

может уменьшить трудоемкость и объем штифовочных работ при перевозке легкосыпучих грузов.

В качестве практических рекомендаций капитанам при перевозке легкосыпучих навалочных грузов можно предложить следующее: при попадании судна в зону усиленного волнения для обеспечения симметричного осыпания откосов на оба борта следует своевременно производить изменение курса относительно фронта волн с целью выравнивания амплитуд качки на оба борта; избегать такого маневрирования, при котором может быть получен значительный крен в сторону только одного борта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности морской перевозки незерновых навалочных грузов (РТМ 31.0038—78).— В кн.: Сборник правил перевозок и тарифов морского транспорта СССР, вып. 80.— М., ЦРИА «Морфлот», 1979. 56 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов 4.IV. Регистр СССР. Л., Транспорт, 1981, с. 380—382.

УДК 656.614.3.073.22

Е. Б. Карнович

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЙСОВ СО СМЕЩАЮЩИМИСЯ ГРУЗАМИ

Смещение грузов, часто заканчивающееся гибелью судна, свидетельствует о настоятельной необходимости изучения их свойств, проявляющихся в экстремальных условиях. С этой целью регулярно планируются исследования на судах в специальных экспериментальных рейсах.

Определение характера смещения и вызвавших его сопутствующих условий производится специальными приборами и при соответствующей подготовке затруднений не представляет. Наиболее сложно получить амплитуды бортовой качки судна, приводящие к смещению исследуемой части груза. Решение этой задачи зависит от характера загрузки судна, определяющего его динамические качества, и погодных условий. Причем оба эти фактора связаны обратно пропорциональной зависимостью: чем «мягче» (т. е. с меньшей метацентрической высотой и большим периодом бортовой качки) загружено судно, тем в более «жесткие» погодные условия оно должно быть поставлено для выполнения задачи рейса — получения смещения исследуемой части груза, и наоборот.

Опасным является смещение грузов, получающееся при амплитудах качки до 30—35°. Следовательно, в экспериментальных рейсах условия загрузки судна и его динамические характеристики должны обеспечивать получение указанных амплитуд [1], т. е. должно выполняться условие

$$0,08 \leq \sqrt{h_0}/B \leq 0,13,$$

где h_0 — начальная метацентрическая высота, м; B — ширина судна, м.

По условиям безопасности мореплавания масса исследуемой части груза должна выбираться так, чтобы кренящий момент от условного ее смещения не создавал крен более 12° , а диаграмма статической остойчивости отвечала требованиям, изложенным в [2]. Несмещаемость остального груза в предстоящем эксперименте должна обеспечиваться подбором соответствующего вида груза или принятием специальных мер.

Амплитуды качки, определяемые по Правилам Регистра СССР, рассчитываются по методике, основанной на предположении, что судно находится в весьма тяжелых относительно динамической остойчивости условиях: не имеет скорости хода и расположено лагом к двумерным нерегулярным волнам [3]. Для неограниченного района плавания характеристики волнения должны соответствовать средней скорости 10-балльного ветра. Это означает, что на судно действует установившееся нерегулярное волнение, вызываемое ветром средней скорости, дующим в течение достаточно большого промежутка времени.

Как в обычных эксплуатационных условиях, так и в экспериментальных рейсах ставить судно в условия 10-балльного шторма вряд ли целесообразно. Предпочтительнее в условиях экспериментального рейса ввести его в резонанс с нерегулярным волнением, высота которого достаточна для получения необходимых амплитуд качки, приводящих к смещению исследуемой части груза, произвести маневрирование в околорезонансной зоне до получения смещения и вывести судно кратчайшим безопасным курсом из зоны интенсивной качки. Во избежание опасных случайностей маневрирование допускается при средней высоте волн до 7 м, что соответствует скорости ветра до 15,5 м/с [4].

На акватории Мирового океана имеется несколько районов, где в определенные сезоны бывает волнение необходимой высоты [5]. Это северные части Атлантического ($45-60^\circ$ с. ш.) и Тихого (Алеутско-Камчатский район) океанов зимой при прохождении глубоких внетропических циклонов, северная часть Индийского океана ($5-20^\circ$ с. ш.) летом во время действия юго-западного муссона, юго-западная часть северной Атлантики и северо-западная часть Тихого океана летом при прохождении тропических циклонов.

Рассмотрим характеристики поля волнения, вызываемого каждым из этих трех атмосферных явлений.

