

УДК 656.61.052.484

DOI: 10.31653/2306-5761.27.2017.77-84

**ANALYTICAL DESCRIPTION OF VESSEL LOADING USING
THE THEORY OF OPERATIONS RESEARCH****АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАГРУЗКИ СУДНА
МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ***A.V. Gaychenya, senior lecturer**А.В. Гайченя, старший преподаватель**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Национальный университет «Одесская морская академия», Украина***ABSTRACT**

The article presents the requirements of the theory of operations research to the analytical description of the bulk cargo operations and versatile vessels. And in the beginning stages of the given research from the standpoint of theory, operations research, and then shown their application to the problem of developing a method of database input vessel for bulk cargo program and versatile vessels.

Key words: ship loading, analytical description, theory of operations research.

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

Проблема обеспечения мореходной безопасности морских судов в значительной мере определяется их загрузкой. Спецификой грузовых операций навалочных судов являются повышенные требования к обеспечению общей продольной прочности, что обуславливает особенности технологии их проведения. При загрузке универсальных судов также имеется ряд особенностей, связанных с ротацией грузов, их укладкой и креплением, а также совместимостью партий груза. Поэтому аналитическое описание грузовых операций навалочных и универсальных судов может быть произведено методами теории исследования операций, чему и посвящена данная работа.

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

В работе [1] приведены общие требования к грузовым операциям навалочных судов, а вопросы формирования оптимальной загрузки навалочных судов рассмотрены в работе [2]. Метод оптимизации загрузки судна тарно-штучными грузами предлагается в работе [3].

Формулировка целей статьи

Целью данной статьи является анализ требований теории исследования операций к аналитическому описанию грузовых операций судов.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Теория исследования операций [4, 5] изучает и объясняет явления связанные с функциональными системами, разрабатывает модели, предназначенные для объяснения данных явлений, использует эти модели для описания того, что произойдет при изменении условий, и проверяет предсказания новыми наблюдениями.

Исследованию операций присущи следующие основные этапы:

1. Определение целей, которые следует формулировать, исходя из сущности решений, на получение которых ориентирована исследовательская работа. Следует обратить особое внимание на то, чтобы формулировка цели работы не была слишком узкой. Нельзя ставить и слишком широкие цели, что зачастую приводит к безуспешной попытке сразу решить все проблемы в рамках одного всеобъемлющего исследования.

2. Составление плана разработки проекта, подразумевая под планированием установление реперных точек, т. е. временных координат, соответствующих необходимым срокам завершения определенных видов работ.

3. Формулировка проблемы, - это один из самых важных этапов исследования, в результате которого формируется четкое понимание следующих моментов: в чем состоит существо проблемы, что имело место в прошлом, чего следует ожидать в будущем и каков характер соотношения между переменными исследуемой задачи. На основе полученных результатов формируется общая схема построения модели для изучаемой проблемы и определяется направление всей дальнейшей работы. Основным вопросом, связанный с формулировкой проблемы заключается в том, чтобы определить, имеется ли возможность представить всю проблему в виде отдельных, более частных подпроблем, которые можно исследовать независимо одну от другой.

Разрабатывая общий подход к анализу крупномасштабных проблем, исследование операций рекомендует в общем случае придерживаться следующей принципиальной схемы:

- вначале рассмотреть центральную задачу исследования;
- определить, какие входные и выходные данные требуются для формирования модели центральной задачи, что поможет определить подмодели, разработка которых потребуется в дальнейшем;
- установить, существуют ли средства для получения необходимой входной информации или использования результирующей выходной информации. Если такие средства есть, то их следует применить. В противном случае должны быть определены вспомогательные модели;
- выяснить, что должно быть разработано применительно к каждой из дополнительных моделей: вся модель, быстрый и грубый способ расчета или новые методы ручных расчетов.

Второй вопрос, подлежащий решению на стадии формулировки проблемы, связан с определением степени детализации разрабатываемой модели, причем не следует смешивать степень детализации с адекватностью модели. Более важно, чтобы разрабатываемая модель не оказалась «смещенной», т. е. такой, в

которой не учтен тот или иной существенный и постоянно действующий фактор.

