

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1131-1141

OPERATIONS RESEARCH — A TOOL TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF MANAGEMENT OF WATER TRANSPORT

D. V. Dmitrienko

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

Improving the efficiency and quality of operation of water transport in the dynamic state changes of the transport market requires operational managers to take decisions on the management of production is not only based on intuitions and personal experience, but also with quantitative assessments. To select the most reasonable and meaningful solutions implemented on the basis of practical and model alternatives, the necessary tools of numerical optimization, adequate to the present task. Operations research is one of the main management tools used to organize and flexible operations management. The operating plan includes the methods of mathematical programming, the practical application of which requires some knowledge of tool capabilities and compliance with the syntax of functions designed to implement optimization procedures in computer processing environments. The paper discusses the possibility of practical use in operating management, linear programming. In contrast to the solution of common tasks, the focus is on the allocation of resources through the functions of the group linprog contained in the Optimization Toolbox of MATLAB. It is shown that given the technological constraints in a matrix form, and constraints on the state variables, performing quantitative evaluations using integer mixed programming of dual solutions and significantly expands the scope of applications of linear programming as a tool of the apparatus of a qualified Manager at the enterprises of water transport. Examples of quantitative evaluations performed in the process of solving practical problems, proving the efficiency of the tool.

Keywords: operations research, optimization, linear programming, operations management, models, algorithm, syntax, resource allocation, leasing, loading of the vessel.

For citation:

Dmitrienko, Dmitry V. "Operations research – a tool to improve the efficiency of management of water transport." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.5 (2017): 1131–1141. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1131-1141.

УДК 629.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ — ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Д. В. Дмитриенко

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Повышение эффективности и качества эксплуатации водного транспорта в условиях динамичных изменений состояния рынка транспортных услуг требует от операционных менеджеров принятия решений по управлению производством не только на основе интуиции и персонального опыта, но и с учетом количественных оценок. Для выбора наиболее обоснованных и емких решений, осуществляемых на базе практических и модельных альтернатив, необходимы инструментальные средства численной оптимизации, адекватные рассматриваемым задачам. Исследование операций является одним из главных инструментов менеджмента, используемых для организации и гибкого оперативного управления производством. В состав операционного пакета включены методы математического программирования, практическое применение которых требует определенных знаний инструментальных возможностей и соблюдения синтаксиса функций, предназначенных для реализации оптимизационных процедур в компьютерных вычислительных средах. В работе рассмотрены возможности практического применения в операционном менеджменте линейного программирования. В отличие от решения общепринятых задач, основное внимание уделено распределению ресурсов с помощью функций группы linprog, содержащейся в Optimization Toolbox среды MATLAB. Показано, что учет технологических ограничений в матричной форме и ограниче-

ний на переменные состояния, выполнение количественных оценок с использованием целочисленного, смешанного программирования и дуальных решений существенно расширяет область приложения линейного программирования в качестве инструментального аппарата квалифицированного менеджера на предприятиях водного транспорта. Приведены примеры количественных оценок, выполненные в процессе решения практических задач, подтверждающие эффективность использования инструмента.

Ключевые слова: исследование операций, оптимизация, линейное программирование, операционный менеджмент, модели, алгоритм, синтаксис, распределение ресурсов, лизинг, загрузка судна.

Для цитирования:

Дмитриенко Д. В. Исследование операций — инструмент для повышения эффективности управления водным транспортом / Д. В. Дмитриенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 5. — С. 1131–1141. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1131-1141.

Введение

В настоящее время методы исследования операций находят широкое применение в самых различных направлениях развития и функционирования предприятий и организаций водного транспорта [1]. Исследование операций представляет собой комплекс научных методов, предназначенных прежде всего для решения класса проблем организационного управления на водном транспорте, разработки и научного обоснования операционных проектов, накопления опыта и знаний, необходимых для компетентного их применения в исследуемых предметных областях с учетом специфики работы предприятий [2], [3]. Сегодня исследование операций является инструментом, предназначенным для количественной оценки при выборе принимаемых решений по управлению производственной деятельностью, связанной с вопросами взаимодействия различных подразделений организации или фирмы, исходя из общих целей всего предприятия и отрасли в целом [4], [2]. Решение, наиболее выгодное для всей организации, принято считать *оптимальным*.