Внетропический циклон характеризуется вихревым движением двух или трех разнородных масс воздуха и, следовательно, наличием атмосферных фронтов. На поверхности Земли циклон занимает зону до 500 миль в поперечнике с давлением в его центре 98—102,5 кПа и скоростью ветра до 28 м/с. Двигутся циклоны, как правило, с запада на восток, отклоняясь к высоким широтам. Поле волнения в зоне действия циклона вытянуто вдоль направления его движения и имеет максимальную высоту волн в центре. Система волн, расходящихся от центральной части, распростра-

няется на обширные районы океана. Чтобы попасть в районы с достаточной для выполнения маневрирования высотой волн, судно приходится преодолевать значительное расстояние в штормовых условиях.

Муссоны — устойчивые воздушные течения сезонного характера над северной частью Индийского океана. Летом они имеют направление от юго-запада и достигают у поверхности моря скорости 20 м/с, вызывая волны высотой до 10 м в районе к востоку от о. Сокотра. При необходимости выполнения маневрирования судно должно быть направлено в этот район. Достигнув зоны с достаточной высотой волн, судно вводится в резонанс с ними и следует так до получения амплитуд качки, приводящих к смещению исследуемой части груза, после чего ложится курсом на юг для выхода из штормовой зоны.

Тропический циклон — сравнительно небольшой по размерам интенсивный атмосферный вихрь с низким давлением в центре и ветрами ураганной силы. На поверхности океана развиваются ветровые волны высотой 14—16 м. Одновременно с ветром появляются волны, распространяющиеся во всех направлениях от центра тропического циклона. Максимальная высота волн наблюдается в центре циклона. По мере удаления от центра высота волн постепенно убывает. На периферии тропического циклона наблюдается волнение двух направлений: ветровое, вызываемое ветрами, дующими по касательной к изобарам с отклонением к центру циклона, и зыбь, приходящая из его центра.

Для выполнения маневрирования судно может войти на периферию тропического циклона, приняв все необходимые меры для исключения вероятности попадания в штормовую зону с высотой волн более 7 м, ветром более 15,5 м/с и давлением ниже 100 кПа. Регулярным наблюдением за развитием тропического циклона по факсимильным картам погоды и состояния моря необходимо определить направление и скорость движения центра циклона, чтобы исключить вероятность выхода судна на путь его дальнейшего движения. При этом следует иметь в виду, что изменение скорости циклона является первым предвестником изменения направления его движения. В северном полушарии в подавляющем большинстве случаев тропический циклон поворачивает вправо.

Изучение гидрометеобстановки по факсимильным картам погоды и состояния моря является обязательным условием при планировании и выполнении задачи экспериментального рейса. На карте прогноза поля волнения намечается точка с достаточной для выполнения эксперимента высотой волны (но не более 7 м). Проверяется готовность судна ко входу в штормовую зону и производится оповещение экипажа. Судно следует в выбранную точку, ведя регулярное наблюдение за гидрометеобстановкой.

При встрече с волнами высотой 3,5—4,0 м производится определение элементов волнения раздельно ветрового и зыби (направление бега, длина, высота и период), после чего судно ложится на курс, близкий к резонансному. Курс определяется по универсаль-

ной диаграмме качки или кажущемуся периоду волн и направлен в зону повышения их высоты. С этого момента судно считается приступившим к экспериментальному маневрированию. Приводится в действие сигнальная и регистрирующая научная аппаратура, устанавливается постоянное наблюдение за гидрометеозементами с целью не допустить попадания судна в зону с высотой волн более 7 м. Результаты наблюдений регистрируются. В зоне 5—6-м волнения подбором курса и скорости судно вводится в резонанс с преобладающей системой волн и следует в этом режиме до срабатывания сигнализации о смещении исследуемой части груза или достижении судном амплитуд качки, рассчитанных по Правилам Регистра СССР для фактической его загрузки. Чем ближе к резонансу приведено судно, тем скорее удастся получить необходимую амплитуду качки в достаточном удалении от тяжелой штормовой зоны. Контроль за амплитудой качки должен осуществляться по кренометру, устанавливаемому вблизи центра тяжести судна. Если для контроля используется кренометр в ходовой рубке, нужно иметь в виду, что в результате сложения периодов собственных колебаний судна и маятника кренометра показания последнего будут значительно завышать действительные углы крена (в зависимости от возвышения кренометра над центром тяжести судна).

Используя способ пересчета показаний кренометра, приведенный в работе [6], можно определить действительный угол крена θ (в град) по формуле:

$$\theta = \frac{\theta_1}{4r/T_0^2 + 1},$$

где θ_1 — показания кренометра, град; r — расстояние по вертикали между центром тяжести судна и точкой подвеса кренометра, м; T_0 — период бортовой качки судна, с.

После срабатывания сигнализации о смещении исследуемой части груза, достижении расчетной амплитуды качки или выходе наблюдаемых гидрометеоусловий за допускаемые пределы судно немедленно выводится из резонанса на заранее намеченный курс выхода из штормовой зоны [7].

