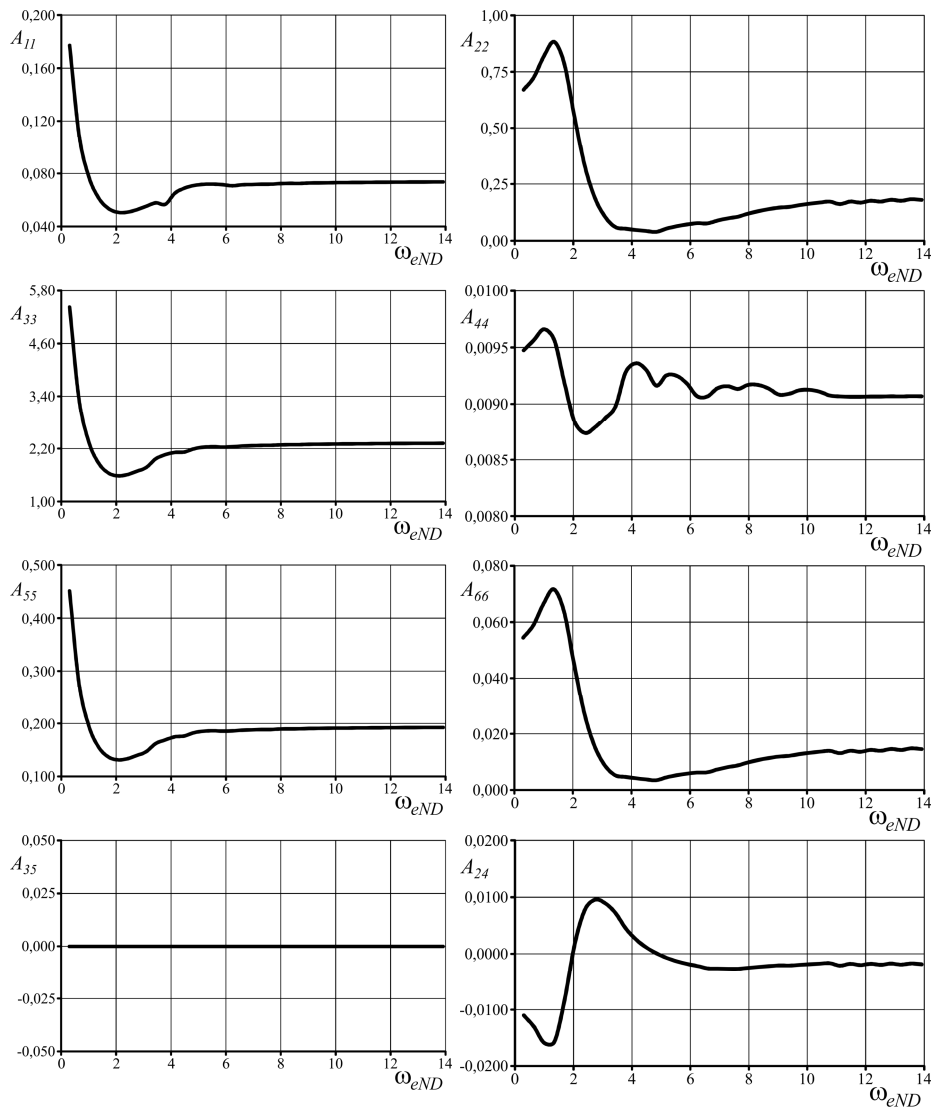