После разделения проблемы на соответствующие части и определения желаемой степени детализации модели процесс формулировки проблемы достигает фазы определения области применения и размерности разрабатываемой модели. При рассмотрении этой фазы необходимо решить пять следующих вопросов:

- определение размерности задачи, что, в принципе, является первым этапом построения модели, подразумевает определение переменных исследуемой задачи, которые необходимо учесть;

- определение управляемых переменных, являющееся вторым этапом построения модели, и заключается в определении переменных, которые могут изменяться управляющим органом. Некорректное разделение переменных на управляемые и неуправляемые может повести к «смещенной» модели;

- определение неуправляемых переменных, - это третий вопрос, подлежащий решению на стадии формулировки проблемы, когда определяются параметры, которые не могут быть изменены управляющим органом, но оказывающие влияние на моделируемую деятельность. Необходимо отметить, что при игнорировании влияния внешних факторов построенная модель может оказаться неадекватной реальной ситуации и, что еще хуже, ее использование может привести к выработке ошибочной стратегии;

- определение технологических параметров системы, является четвертым вопросом, который нужно решать на стадии формулировки проблемы. Технология описывается совокупностью констант и параметров, определяющих предельные значения переменных и соотношения между ними, которые необходимо учесть по замыслу решаемой задачи;

- определение показателей эффективности, которые служат основой для оценки конкретных решений рассматриваемой проблемы. В большинстве случаев при исследовании операций используется несколько показателей эффективности. Наиболее важные из них следует выявить уже на стадии определения целей исследования.

4. Построение модели. Модель выражает взаимосвязь между управляемыми переменными, неуправляемыми переменными, технологическими параметрами и показателями эффективности. Приступая к разработке модели, нужно, прежде всего, решить вопрос о возможности использования в рамках модели тех или иных требуемых показателей и соотношений. Нередко адекватность модели зависит от правильного решения этого вопроса.

Существует несколько различных типов соотношений, формирующих модель:

- соотношения, вытекающие из определений, - это аналитические выражения физических законов или общепринятых правил учета хозяйственной деятельности. Соотношения такого рода обычно выводятся достаточно просто и не требуют анализа данных;

- эмпирические соотношения, характеризующие взаимосвязи между переменными, выводятся на основе изучения данных за прошлый период, анализа технических аспектов, экспериментальных данных. Построение и использование эмпирических соотношений может быть затруднено следующими двумя обстоятельствами. Во-первых, имеющиеся данные ретроспективного анализа могут оказаться непредставительными для вывода соотношений, характеризующих рассматриваемую систему в изменившихся условиях текущего периода или в предполагаемых условиях будущего периода. Эти новые условия функционирования системы должны найти отражение либо в изменении числовых значений соответствующих параметров, входящих в рассматриваемые соотношения, либо в изменениях структуры и характера самих зависимостей. Вторая трудность заключается в том, что эмпирические соотношения могут выводиться на основе данных, которые относятся к характеристикам функционирования системы, не отвечающим требуемому уровню эффективности. В этом случае решения, получаемые с помощью модели, не будут стимулировать повышение эффективности системы и не отразят те потенциальные возможности, которые могут быть реализованы при совершенствовании управления;

- нормативные соотношения, - это такие соотношения, которые устанавливают, как переменные должны быть связаны между собой, а не то, как они были связаны в прошлом. Эти соотношения могут быть результатом тех требований, которые предъявляет управляющий орган к качеству функционирования системы.

5. Разработка вычислительного метода. Одновременно с проведением работ по построению модели необходимо выбрать или разработать численный метод решения, причем необходимо выяснить следующие вопросы:

- следует ли использовать имитационное моделирование или какой-либо из имеющихся методов оптимизации;

- должна ли модель учитывать, что некоторые переменные являются случайными величинами, или же следует использовать детерминированный подход;

- нужно ли учитывать нелинейность некоторых соотношений или достаточно ограничиться их линейной аппроксимацией;

- можно ли использовать существующие методы решения или требуется разработать новый метод.

На этапе разработки вычислительного метода приходится определять, допустимо ли в данном конкретном случае использование оптимизационного метода решения или необходимо разработать некоторый эвристический алгоритм. Всегда, когда в рамках анализа операций необходима разработка некоторого вычислительного метода, необходимо вначале дать исчерпывающую формулировку задачи, если даже вполне очевидно, что в такой постановке она не поддается решению.