При первой возможности необходимо произвести визуальный осмотр состояния исследуемой части груза, чтобы убедиться, что цель экспериментального рейса достигнута.

Предлагаемая методика была неоднократно использована на судах, выполнявших экспериментальные рейсы. Так, в 1976 г. на т/х «Капитан Храмцов» было выполнено маневрирование к западу от пролива Ла-Манш в зоне действия мощного внетропического циклона и получено смещение исследовавшейся части груза хлористого калия. В 1978 г. в рейсах на п/х «В. Головин» и т/х «Кустанай» была подтверждена несмещаемость металлолома. В 1982 г. на т/х «Сванетия» выполнялся экспериментальный рейс, задача которого состояла в получении смещения чугуна в чушках, погруженного в верхнем твиндеке № 1 грядями на поперечных полосах из различного вида нескользящих материалов. Все остальные

трюмы и твиндеки полностью были загружены удобрениями в мешках. Характеристики остойчивости судна были следующими:

$$h_0 = 1,08 \text{ м}; \theta_{\max} = 43^\circ; l_{\max} = 0,84 \text{ м}; \theta_{\text{зак}} = 70^\circ; T = 14 \text{ с}; \theta_r = 25^\circ.$$

В Индийском океане в зоне действия юго-западного муссона судно пересекло поле максимального 4-м волнения с периодом волн 8 с. Ввести судно в резонанс с короткой волной и получить необходимые амплитуды качки не удалось.

В Южно-Китайском море судно с характеристиками остойчивости

$$h_0 = 1,76 \text{ м}, T = 12 \text{ с}, \theta_r = 28^\circ,$$

на переходе с половиной груза во второй порт выгрузки было выведено в левую тыловую четверть тропического циклона № 8206. Маневрирование производилось при волнах высотой 5 м и периодом 9 с. Максимальная амплитуда бортовой качки по судовому кренометру составила 15° . Смещения получить не удалось.

В Филиппинском море к северо-востоку от о. Лусон судно с 1004 т груза в первом отсеке и характеристиками

$$h_0 = 1,87 \text{ м}, T = 12 \text{ с}, \theta_r = 28^\circ$$

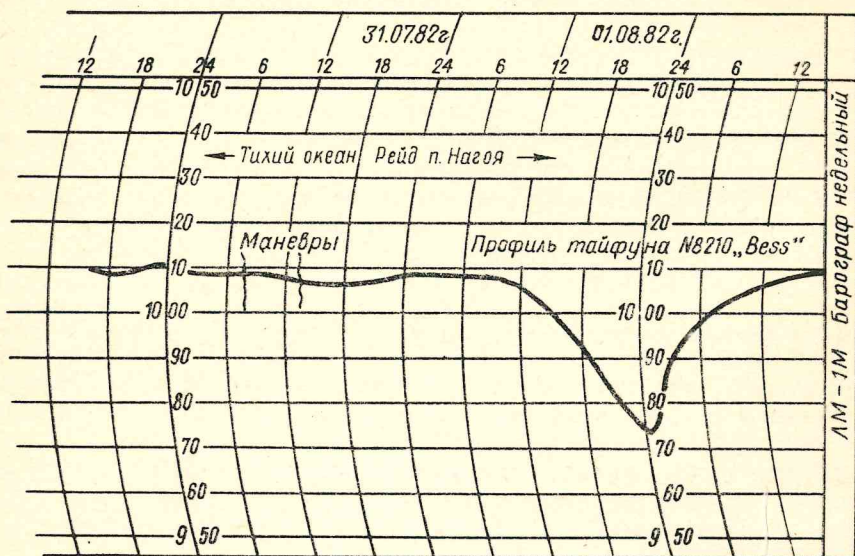
было направлено в правую тыловую четверть циклона № 8208 с волнением 6 м и периодом 8,5 с. Циклон, не достигнув достаточной степени развития, вышел на Филиппинские острова. Максимальный зарегистрированный по судовому кренометру угол крена составил 27° . Смещения чугуна не произошло.