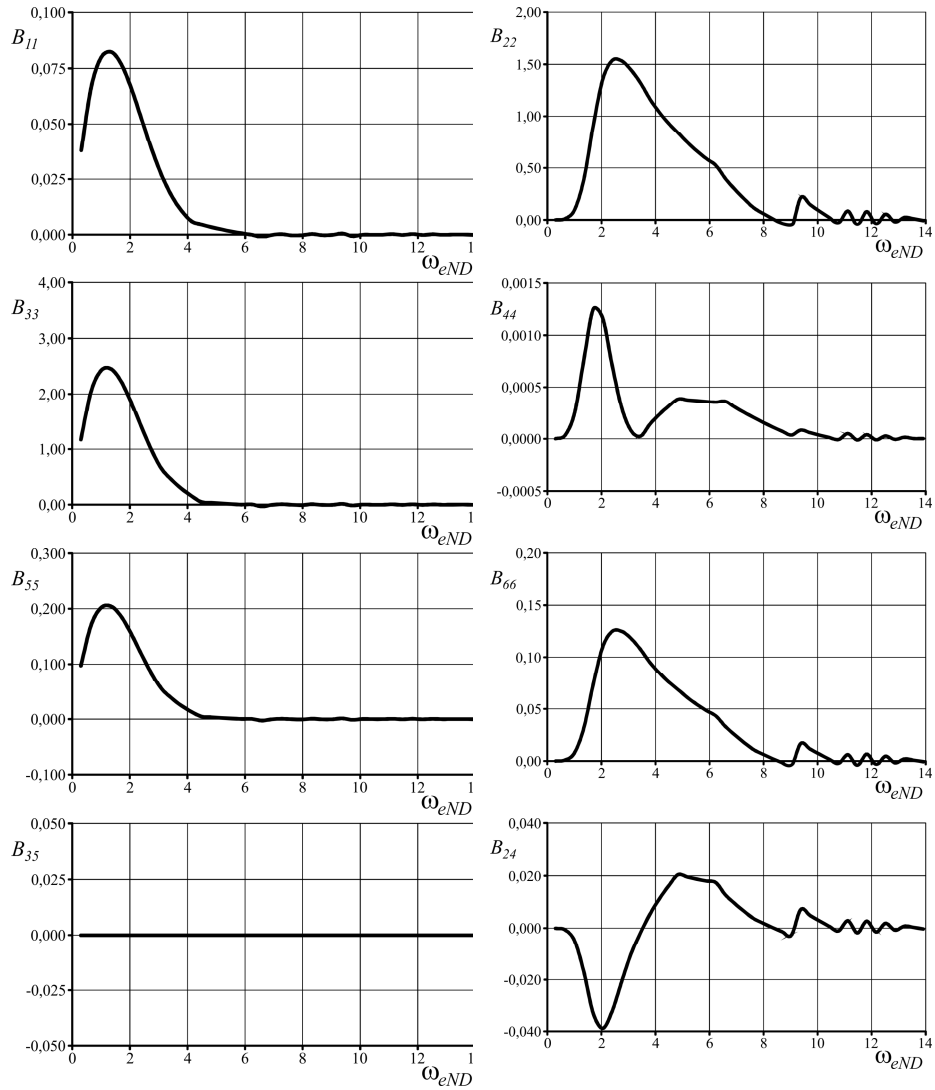