Наиболее наукоемким этапом выполнения любого операционного проекта является построение модели исследуемой системы, выражающей эффективность ее функционирования в виде функции множества переменных (вектора состояния) при соблюдении условий управляемости и наблюдаемости [5]. Модель, предназначенная для поиска оптимальных решений, должна содержать критерий эффективности (качества) и ограничения в форме равенств и неравенств. Представленные как в аналитической форме, так и в виде численно реализуемых процедур модели исследуемых систем должны базироваться на фундаментальных принципах вариационного исчисления, современном математическом аппарате оптимального управления и практической оптимизации с учетом природы оптимальных политик и оценки максимального дохода, полученного с помощью функциональных уравнений [1]. Широкий спектр практических приложений методов и средств исследования операций на водном транспорте состоит из комплекса важных моделей технологических процессов распределения ресурсов, обслуживания, создания и хранения запасов, моделей замен, состязательных и комбинированных процессов, торгов и др.

Основная часть

Основной целью операционного менеджмента является повышение эффективности и качества управления имеющимися ресурсами, обеспечение высокой продуктивности производства и услуг, использование новых методов для достижения эффективности операционной деятельности. В современных условиях глобализации рынка в системах высокой размерности получение оптимальных решений становится естественным требованием. Способы и средства выполнения этого требования могут выбираться из множества научно обоснованных инструментов, созданных для применения в различных производствах [6]. При выборе альтернативных вариантов принятия решений операционными менеджерами на основе количественных оценок необходимы методы и модели исследования операций. Их составными частями являются способы построения операционных моделей, линейное и нелинейное программирование, теория расписаний и стоха-

стическое моделирование, интеллектуальные вычислительные процессы и др. Применение совокупности методов и моделей исследования операций менеджерами обеспечивает высокий уровень понимания инструментальной и методологической составляющих достижения цели, состоящей в максимизации дохода [7].

В связи со значительным развитием и совершенствованием компьютерных технологий, на сегодняшний день исследование операций остается одним из самых мощных инструментов получения оптимальных решений комплексных технических проблем и проблем бизнеса. В области операционного менеджмента исследование операций позволяет выполнять поиск и аргументированный выбор факторов, влияющих на процесс управления производством и определяющих совокупность последовательных действий управленческого персонала по определению целей, принятию решений по реализации производственных программ и оперативных заданий на предприятиях водного транспорта. Операционный менеджмент направлен в большинстве случаев на решение «тактических» задач управления производством. Исследование операций является инструментом, предназначенным для поиска широкого спектра «стратегических» оптимальных решений в исследуемой предметной области [8]. С помощью операционных инструментов менеджеру часто приходится принимать решения по текущим производственным задачам, возникающим в условиях вариативного рынка, требующим количественных оценок [9]. К ним можно отнести следующие:

- определение требуемых ресурсов для достижения ключевых целевых показателей;
- выбор альтернативных решений, обеспечивающих получение минимума издержек (максимума дохода);
- выбор максимума и минимума ресурсов, необходимых для сохранения заданного уровня производства, и поиск «узких мест» в реализации производственных планов;
- нахождение текущих и требуемых запасов ресурсов для достижения цели; оценка ожидаемых и допустимых рисков при условии сохранения производства согласно применяемой модели.

Эффективность решений во многом определяется инструментом, используемым для оптимизации конкретных производственных процессов и обеспечивающим адекватность технологических параметров модели и объекта. К таким инструментам в операционных исследованиях относятся: линейное программирование, модели случайных процессов и теорию очередей, методы и модели нелинейного программирования, комбинированные методы и алгоритмы практической оптимизации и др. [10]. В современных вычислительных средах содержится хорошо отработанный инструментарий, предназначенный для численного решения оптимизационных задач с помощью специальных функций. В частности, в вычислительной среде MATLAB таким инструментом является Optimization Toolbox.

Для класса задач, допускающих линейные модели управления объектами и процессами при принятии решений, менеджер может использовать *аппарат линейного программирования*. Методы линейного программирования являются математическим аппаратом исследования операций и служат для эффективного управления на основе количественных оценок на каждом шаге использования инструмента. Методы основаны на применении функций двух типов: функции цели (критерия качества) и различных видов ограничений на вектор переменных состояния, обеспечивающих замкнутую форму решения. Целевая функция предназначена для определения аддитивных составляющих прибыли при минимизации затрат с соблюдением заданного набора правил и ограничений, определяемых технологией и наличием ресурсов. Методы и алгоритмы решения задач линейного программирования всесторонне отработаны [11]. Они реализуются средствами рабочего инструментария и класса функций, встроенных в соответствующие вычислительные среды.