После погрузки 7000 т стального листа, уложенного и закрепленного в соответствии со специальными требованиями к перевозке металлопродукции (РД 31.11.21.23-82) судно имело следующие характеристики:

$$h_0 = 3,03 \text{ м}, T = 8,5 \text{ с}, \theta_r = 25,8^\circ.$$

На переходе во второй порт погрузки представилась возможность выполнить маневрирование в окрестностях тропического циклона № 8210 «Bess». На судне наблюдение за циклоном с момента его зарождения велось по факсимильным картам погоды и состояния моря. Синоптическая ситуация развивалась следующим образом. Оставаясь малоподвижным в районе о. Гуам, к 27 июля циклон углубился (до 95 кПа) и двинулся к северо-западу, развив скорость 12 уз. Сохраняя направление и скорость движения, продолжая углубляться, циклон достиг силы тайфуна. К концу суток 29 июля в центре тайфуна давление было 91 кПа, ветер — 62 м/с, высота волн — до 13 м. Циклон начал медленно заполняться. По принятой карте прогноза волнения на 31 июля зона 6-м волнения располагалась в 130 милях к югу от пролива Ираго. Судно было направлено в эту зону. С 8 ч 20 мин судового времени 31 июля при высоте волн 4 м судно начало маневрирование в окорезонансной зоне, продолжая следовать в сторону увеличения

волн. К 11 ч высота волн, приходивших с юго-востока возросла до 5 м. Судно постепенно было приведено в резонанс с ними (кажущийся период волн равнялся 8,5 с) и следовало в этом режиме уже более 1 ч, когда в 12 ч 13 мин, войдя в резонанс с подошедшим пакетом волн, накренилось до 29° правого борта по судовому кренометру. Последовал удар волны в носовой части и одновременно сработала сигнализация о произошедшем смещении исследуемой части груза. Заметного крена судно не получило и легло на курс в порт назначения. Синоптическая ситуация в этот момент характеризовалась следующими параметрами: атмосферное



Барограмма периода маневрирования судна с профилем тайфуна «Bess»

давление — 755 мм рт. ст. (100,7 кПа), ветер — северо-восточный 8,8 м/с, волнение моря — 3 балла, зыбь от юго-востока 5—6 м, период волн зыби — 10 с. Судно следовало курсом 180°, при котором кажущийся период волн зыби был равен 8,5 с — периоду собственных колебаний судна, т. е. оно находилось в режиме резонанса.

Через сутки после прихода на рейд порта Нагоя (Япония) над судном прошла центральная часть тайфуна. Были зарегистрированы максимальная скорость ветра 25 м/с и минимальное атмосферное давление 729,5 мм рт. ст. (97,26 кПа) (см. рисунок).

Таким образом, все попытки получить необходимые амплитуды качки в условиях «мягкой» загрузки и недостаточно развитого волнения оказались безуспешными. Смещение исследуемой части груза удалось получить только при загрузке с высокой остойчивостью в условиях развитого волнения на периферии мощного тайфуна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов. Ч.IV./Регистр СССР. Л., Транспорт, 1981. 960 с.
2. Правила безопасности морской перевозки незерновых навалочных грузов (РТМ 31.0038-78). М., ЦРИА «Морфлот», 1979, вып. 80. 56 с.
3. Луговский В. В. Теоретические основы нормирования остойчивости морских судов. Л., Судостроение, 1971. 247 с.
4. Васильев К. П. Что должен знать судоводитель о картах погоды и состоянии моря. Л., Гидрометеониздат, 1980. 231 с.
5. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные/Регистр СССР. Л., Транспорт, 1974. 360 с.
6. Козырь Л. А., Аксютин Л. Р. Управление судами в шторм. М., Транспорт, 1973. 110 с.
7. Рекомендации по обеспечению безопасности плавания судов в осенне-зимний период и в штормовых условиях (РОБПС-77). М., Рекламинформбюро ММФ, 1977. 60 с.

УДК 656.614.3.073.444

М. Л. Никишина, Г. К. Кононова, Е. К. Пантелева

ПРИМЕНЕНИЕ КВАЛИМЕТРИИ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА МОРСКОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ

Процесс перевозки грузов на морских судах является сложной организационной системой, которая характеризуется различными параметрами, влияющими на безопасную и сохранную перевозку. Оптимизировать этот процесс сложно из-за наличия случайных факторов. Цель выбора оптимального варианта перевозки данного груза заключается в том, чтобы изыскать резервы для механизации, увеличения прибыли, сохранения качества перевозимого груза. Для этого пользуются комплексными показателями по методу квалиметрии [1], [2], что позволяет количественно сопоставить условия перевозки данного груза и выбрать из них оптимальный вариант.

При использовании квалиметрического метода комплексная оценка каждого варианта определяется с учетом численных оценок свойств качества и важности этих свойств для варианта в целом. Тогда в общем виде комплексная оценка качества

$$K_0 = f(K_j; M_j), \quad (1)$$

где K_j — относительная оценка j -го свойства; M_j — весомость j -го свойства.

В общем случае относительная оценка является функцией только двух абсолютных показателей на каждом уровне:

$$K_{ij} = \varphi(P_{ij}; P_{ij}^{\text{баз}}),$$

где i — рассматриваемый вариант перевозки груза; P_{ij} — абсолютный показатель (оценка) j -го свойства, измеренного на i -м уровне;