Рис. 4. Обобщенные присоединенные массы $A_{j,k}$ в зависимости от безразмерной кажущейся частоты $\omega_{eND} = \omega_e \sqrt{L/g}$

Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики всех шести видов качки для состояния судна в грузу (при осадке 5,60 м) для различных курсовых углов представлены на рисунках 6-9.



*Рис. 5. Обобщенные коэффициенты $B_{j,k}$ демпфирования
в зависимости от безразмерной кажущейся частоты $\omega_{eND} = \omega_e \sqrt{L/g}$*

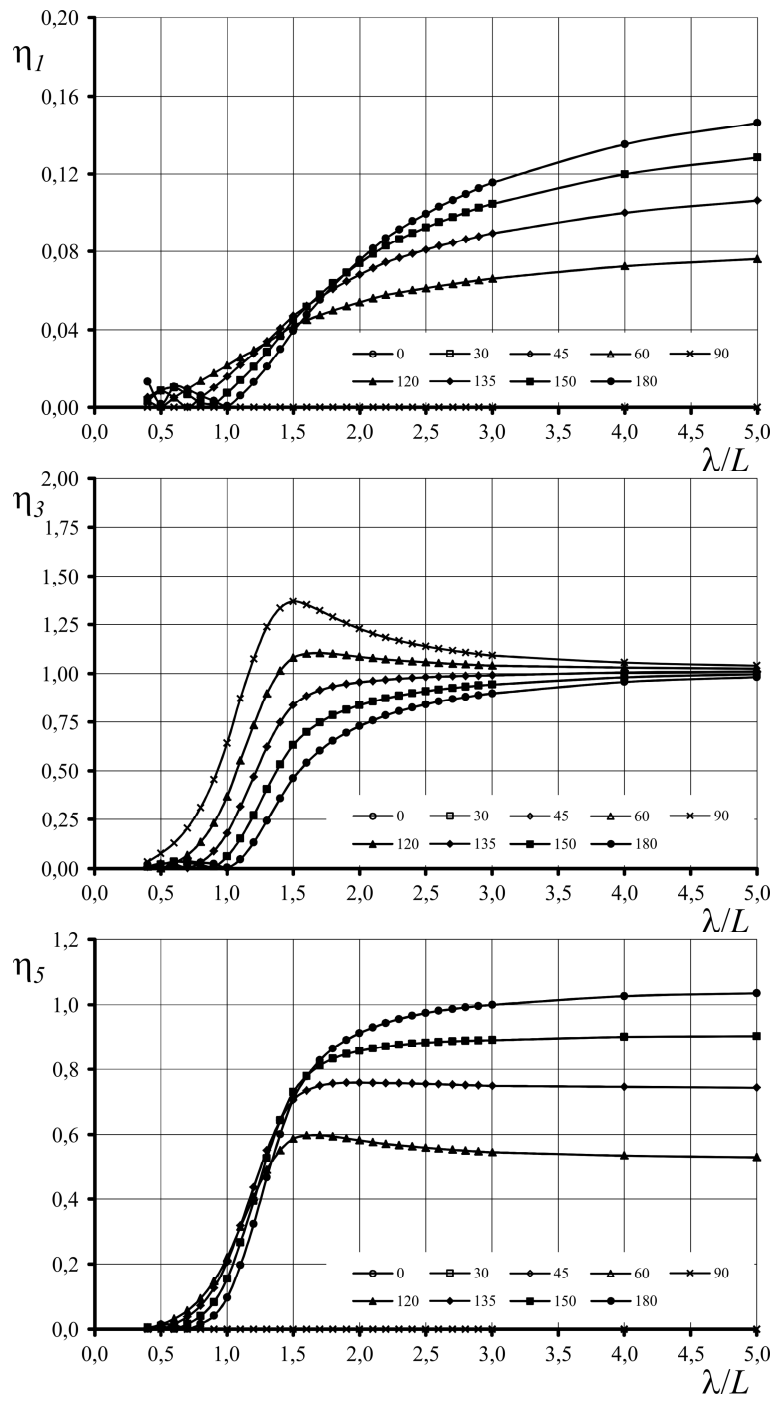


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики продольной качки

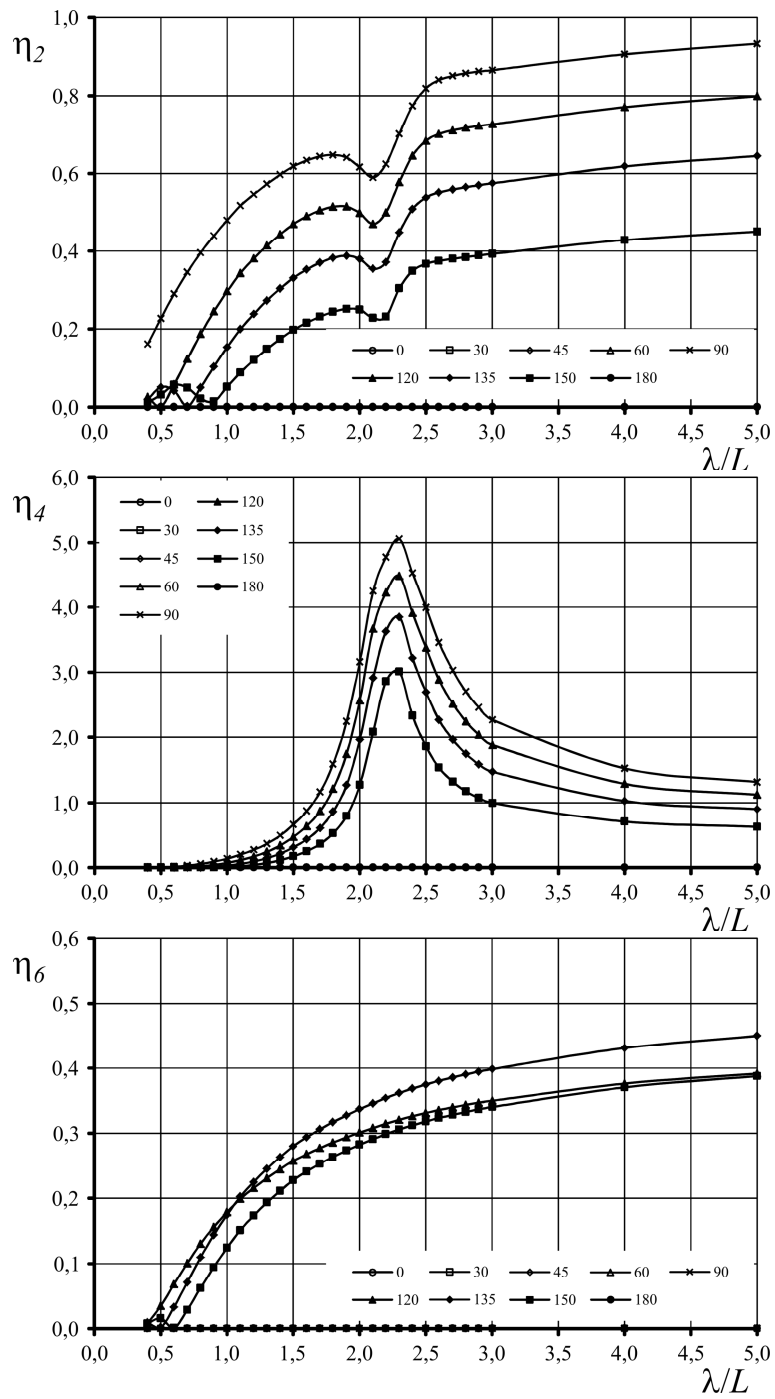


Рис. 7. Амплитудно-частотные характеристики поперечной качки

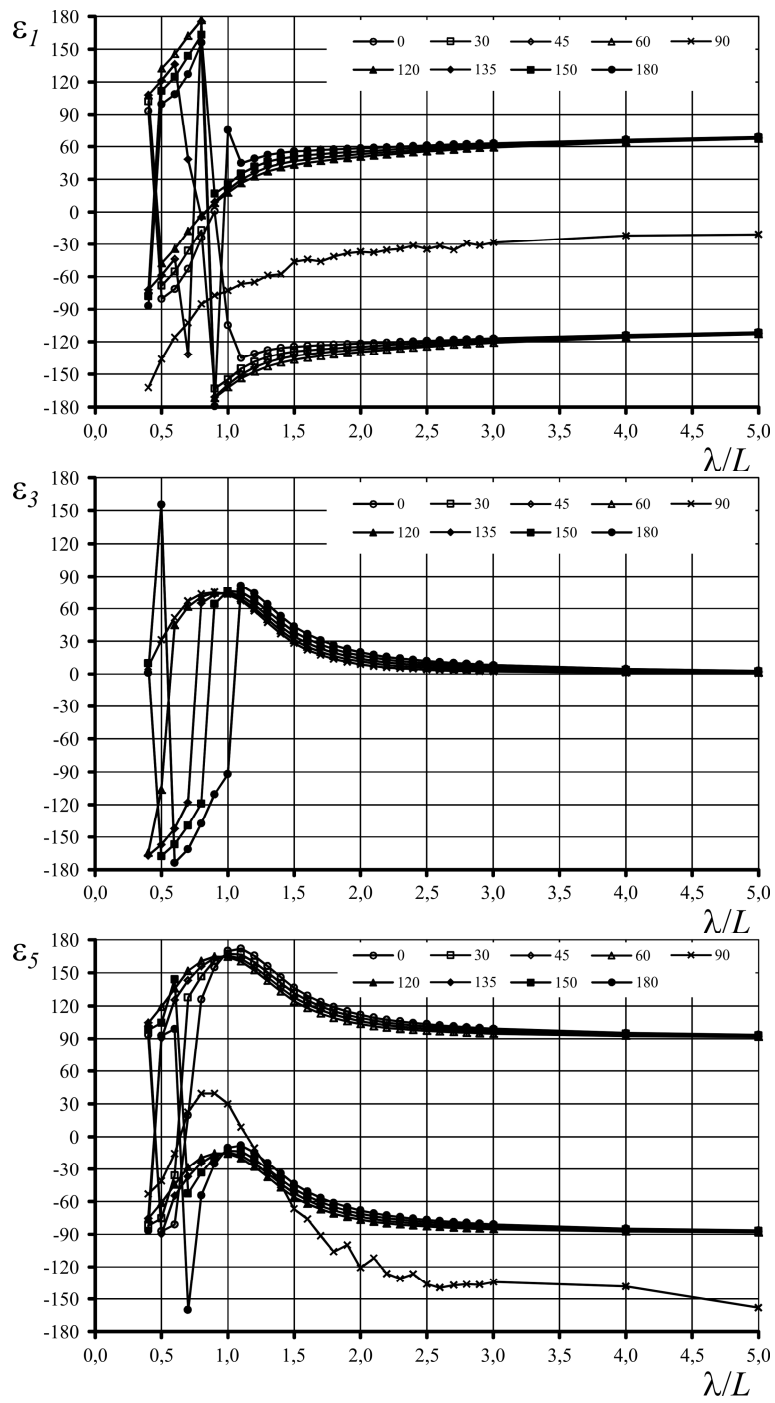


Рис. 8. Фазо-частотные характеристики продольной качки

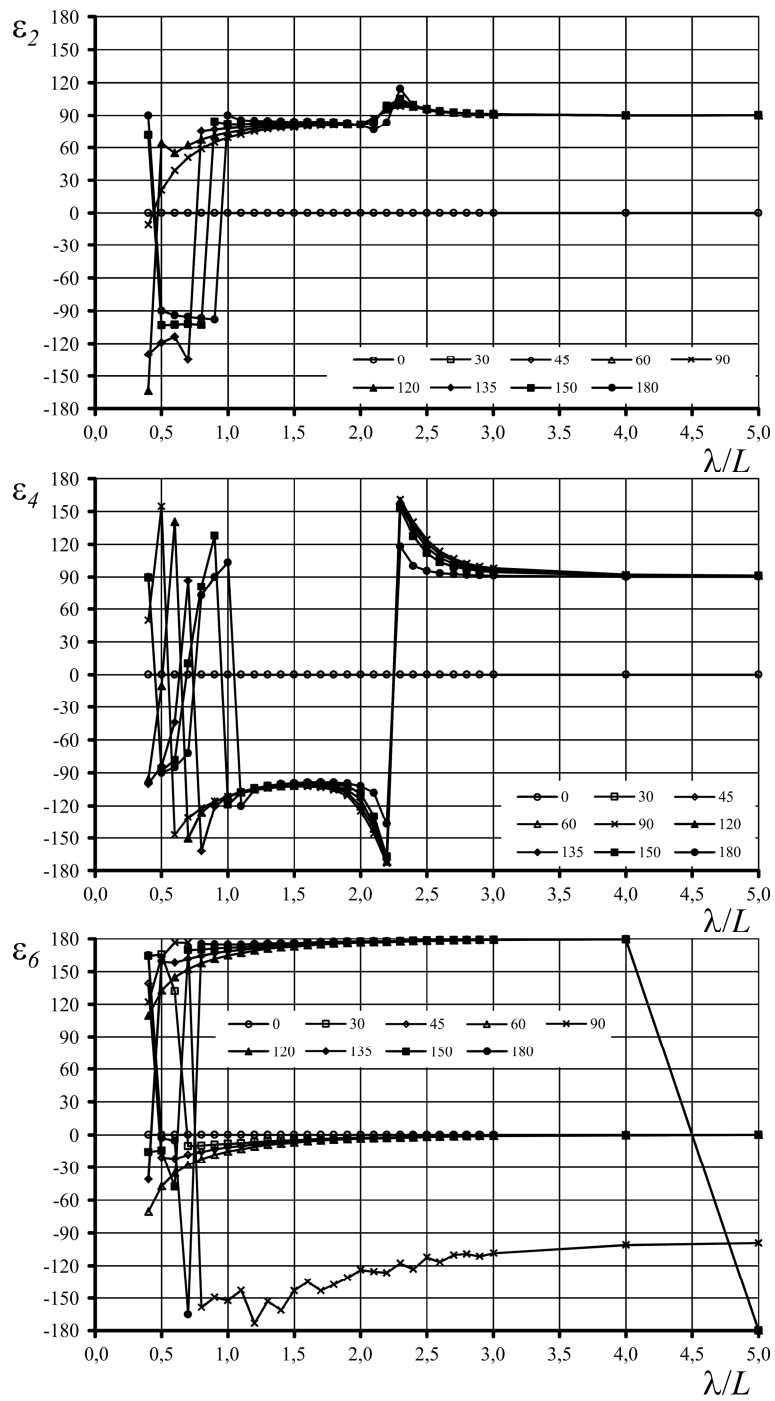


Рис. 9. Фазо-частотные характеристики поперечной качки

Результаты расчетов стандартов относительных перемещений характерных точек кромок комингса грузового трюма на нерегулярном двумерном волнении для условной (удобной для графического представления) высотой волны трехпроцентной обеспеченности $h_{3\%} = 10$ м и различных значений среднего периода волнения представлены на рисунках 10, 11.

