

УДК 656.614.3.073:629.546.2

**BULK CARRIER'S CARGO OPERATIONS AUTOMATIC CONTROL SYSTEM****СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ БАЛКЕРА****E. N. Klymenko, captain****Е.Н. Клименко, к.д.п.***Odessa National Maritime Academy, Ukraine**Одесская Национальная Морская Академия, Украина***ABSTRACT**

It is many accidents of bulk carriers during transportation of bulk cargo in present time.

These accidents happened not only because of sea conditions, but because of "Human factor". A lot of accidents occurred because of loss of control under mass of cargo, which loaded in each cargo hold of the vessel. Absence of that kind information at operator desk is lead to overload certain cargo holds, what can cause violation of local and general strength of vessels hull and reduce seaworthiness of the vessel.

Bulk carrier loading process automatic control system proposed for reducing of this kind of accidents.

**Key words:** bulk cargo, loading procedures and technologies, safety of navigation.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами**

С увеличением дедвейта балкерных судов увеличивается необходимость более тщательного контроля нагрузок на корпус судна. Для судов дедвейтом от 10 000 до 80 000 т необходимы специальные грузовые программы, учитывающие особенности корпуса судна. Возникает необходимость контролировать состояние судна во время проведения грузовых работ, а для судов дедвейтом более 80 000 т контроль состояния судна во время грузовых работ является обязательным.

Рост транспортного процесса морских перевозок различных видов грузов, в том числе навалочных и насыпных, привели к возрастанию роли «человеческого фактора» в судовых эргатических системах. Сокращение численности экипажей судов, приводит к накоплению усталости, рассеянному вниманию судовых операторов в процессе интенсивности выполнения грузовых операций. Значительная доля аварий балкеров возникает как следствие потери контроля массы груза, который принимается в каждое грузовое помещение судна. Отсутствие у оператора такой информации приводит к перегрузке отдельных трюмов, что, в свою очередь, может быть причиной нарушения местной и продольной прочности корпуса и ухудшения

мореходных качеств судна. Об этом свидетельствует статистика аварийности флота, в том числе балкерного.

Одним из эффективных методов решение данной проблемы является создание системы, которая позволяет автоматизировать контроль процесса проведения грузовых операций балкера.

### **Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы**

В работах Цымбала Н.Н. и Васькова Ю.Ю. [1, 2] предложены математические модели оптимизации процессов загрузки балкеров и выбора оптимального варианта проведения грузовых операций на таких судах с целью обеспечения их мореходной безопасности.

Технологические приемы обеспечения сохранной перевозки цемента насыпью рассмотрены в работе [3]. Использование лазерных дальномеров для определения уровня поверхности штабеля навалочного груза в трюме судна описано в работе [4]. Аппроксимация поверхности навалочного груза кусочно-линейной функцией и математическая модель, которая описывает конфигурацию поверхности штабеля насыпного груза в трюме балкера, которая образуется в процессе выполнения погрузочных операций и использование для этой цели триангуляцию Делоне изложены в работах [5, 6]. Квалификация судоводителя определяется суммой навыков в выполнении различных элементов судоводительской работы, в том числе проведении грузовых операций. Для дальнейшего снижения расходов на перевозку навалочных и насыпных грузов, повышения продуктивности и рентабельности перевозок необходима разработка и внедрение новых технологичных методов.

### **Формулировка целей статьи (постановка задачи)**

Целью настоящей статьи является описание системы автоматического контроля процесса загрузки балкеров и построение ее функциональной блок-схемы. Для установления оптимального соотношения между провозной способностью судна и суммарной массой погруженного груза автор предлагает использовать разработанный метод непрерывного контроля выполнения грузовых операций с навалочными грузами, обеспечения прочности корпуса судна и его безопасного мореплавания.

### **Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов**

Весь процесс проведения грузовых работ разбивается на временные отрезки (шаги) и контролируется состояние судна на конце каждого шага. Чем больше шагов, тем тщательнее выполняется контроль.

В идеале, если увеличить количество шагов до бесконечности, а расстояние между точками контроля уменьшить до 0, то будет убрана дискретность с функции контроля. В результате получим динамический контроль состояния судна при выполнении грузовых операций в реальном времени.