Линейное программирование — это мощный инструмент, предназначенный для широкого спектра оптимизационных задач, требующий от пользователя корректной их формулировки на множестве вещественных переменных с учетом существования технологических решений [4].

Для практического применения функций группы `linprog` требуется лишь соблюдать их синтаксис. Технику работы с функциями этой группы удобно рассмотреть на конкретных моделях.

Модель выбора проекта. Выбор проекта предусматривает поиск взаимоисключающих вариантов решения задачи. Предположим, что для технического развития и обновления основных фондов порта (отдельных грузовых районов, специализированных причалов, перегрузочных комплексов и др.) разработано несколько вариантов технологических схем. Каждый вариант может быть реализован на выбранном i -м объекте. Введём переменную величину x_{ij} , принимающую значение, равное единице, если для i -го объекта выбран j -й вариант его совершенствования. Если i -й объект принято не совершенствовать по схеме, то $x_{ij} = 0$.

Взаимное исключение вариантов означает, что для i -го объекта, исходя из показателей оценки результатов технического совершенствования, из всего набора j -х вариантов может быть выбран лишь один, т. е.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, m.$$

Выбранный вариант совершенствования одновременно не может быть применён для другого объекта ввиду технологических, финансовых и иных ограничений.

С каждым вариантом $x_{ij} = 1$ свяжем объём перегрузочных работ за определённый период по различным грузам, объёмы капитальных вложений, расходы различных видов ресурсов, затраты на техническое совершенствование. Получим критерий качества в аналитическом виде, отражающий эффективность технического совершенствования объектов предприятия. Задачу поиска оптимума сформулируем в терминах математического программирования [12]. Решение конкретной задачи выполним при следующих условиях. Предположим, что в порту, располагающем двумя грузовыми районами, специализирующимися на перегрузке различных сыпучих материалов, требуется совершенствовать технологию выполнения работ с частичной заменой оборудования.

Для технического совершенствования предлагается шесть вариантов модернизации, т. е. вектор

$$x = [x_{11} \ x_{12} \ x_{13} \ x_{21} \ x_{22} \ x_{23}]^T,$$

причём x_{11} , x_{12} и x_{13} приемлемы для первого грузового района, а x_{21} , x_{22} , x_{23} — для второго. Дополнительно по условиям модернизации не допускается одновременный выбор двух вариантов (технологических схем): x_{13} и x_{21} .

Вектор-строка $f = [f_{11} \ f_{12} \ f_{13} \ f_{21} \ f_{22} \ f_{23}]$ содержит элементы, характеризующие годовые затраты на техническое совершенствование технологии и оборудования соответствующих грузовых районов при выборе одного из вариантов модернизации.

При использовании вариантов x_{11} , x_{12} и x_{13} объём перегрузочных работ первого грузового района может быть увеличен, соответственно, на 1200, 600 и 1000 единиц. Аналогично вариантам x_{21} , x_{22} , x_{23} соответствует увеличение объёма перегрузочных работ в течение планируемого периода на 1500, 700 и 400 единиц. В результате технического совершенствования грузовых районов по предлагаемым вариантам должен быть увеличен объём перегрузочных работ в порту не менее, чем на $b = 1500$ единиц, что определяется конъюнктурой рынка. Модель выбора можно представить в математической форме: минимизировать затраты порта на технологическое совершенствование грузовых районов согласно критерию:

$$J = \min_x (f \cdot x);$$

$$A \cdot x \geq b;$$

$$A_{eq} \cdot x = b_{eq},$$

где $f = [f_{11} \ f_{12} \ f_{13} \ f_{21} \ f_{22} \ f_{23}] = [800 \ 600 \ 900 \ 700 \ 500 \ 750]$.

$$A = [a_{11} a_{12} a_{13} a_{21} a_{22} a_{23}] = [1200 \ 600 \ 1000 \ 1500 \ 700 \ 400]; \quad b = 1500; \gg$$

$$A_{eq} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad b_{eq} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Очевидно, все x_{ij} должны быть либо равны нулю, либо быть больше нуля:

$$x_{ij} \geq 0, \quad (i=1, 2; j=1, 2, 3).$$

Для решения задачи воспользуемся функцией `bintprog` из Optimization Toolbox среды MATLAB. С учетом синтаксиса функции решение имеет вид

$$[x, J] = \text{bintprog}(f^T, -A, -b, A_{eq}, b_{eq}, lb, ub),$$

где $lb = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T$ — нижняя граница; $ub = []$ — верхняя граница, представленная «пустым» вектором.