В качестве характеристики заливаемости была принята максимальная вероятная амплитуда относительных (относительно волнового профиля) вертикальных перемещений верхней кромки комингса грузового люка.

В рамках линейной теории качки максимальная вероятная амплитуда относительных вертикальных перемещений может быть определена по формуле [3]

$$A_{r\max} = k_M \overline{\sigma}_r h_{3\%},$$

где $\overline{\sigma}_r$ – стандарт относительных вертикальных перемещений верхней кромки комингса при единичной высоте волны $h_{3\%} = 1$ м; $k_M = \sqrt{2 \ln \frac{T}{\bar{\tau}}}$.

Здесь T – время нахождения судна на стационарном волнении;
 $\bar{\tau}$ – средний период волнения.

Величину коэффициента k_M нахождения судна на стационарном режиме волнения в течение 3-х суток. Таким образом, $T = 3 \times 24 \times 3600 = 259200$ с;

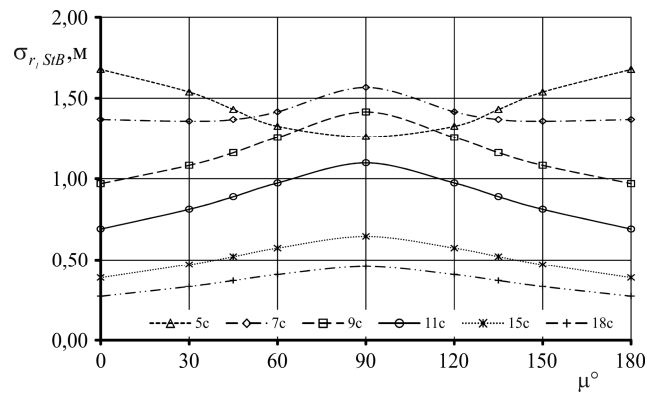
$$k_M = \sqrt{2 \ln \frac{259200}{7}} = 3,243.$$

Допустимая по условиям незаливания наибольшая высота волны трехпроцентной обеспеченности была определена по формуле

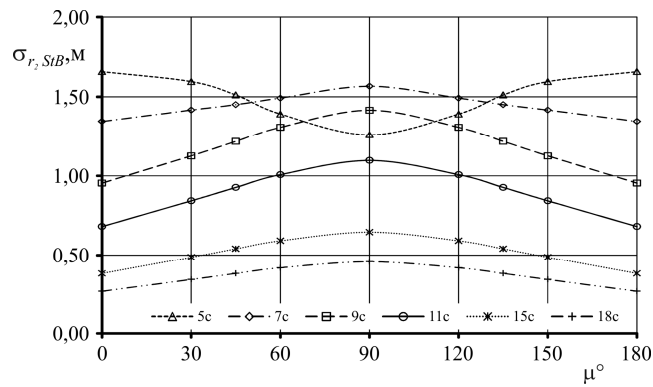
$$h_{3\%} = \frac{F}{k_M \overline{\sigma}_r},$$

где F – отстояние верхней кромки комингса от ватерлинии. При осадке 5,60 м $F = 4,60$ м.

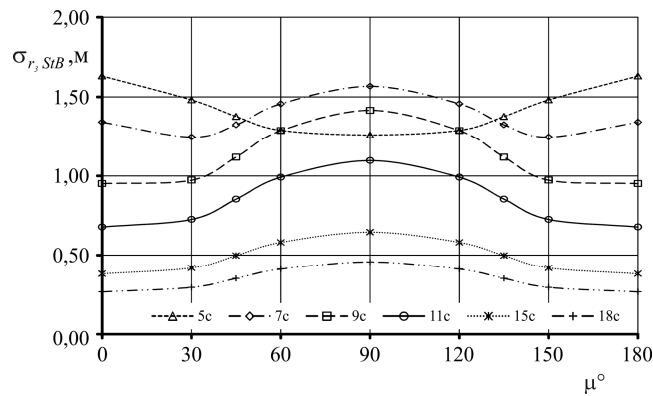
Единичные стандарты относительных вертикальных перемещений комингса по левому борту приведены в таблицах 1-3.