Но на балкерах программ постоянного динамического контроля процесса погрузки и состояния корпуса судна на данный момент времени не существует. Для создания такого рода программ необходимо обеспечить выполнение еще одного условия, а именно, непосредственное определение массы груза в каждом трюме и координат его центра тяжести (ЦТ).

Существующие судовые грузовые программы не позволяют вести постоянный контроль массы погружаемого в каждый трюм груза, определять координаты его ЦТ, рассчитывать текущие параметры остойчивости судна и прочности корпуса.

Не обеспечив статическую прочность корпуса судна при загрузке нельзя достичь его динамической прочности. Для обеспечения статической прочности нужно соблюдать принципы: информативности, определенности, реализуемости.

Контроль посадки судна в процессе грузовых и балластных операций конкретного балкера можно обеспечить путем разработки его имитационной модели.

Целью моделирования является адекватное отображение реакции корпуса судна на изменение нагрузки масс и положения ЦТ судна при грузовых и балластных операциях, а также анализ изменения посадки судна.

Изменение посадки судна является следствием проведения грузовых и балластных операций и, в свою очередь, оказывается внешним фактором, который влияет на работу судовых систем, так как определяет положение балласта в танках.

Поэтому необходимо, чтобы информация, являющаяся выходной при моделировании балластной системы, а также результаты отдельных расчетов положения ЦТ груза в каждом трюме могли служить исходными данными для моделирования посадки судна. В свою очередь, информация о посадке должна являться исходной для расчета необходимого положения ЦТ груза в каждом трюме, для отображения этой информации на мнемосхемах и визуализации состояния корпуса судна [7]. Математическая модель посадки судна основана на известных расчетных зависимостях теории корабля и существующих рекомендациях по автоматизации этих расчетов [8, 9]. Исходная информация о форме корпуса задается в виде матриц.

Связь модели посадки судна с другими составляющими программы можно отразить на схеме, представленной на рис. 1.

Для обеспечения гарантированной безопасности мореплавания балкера необходимо обеспечить оператора информацией о массе груза в каждом трюме и положении его ЦТ. При наличии такой информации судоводитель, на определенном этапе выполнения загрузки судна, будет иметь возможность принять необходимое решение, которое обеспечит надлежащее мореходное состояние судна.