Операция минимизации выполнена в режиме прямых вычислений. Для выполнения условий синтаксиса функции матрицы A и b взяты со знаком «минус». Получен следующий результат:

$$x = [x_{11} x_{12} x_{13} x_{21} x_{22} x_{23}]^T = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0]^T, \quad J = 1300.$$

Таким образом, согласно выполненному решению, для модернизации первого грузового района принят второй вариант, а для второго грузового района — четвёртый вариант. Для обеспечения работ по модернизации предприятия минимальные затраты, которые должен нести порт, составляют 1300 единиц. Поскольку $A \times x = 2100$, выполняется условие $A \times x \geq b$.

Арендная (лизинговая) модель. Рассматривается задача о взаимодействии двух грузовых районов порта, принадлежащих как объекты собственности различным компаниям. Предположим, что первый грузовой район обеспечивает перегрузку скоропортящихся грузов нового урожая. Если по условиям рынка спрос на поставляемую продукцию значительно возрос, то чтобы удовлетворить спрос, поставщик продукции может увеличить объемы поставок. Однако грузовой район не имеет возможности, исходя из условий складирования и хранения, их полностью обработать даже при наличии части незагруженных мобильных перегрузочных средств. В подобных ситуациях нецелесообразно заниматься увеличением складских площадей и приобретением нового технологического оборудования для грузового района, поскольку в конце сезона вообще прекратятся поставки сельскохозяйственной продукции нового урожая. Для удовлетворения спроса рынка можно использовать производственные мощности второго грузового района, который может арендовать на определенный период времени мобильные перегрузочные средства для переработки грузов у другого владельца (например, грузового района с другой договорной структурой и специализацией или его конкурентом на рынке), располагающего временно не используемыми основными фондами. В последующем арендный договор может перейти в лизинг. Субъект собственности может их сдать в аренду (лизинг) только на выгодных для себя условиях.

Таким образом, складывается ситуация взаимодействия двух конкурирующих субъектов, в одинаковой мере заинтересованных в извлечении максимальной прибыли из сложившейся конъюнктуры рынка, но не желающих нести необоснованные убытки в процессе выполнения дополнительных перегрузочных работ. В последующем арендный договор может перейти в лизинг.

Рассмотрим основную задачу максимизации дохода (выручки) первого грузового района при выполнении перегрузочных работ и сбыта продукции по рыночным ценам. Дуальная задача формулируется при моделировании действий грузового района-конкурента по лизингу фондов субъектом собственности первого грузового района при минимальных затратах.

Предположим, что в составе оборудования грузового района имеется m перегрузочных машин, которые используются для обработки n видов поступающих грузов сельскохозяйственной продукции с ограниченным сроком хранения. Технологическая таблица, характеризующая перегрузочный процесс на фиксированном временном интервале, представлена матрицей

$$A = \{a_{ij}\}$$

размерности $(m \times n)$, каждый элемент которой a_{ij} есть время (число часов), необходимое для перегрузки единицы продукции j -го типа на i -й перегрузочной машине. Элементы вектора $b = [b_1, \dots, b_m]'$, используемые как ограничения, представляют собой резерв времени работы (в часах) каждой i -й машины. В вектор-строке $c = [c_1, \dots, c_n]$ содержатся элементы, численные значения которых являются доходом от перегрузки единицы продукции j -го вида. Наконец, вектор $x = [x_1, \dots, x_j, \dots, x_n]$ определяет допустимое множество принимаемых решений по перегрузке n видов продукции. Каждый элемент этого вектора x_j означает, сколько единиц продукции j -го вида должен перегружать грузовой район в течение планируемого периода.

С учётом принятых обозначений получим модель перегрузочного процесса первого грузового района (P -модель) в терминах линейного программирования:

$$P: \max Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, \dots, m; \quad x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n.$$

В матричной форме эта же модель может быть представлена в виде $P: \max Z = Cx$ при следующих ограничениях $A: x \leq b, x \geq 0$.

Дуальная задача P_D для второго грузового района, соответствующая P , формулируется следующим образом:

$$P_D: \min Z_D = u \cdot b \quad \text{при условиях: } u \cdot A \geq C; \quad u \geq 0.$$

Решение этих задач рассмотрим на примере небольшой размерности $(m \times n)$, равной (2×3) . Предположим, что первый район производит перегрузку трех видов продукции: F_1, F_2 и F_3 двумя перегрузочными машинами: M_1 и M_2 . Процесс перегрузки трёх видов продукции с помощью двух машин связан с использованием имеющегося в наличии ресурса, требования к которому определены данными, приведёнными в табл. 1.