a)

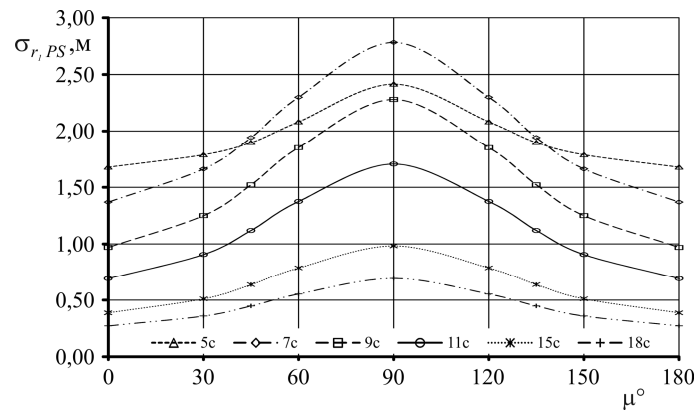


б)

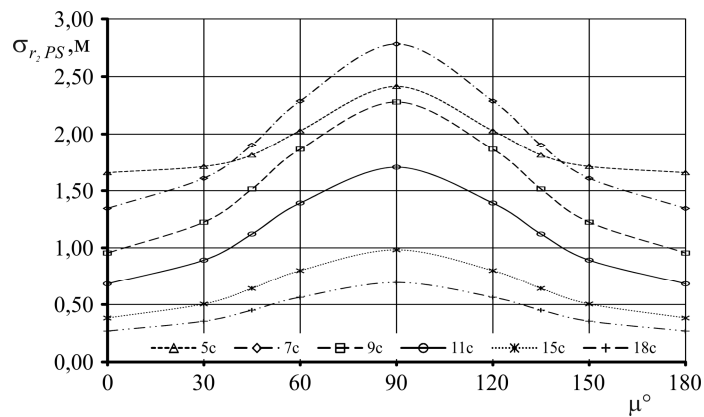


в)

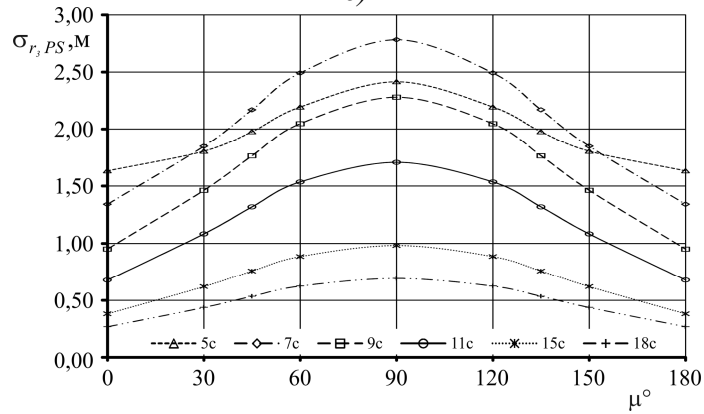
Рис. 10. Стандарты относительных вертикальных перемещений:
а) кормового комингса грузового люка на правом борту;
б) комингса грузового люка в миделевом сечении на правом борту;
в) носового комингса грузового люка на правом борту



a)



б)



в)

Рис. 11. Стандарты относительных вертикальных:
а) кормового комингса грузового люка на левом борту;
б) комингса грузового люка в миделевом сечении на левом борту;
в) носового комингса грузового люка на левом борту

Наибольший единичный стандарт соответствует положению судна лагом к волне и среднему периоду волнения 7 с. Таким образом, расчетная величина единичного стандарта составляет 0,278 м.