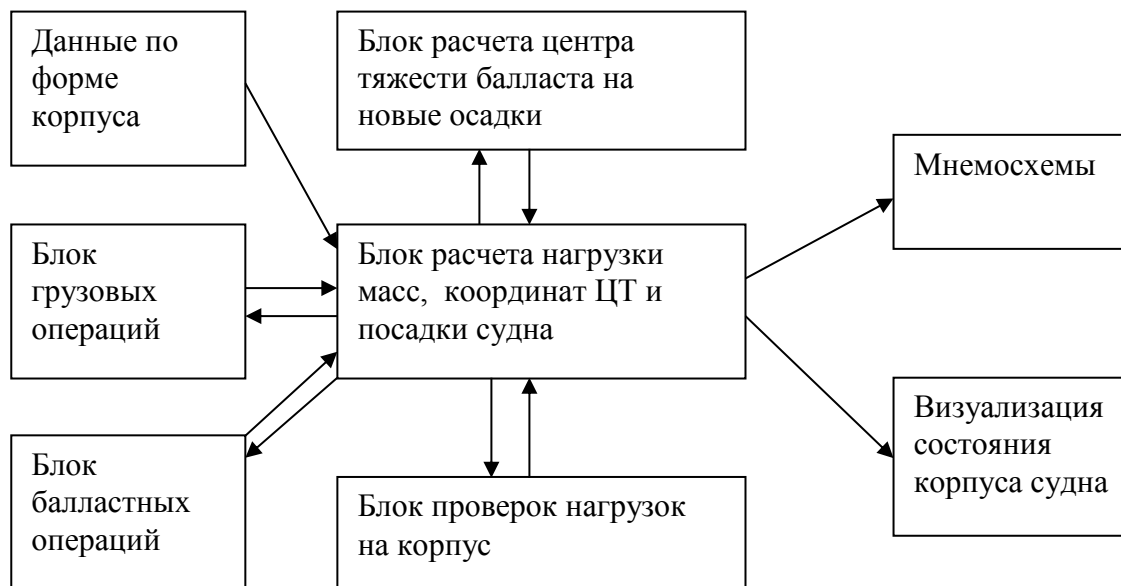


Рис. 1. Блок-схема расчета посадки судна

Несмотря на динамический характер грузовых и балластных операций, при рассмотрении изменения посадки судна на одном шаге его можно считать статическим, что делает правомерным решение задачи статики корабля. Быстрый счет одного шага, а также небольшое количество требующихся итераций позволяет задавать малый интервал времени обновления данных. При этом изменение нагрузки, а, следовательно, и посадки судна, оказывается незначительным, что обеспечивает плавное отображение процесса.

В модели расчета можно выделить несколько крупных блоков:

1. Блок расчета нагрузки масс и соответствующих координат ЦТ судна;
2. Блок вычисления элементов теоретического чертежа;
3. Блок вычисления параметров посадки судна и проверки нагрузок на корпус.

В блоке расчета нагрузки масс и соответствующих координат ЦТ судна необходимым условием является определение массы груза в каждом трюме.

Задача определения массы груза в каждом трюме состоит из нескольких частных задач:

- определение конфигурации поверхности;
- определение уравнения поверхности;
- определение объема груза;
- расчет массы и координат ЦТ груза с учетом его уплотнения.

Объем ( $V$ ) и массу ( $m$ ) груза, который находится в трюмах, предлагается определять с использованием данных о высоте штабеля груза в трюме и его удельного погрузочного объема ( $\alpha$ ), а для расчета мореходных качеств судна рассчитываются координаты центра тяжести (ЦТ) каждого штабеля.

В настоящее время определение массы навалочного груза, который погружен на судно в данный момент времени производится, как правило, по осадке, что приводит к достаточно большой погрешности, особенно на открытых рейдах и акваториях портов. Расчет координат его центра тяжести в процессе проведения грузовых операций не осуществляется вообще.

Как известно, во многих отраслях промышленности определение расстояний до предметов осуществляется с использованием дальномеров следующих типов: ультразвуковые, фотоэлектрические, лазерные.

Выполненные автором теоретические исследования и натурные наблюдения в реальных рейсах позволяют предложить использовать лазерные дальномеры, которые с необходимой точностью, и в постоянном режиме, дают возможность снимать данные о высоте поверхности штабеля груза в трюме [4]. Выполнив аппроксимацию поверхности навалочного груза кусочно-линейной функцией [5] и используя математическую модель [6], получим конфигурацию поверхности штабеля груза, которая образуется в трюме балкера во время выполнения погрузки. Полученные результаты дают возможность, затем рассчитать массу груза и координаты его ЦТ в каждом трюме.

Для постоянного непрерывного контроля соответствия мореходных характеристик судна, которые оно имеет во время проведения грузовых операций и нормативными, обеспечивающими его мореходность в рейсе, предлагается система автоматизированного контроля. Блок-схема такой системы представлена на рис. 2.