Зачастую возникает дилемма выбора одного из двух вариантов:

- найти оптимальное решение упрощенной задачи;

- найти приближенное решение точно сформулированной задачи.

Практический опыт убедительно свидетельствует о предпочтительности второго варианта.

6. Разработка технического задания на программирование, программирование и отладка. Составление программ для ЭВМ во многих случаях является составной частью проводимого исследования. При этом следует подчеркнуть особую важность и значение составления ориентированных на пользователя входных и выходных данных. В этом случае выполнение трудоемких функций, связанных с подготовкой данных, возлагается на ЭВМ, а не на пользователя.

7. Сбор данных. На этом этапе осуществляется сбор и анализ данных, необходимых для проверки правильности модели и практического использования результатов исследования операций.

8. Проверка модели, которая включает две фазы: определение способов проверки модели и осуществление этой проверки. На первой фазе выбираются аналитические и экспериментальные методы для проверки непротиворечивости, чувствительности, реалистичности и работоспособности модели.

Сформулируем задачу разработки метода ввода базы данных грузовой программы судна в рамках приведенных основных требований исследования операций, давая характеристику рассматриваемой задачи по каждому из этапов исследования операций.

Прежде всего, произведем определение целей исследования. В общем виде, целью исследования является разработка метода ввода базы данных грузовой программы судна.

Для достижения поставленной цели необходимо вначале определить требования к возможностям результирующей компьютерной грузовой программы, из чего определяется структура необходимой базы данных. Специфика проводимого исследования не требует учета второго этапа - составления плана разработки проекта.

Рассмотрим третий этап - формулировку проблемы. База данных грузовой компьютерной программы, прежде всего, определяется требованиями к возможностям грузовой программы, которая должна синтезироваться из формирующей базы.

Необходимыми требованиями, которым должна удовлетворять грузовая программа, являются:

- расчет и вывод информации о посадке судна;
- определение параметров остойчивости судна и сравнение их с допустимыми значениями;
- расчет характеристик общей продольной прочности корпуса судна и местной прочности.

Укажем дополнительное требование к грузовой программе универсального судна, могущего перевозить генеральные грузы. Очень существенным для указанной ситуации является требование отображать укладку генерального груза с учетом архитектуры грузовых помещений судна. Необходимо также,

чтобы грузовая программа позволяла производить отображение распределения запасов в танках.

Таким образом, в исследовании выделяется пять указанных требований к грузовой компьютерной программе, которая представляется сформированной базой данных. Для определения входных и выходных переменных исследуемой задачи следует учесть параметры, которые соответствуют сформулированным требованиям. Причем для формирования базы данных грузовой программы следует учитывать только неизменные параметры, характеризующие каждое из требований.

Для реализации грузовой программы конкретного судна следует произвести дополнительный модуль, позволяющий производить оптимизацию загрузки судна заданным грузом.

Оптимизационная задача, описывающая процесс проведения грузовых операций судна, в общем виде может быть записана следующим образом:

$$\begin{aligned} K(u_0) = \text{extr}\{K[(u : u \in U)]\} \\ m_s \in M_s, \\ m_p \in M_p, \end{aligned} \quad (1)$$

где K - критерий оптимальности;

m_s , M_s - соответственно параметры остойчивости, посадки, прочности судна, и множество их допустимых значений;

m_p , M_p - соответственно производственные параметры и множество их допустимых значений;

u и U - соответственно стратегия оптимизационной задачи и множество допустимых стратегий.

В выражении (1) первое равенство показывает, что при оптимальной стратегии загрузки u_0 , принадлежащей допустимому множеству U , критерий оптимальности K достигает требуемого экстремального значения. Одновременно должны соблюдаться ограничения по параметрам мореходности судна (вторая строка выражения (1)) и ограничения по производственным параметрам (третья строка того же выражения).

В качестве альтернативных стратегий u , из которых выбирается оптимальная u_0 , обеспечивающая экстремум критерия оптимальности K , рассматривается возможный процесс загрузки судна (предварительный грузовой план), который характеризуется следующими основными параметрами, подлежащими численному определению:

- число этапов загрузки судна, которое обозначим N_s ;
- совокупность трюмов и танков на каждом из этапов, которые задействованы в грузовых и балластных операциях и количество подлежащего обработке груза для каждого из трюмов, а также балласта для каждого из танков;
- скорости изменения груза и балласта на каждом из этапов.