Таблица 1

Производственная матрица

Машина	Продукция			
	F_1	F_2	F_3	Ресурс
M_1	10	1	2	60
M_2	15	3	1	60

Число, находящееся в каждой ячейке таблицы, означает, сколько минут потребуется для перегрузки одной единицы продукции на соответствующей перегрузочной машине (терминале). Будем считать, что для использования каждой машины установлен резерв времени, равный 60 мин, а выручка от перегрузки единицы каждого груза (F_1, F_2 и F_3) с учетом технологии обеспечения сохранности, соответственно, равна

$$C = [C_1 \ C_2 \ C_3] = [12 \ 0.5 \ 1.0].$$

С учетом табличных данных, для первого грузового района требуется оценить оптимальный план путем решения задачи математического программирования:

$$P: \max Z = 12x_1 + 0.5x_2 + x_3$$

при соблюдении ограничений:

$$\begin{bmatrix} 10 & 1 & 2 \\ 15 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 60 \\ 60 \end{bmatrix}; x_1, x_2, x_3 \geq 0.$$

В кодах MATLAB решение имеет следующий вид:

$$C = [12 \ 0.5 \ 1]; A=[10 \ 1 \ 2; 15 \ 3 \ 1]; b = [60 \ 60]';$$

$$Lb=[0 \ 0 \ 0]'; ub=[]; Aeq=[]; beq=[];$$

$$[x, Gf]=linprog(-C, A, b, Aeq, beq, lb, ub);$$

$$Gf = -Gf.$$

Optimization terminated

$$x = [3.0000 \ 0.0000 \ 15.0000]^T, Gf = 51.0000.$$

Решение соответствует полному использованию ресурса двух перегрузочных машин.

Дуальная модель для второго грузового района имеет вид

$$P_D: \min Z_D = 60U_1 + 60U_2$$

при ограничениях:

$$10U_1 + 15U_2 \geq 12;$$

$$U_1 + 3U_2 \geq 0.5;$$

$$2U_1 + U_2 \geq 1.0;$$

$$U_1, U_2 \geq 0.$$

Решение для дуальной модели получим способом, подобным предшествующим расчетам, без составления программы:

$$A1 = -[10 \ 15; 1 \ 3; 2 \ 1]; b1 = -[12 \ 0.5 \ 1]'; lb1 = [0 \ 0]'; ub1 = []; A1eq = []; b1eq = []; f = [60 \ 60]; [u, Z_D] = linprog(f, A1, b1, A1eq, b1eq, lb1, ub1).$$

Optimization terminated

$$U = [0.15000 \ 0.7000]^T; Z_D = 51.0000.$$

Заметим, что $Gf = Z_D = 51.0000$. Таким образом, если за одну минуту работы перегрузочной машины M_1 установить арендную оплату, равную 0,15, а за каждую минуту работы перегрузочной машины M_2 — цену 0,70, то первый грузовой район при передаче в аренду машин получит ту же выручку (51.0000) без выполнения перегрузочных работ. В свою очередь, район-конкурент израсходует на аренду минимальную сумму, равную 51.0000.

Содержащаяся в программных продуктах вычислительной среды MATLAB группа функций `linprog` может использоваться также для решения прикладных задач целочисленного и смешанного программирования. Этот класс задач следует отнести к наиболее сложным и наукоемким, с алгоритмами оптимизации, полностью построенными на базе цифровых технологий. Приведенное далее решение задачи о загрузке судна с получением конкретных количественных оценок распределения ресурсов является простым примером, подтверждающим возможность разработки платформ для интенсивного развития и практического применения элементов цифровой экономики на водном транспорте.

При решении задач, связанных с процессом загрузки судна в условиях ограниченных ресурсов, производится определение способов комплектации грузов, составление грузовых списков с целью оптимизации загрузки каждого конкретного судна с учетом требований, установленных правилами составления грузовых планов судов.

Расчет грузового плана может допускать несколько решений, из которых требуется выбрать наилучшее применительно к конкретным условиям плавания. Правильная загрузка судна обеспе-

чивает безопасность плавания при достижении максимального экономического эффекта. Во многих случаях требование получения наилучшего решения не всегда может быть однозначным [13]. В первом случае это может быть получение максимальной прибыли, во втором — обеспечение наиболее полного использования грузоподъемности или грузоместимости судна, в третьем — сохранение судном мореходных качеств и др. [14].