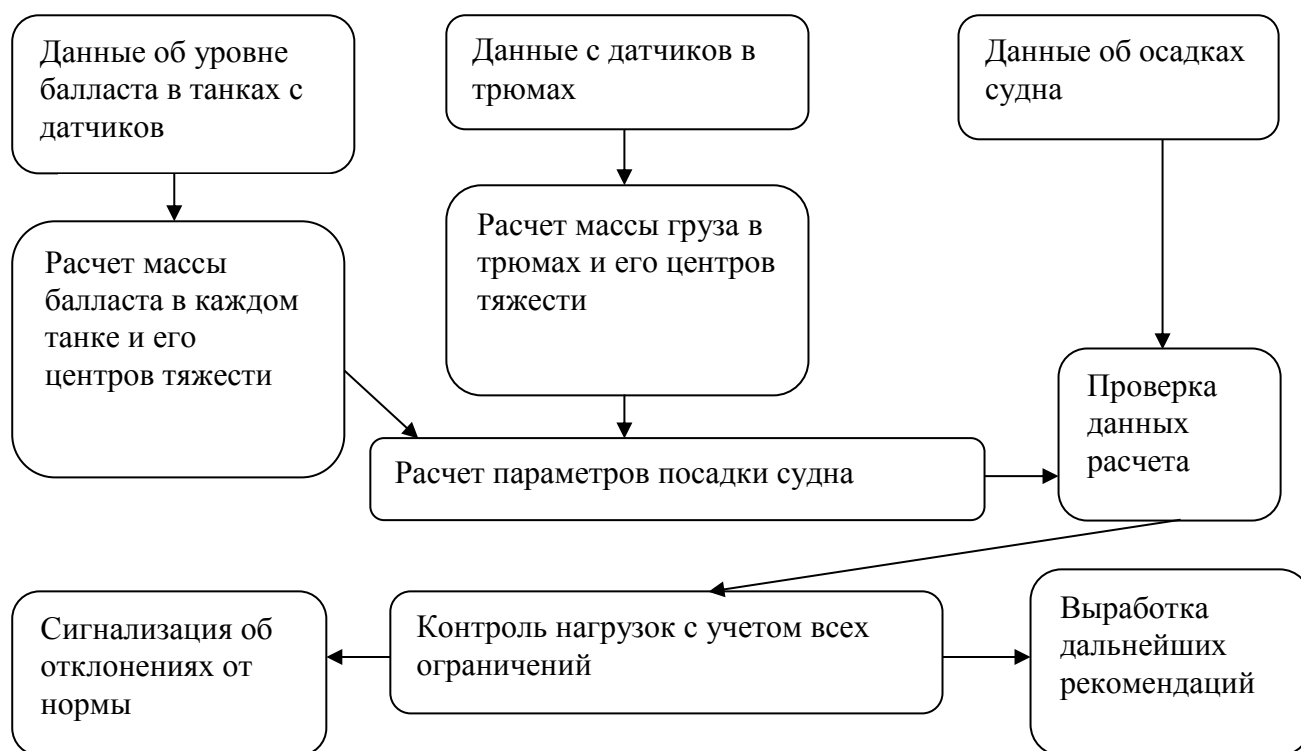


Рис 2. Блок-схема системы автоматизированного контроля грузовых операций

Задача автоматизации процесса загрузки (создания программы автоматизированного контроля грузовых и балластных операций) состоит из нескольких частных: автоматизация балластных операций; автоматизированный контроль загрузки; синтез результатов загрузки и выполнения балластировки для достижения максимального результата.

Автоматизация балластных операций включает: автоматизированное определение массы балласта в каждом танке (цистерне) в любой момент времени; автоматизированное открытие/закрытие клапанов по управляющей команде; сигнализация о повреждениях, погрешностях или несоответствии.

Автоматизированный контроль процесса загрузки включает: автоматизированное снятие осадок судна датчиками в любой момент времени; определение массы груза в трюмах и сравнение с данными, которые поступают с берегового транспортера; контроль значений изгибающего момента и перерезывающих сил; контроль соответствия реальной ситуации загрузки судна с плановой (расчетной).

Для постоянного динамического контроля соответствия параметров судна во время выполнения погрузки и параметров, максимально удовлетворяющих требованиям безопасности мореплавания и учитывающих все ограничения, необходимы следующие данные:

1. Состояние судна на момент начала погрузки, включая водоизмещение порожнего судна, массу топлива и балласта в каждой цистерне, запасы, осадки судна.
2. Необходимое состояние судна на момент окончания загрузки: масса груза; допустимые осадки; масса топлива, воды и запасов; скорость подачи груза по транспортеру (скорость погрузки); количество точек погрузки; производительность балластной системы.

Автоматически обновляемые данные от датчиков – соответствующие данному моменту времени: замеры уровня балласта в каждом танке; производительность балластного насоса; замеры осадок судна с помощью датчиков; данные о массе погруженного груза (с береговых весов);

Контролируемые условия: минимальные изгибающие моменты и перерезывающие силы на момент окончания погрузки; минимальные изгибающие моменты и перерезывающие силы во время погрузки; минимальное количество времени проведения грузовых и балластных работ.