Первые два пункта характеризуют структуру стратегии u , а последний – ее переменные характеристики. Решение упомянутые оптимизационные задачи предполагается осуществить методами исследования операций [4]. Множество

возможных состояний судна S с точки зрения проведения грузовых операций определяется пространством, размерность которого является суммой $m_s + m_p$ параметров мореходности и производственных параметров. Конкретное состояние s ($s \in S$) является точкой пространства (множества) S . Причем граничные значения допустимого множества M определяются предельными значениями параметров m_s и m_p , которые регламентируются как требованиями ИМО и классификационных обществ, так и реальными физическими ограничениями.

Стратегия u является операцией, которая характеризуется не только процессом изменения количества груза W_c и балласта W_b , но и значениями статических моментов M_x , M_y и M_z , при этом также происходят изменения перерезывающих сил SF и изгибающих моментов BM . Поэтому как стратегии проведения грузовых операций u , так и водоизмещение судна, количество груза и балласта, моменты, перерезывающие силы и изгибающие моменты являются процессами, т. е. справедливы обозначения u_t , D_t , W_{ct} , W_{bt} , M_{xt} , M_{yt} , M_{zt} , SF_t , BM_t . Следовательно, существуют аналитические зависимости указанных переменных от стратегии u_t , которые в общем виде можно записать с помощью следующих формальных зависимостей:

$$\begin{aligned} D_t &= f_d(u_t), & W_{ct} &= f_c(u_t), & W_{bt} &= f_b(u_t), \\ M_{xt} &= f_x(u_t), & M_{yt} &= f_y(u_t), & M_{zt} &= f_z(u_t), \\ SF_t &= f_F(u_t), & BM_t &= f_B(u_t). \end{aligned}$$

Параметры m , подлежащие ограничению по условиям задачи, зависят от перечисленных переменных, т.е.

$$m = F_o(D_t, W_{ct}, W_{bt}, M_{xt}, M_{yt}, M_{zt}, SF_t, BM_t)$$

или $m = F(u_t)$.

Задаваясь граничными значениями m^* параметров m , фигурирующих в ограничениях оптимизационной задачи, используя обратное преобразование F^{-1} , можно найти граничные значения u^* параметров стратегии u_t , что позволит задать множество допустимых стратегий загрузки U .

Критерий оптимальности K также зависит от параметров стратегии загрузки u_t , причем аналитический вид такой зависимости $K = F_k(u_t)$ необходимо определить для каждой постановки оптимизационной задачи. Получение оптимальной стратегии загрузки u_{ot} , при которой достигается экстремум критерия K , сводится к использованию одного из методов математического программирования, адекватно описывающего исходную постановку задачи. При этом процесс смены состояний судна в многомерном пространстве состояний представляет собой траекторию, не выходящую за допустимые пределы в течение всего периода проведения грузовых операций судна.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.

В статье рассмотрены требования теории исследования операций к аналитическому описанию грузовых операций навалочных и универсальных судов. В дальнейшем целесообразно разработать общий алгоритм формализации загрузки судов, учитывающий общие требования и особенности разных типов судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павленко Л.В. Особенности эксплуатации балкеров/ Л.В. Павленко, Л.А. Козырь – Одесса: Латстар, 2002. – 78 с.
2. Цымбал Н.Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов/ Н.Н. Цымбал, Ю.Ю.Васьков // Судовождение. – 2004. - № 7. – С. 3 - 10.
3. Чепок А.О. Оптимизация загрузки судна тарно-штучными грузами в автоматизированных системах / А.О. Чепок // Проблемы техники: Научно-производственный журнал / ОНМУ, ХНУ – 2013. – № 4. – Одесса: Одесский национальный морской университет, 2013. – С. 44–51.
4. Исследование операций. Т. 1. Методологические основы и математические методы. Под редакцией Дж. Моудера. – М.: Мир, 1981. – 712 с.
5. Таха Х. Введение в исследование операций / Таха Х. – М.: Мир, 1985. – 478 с.