Таблица 1

Стандарты относительных вертикальных перемещений кормового комингса грузового люка на левом борту при единичной высоте волны, м

Средний период волнения, с	Курсовой угол, град								
	0	30	45	60	90	120	135	150	180
5	0,168	0,179	0,190	0,208	0,242	0,208	0,190	0,179	0,168
7	0,137	0,166	0,194	0,230	0,278	0,230	0,194	0,166	0,137
9	0,097	0,125	0,152	0,185	0,228	0,185	0,152	0,125	0,097
11	0,069	0,091	0,112	0,137	0,171	0,137	0,112	0,091	0,069
15	0,039	0,051	0,064	0,079	0,098	0,079	0,064	0,051	0,039
18	0,027	0,036	0,045	0,055	0,069	0,055	0,045	0,036	0,027

Таблица 2

Стандарты относительных вертикальных перемещений комингса грузового люка в миделевом сечении на левом борту при единичной высоте волны, м

Средний период волнения, с	Курсовой угол, град								
	0	30	45	60	90	120	135	150	180
5	0,166	0,171	0,181	0,203	0,242	0,203	0,181	0,171	0,166
7	0,134	0,161	0,190	0,229	0,278	0,229	0,190	0,161	0,134
9	0,095	0,122	0,151	0,187	0,228	0,187	0,151	0,122	0,095
11	0,068	0,089	0,112	0,139	0,171	0,139	0,112	0,089	0,068
15	0,038	0,050	0,064	0,080	0,098	0,080	0,064	0,050	0,038
18	0,027	0,035	0,045	0,056	0,069	0,056	0,045	0,035	0,027

Таблиця 3

Стандарты относительных вертикальных перемещений носового комингса грузового люка на левом борту при единичной высоте волны, м

Средний период волнения, с	Курсовой угол, град								
	0	30	45	60	90	120	135	150	180
5	0,163	0,180	0,198	0,219	0,242	0,219	0,198	0,180	0,163
7	0,134	0,185	0,217	0,249	0,278	0,249	0,217	0,185	0,134
9	0,095	0,146	0,176	0,205	0,228	0,205	0,176	0,146	0,095
11	0,068	0,108	0,132	0,154	0,171	0,154	0,132	0,108	0,068
15	0,038	0,062	0,076	0,089	0,098	0,089	0,076	0,062	0,038
18	0,027	0,044	0,053	0,062	0,069	0,062	0,053	0,044	0,027

Допустимая, по условиям незаливания грузового трюма, наибольшая высота волны трехпроцентной обеспеченности составляет

$$h_{3\%} = \frac{F}{k_M \sigma_r} = \frac{4,60}{3,243 \cdot 0,278} = 5,10 \text{ м.}$$

Анализ показателей заливаемости грузового трюма судна при осадке 5,60 м свидетельствует об отсутствии ограничений при эксплуатации при волнении интенсивностью 5 баллов по шкале ГУГМС (высота волнения трехпроцентной обеспеченности 3,5 м).

Заключение. На основе расчетов качки с шестью степенями свободы была выполнена оценка заливаемости грузового трюма кранового судна проекта CV03 при эксплуатации в районе, соответствующем классу на двумерном нерегулярном волнении.

В оценках заливаемости полностью учтены рекомендации Циркуляра 608 Комитета по Безопасности на Море MSC/Circular.608/Rev.1 – Interim Guidelines for Open-top Containerships.

Оценка выполнялась в рамках линейной теории на основе величины стандарта относительных вертикальных перемещений верхней кромки комингса грузового трюма.

Наиболее неблагоприятными, с точки зрения заливаемости, являются условия, соответствующие положению судна лагом к волне при среднем периоде нерегулярного волнения 7 с.

Главный вывод – заливание грузового трюма по результатам расчетов отсутствует, поэтому эксплуатация судна проекта CV03 **вполне безопасна** при открытом грузовом трюме и максимальной осадке 5,60 м, назначенной в условном предположении о наличии (формальном) люковых крышек, при высоте волны 3 %-й обеспеченности до 5,10 м.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров А.Г. Модели эксплуатации составов смешанного река-море плавания // *Морской Вестник*. – 2015. – № 1 (53). – С. 101-107.
2. Guliev J.M., Davidov I.F. *Practical Estimation of Safe Ship Speed in Waves, Proceedings Jubilee 15th Session SMSSH*. – Vol. 2. – Varna. – 1986. – Report № 7.
3. Faltisen O.M. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. – Cambridge University Press, 1990.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2018

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Одеського національного морського університету
А.В. Гришин

доктор технічних наук, професор, професор, завідувач кафедри «Машинознавство» Одеського національного морського університету
А.В. Конопльов