Ограничения: максимальные осадки; крен и дифферент (максимальный и минимальный для работы балластной системы); изгибающие моменты и перерезывающие силы; количество подходов в каждом трюме.

Задачи, решаемые в каждый момент времени во время погрузки: расчет общей массы балласта по результатам замера уровня (автоматические данные); расчет общей массы балласта по производительности балластного насоса и времени его работы; расчет водоизмещения судна и массы груза на борту по осадкам (автоматические данные); определение массы погруженного на судно груза по производительности работы берегового транспортера (данные с береговых весов); определение последовательности погрузки, максимально удовлетворяющей всем необходимым условиям с учетом ограничений; Контроль выполнения последовательности операций - сигнализация о несоответствии выполнения операций при возникновении погрешности между фактическими значениями величин и их допустимыми значениями.

Программа автоматизированного контроля процессов проведения погрузочных и балластных операций должна выполнять:

- погрузку-выгрузку груза с проверкой возникающих статических нагрузок; - балластировку судна с проверкой нагрузок;
- контроль соблюдения ограничений на всех этапах проведения грузовых операций (максимальная осадка, водоизмещение, дифферент, остойчивость);
- обеспечение постоянного дифферента на корму для нормальной работы балластной системы;
- учет динамики приливов;
- рассчитывать оптимальные параметры грузовых операций, исходя из заданных параметров: количества технологических линий (транспортёров или кранов с грейферами), осадки, скорости загрузки, производительности балластной системы, количества подходов на каждый трюм.

### **Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению**

Для обеспечения статической и динамической прочности корпуса, повышения безопасности мореплавания разработан новый метод контроля загрузки судна.

Он позволяет операторам судовых эргатических систем в процессе поиска решений отобрать, с учетом всех ограничений, оптимальный порядок выполнения грузовых работ в зависимости от количества технологических линий, скорости выполнения грузовых операций и балластировки.

Предлагаемая программа автоматизированного контроля за погрузкой и балластными операциями фактически является новым дополнением в развитии грузовых программ.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Цымбал Н.Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов./Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, Вып. 7. – Одесса: Латстар, 2004. – С. 3 – 9.
2. Цымбал Н.Н. Выбор оптимального варианта проведения грузовых операций навалочных судов./Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. // Автоматизация судовых технических средств: Сб. научн. трудов ОНМА, Вып. 9. – Одесса: ИздатИнформ, 2004. – С. 103 – 107.
3. Савчук В.Д. Обеспечение безопасной перевозки цемента насыпью на балкерах / Савчук В.Д., Клименко Е.Н. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 7. – Одесса: Фенікс, 2004. – С. 72-75.
4. Клименко Е.Н., Определение конфигурации поверхности и объема штабеля навалочного груза в трюме судна с использованием лазерных дальномеров. / Клименко Е.Н., Крат И.П., Савчук В.Д. // Матеріали ІV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», 9-11 жовтня 2013 року: НУК. – Миколаїв, 2013. – С. 386-388.
5. Савчук В.Д. Аппроксимация поверхности навалочного груза кусочно-линейной функцией / Савчук В.Д., Клименко Е.Н. // Судовождение: Сб.

- научн. трудов / ОНМА. – Вып. 20. – Одесса: «ИздатИнформ», 2011. – С. 189-202.
6. Клименко Е.Н. Математическая модель поверхности штабеля насыпного груза / Клименко Е.Н., Савчук В.Д. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 20. – Одесса: «ИздатИнформ», 2011. – С. 89-98.
  7. Лукина Е.А., Имитационная модель посадки судна в тренажере выполнения грузобалластных и технологических операций танкера. / Вестник ВГАВТ, Вып. 14. Моделирование и оптимизация сложных систем. – Н. Новгород: ВГАВТ, 2005. – С. 158 – 162.
  8. Алферьев М.Я. Теория корабля. – М.: Транспорт, 1972. – 448 с.
  9. Рождественский В.В. и др. Статика корабля. – Л.: Судостроение, 1986. – 240 с.