С целью демонстрации технологии работы в пакете MATLAB с функциями группы `linprog` рассмотрим упрощенную задачу с учетом того, что загрузке могут подлежать объекты различных типов, в том числе воздушные суда. Предположим, что необходимо загрузить судно грузом, составленным из отдельных предметов различных типов. Поскольку предметы имеют различный вес и стоимость, требуется так загрузить судно ограниченной грузоподъемности, чтобы перевозимый груз имел наибольшую ценность. Рассмотрим задачу о загрузке судна грузоподъемностью 200 единиц, состоящую из восьми типов грузов с различной стоимостью перевозок и весами. Численные данные для расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные для расчетов

Номер единицы	Вес	Стоимость перевозок
1	19	72
2	15	60
3	18	40
4	14	27
5	12	20
6	10	50
7	16	85
8	24	96

Поиск оптимальных решений выполним с помощью функций группы `linprog` инструментария Optimization Toolbox. При этом введем ограничения на вектор переменных состояния:

– нижняя граница

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 8;$$

– для верхней границы выберем режим

$$ub = [Inf \ Inf \ Inf \ Inf \ 3 \ 2 \ 2 \ 1]^T.$$

Оптимальные решения этой задачи для судов различной грузоподъемности приведены в табл. 3.

Таблица 3

Решения задачи целочисленного программирования

Грузоподъемность	Оптимальный доход	Число перевозимых предметов i -го типа ($i = 1, \dots, 8$)
200	858	$X_1 = 1; X_2 = 7; X_6 = 2; X_7 = 2; X_8 = 1;$
150	656	$X_1 = 2; X_2 = 4; X_6 = 2; X_7 = 2;$
100	450	$X_2 = 3; X_6 = 2; X_7 = 2;$
95	438	$X_1 = 1; X_6 = 2; X_7 = 2; X_8 = 1;$
90	414	$X_2 = 2; X_6 = 2; X_7 = 2;$
85	390	$X_3 = 1; X_7 = 1; X_8 = 2;$
80	366	$X_6 = 2; X_7 = 2; X_8 = 1;$
75	342	$X_1 = 1; X_6 = 2; X_7 = 2;$
70	330	$X_2 = 1; X_6 = 2; X_7 = 2;$
65	292	$X_1 = 1; X_6 = 1; X_7 = 2;$
60	281	$X_6 = 2; X_7 = 1; X_8 = 1;$
55	270	$X_6 = 2; X_7 = 2;$

Задача целочисленного программирования решена. Такие задачи обычно возникают при загрузке судов и упаковке грузов, имеющих наибольшую ценность. Аналогично решаются задачи с ограничениями по весу и габаритам, реализуются алгоритмы смешанного программирования.

Выводы

1. Исследование операций является мощным инструментом, на базе которого на качественно новом уровне возможно совершенствование управления эксплуатацией водного транспорта. Модели этого инструмента построены на научно обоснованных математических методах и алгоритмах, что позволяет осуществлять поиск альтернативных вариантов оптимальных решений с использованием количественных оценок и заменой трудоемких, дорогостоящих натуральных экспериментов на объектах водного транспорта требуемыми расчетами.

2. Среди методов математического программирования в исследовании операций наиболее изученным принято считать линейное программирование. Численные методы и алгоритмы задач линейного программирования с целью их практического использования встроены в пакеты вычислительных сред в форме функций, создающих механизм для решения и обеспечивающих автоматический выбор из пакета наиболее эффективных алгоритмов оптимизации с учетом размерности конкретной проблемы.

3. Применение линейного программирования в операционном менеджменте требует знаний операционных возможностей, правил и соблюдения синтаксиса группы функций linprog математического пакета расширения среды MATLAB. Правила представлены в моделях оптимального распределения ресурсов, доведенных до конечных численных оценок.

4. В модели выбора проекта технического развития действующего предприятия применены способы целочисленного программирования для оценки оптимального варианта распределения ресурсов. В арендной (лизинговой) модели использования перегрузочных средств получено решение, базирующееся на свойствах дуальности задач линейного программирования. Задача о загрузке судна решена по алгоритму целочисленного программирования для восьми видов груза при изменениях суммарного веса.

5. Опираясь на зарубежный и отечественный опыт использования исследования операций как инструмента управления технологиями и производствами, следует полагать, что с расширением области приложений математического (в том числе линейного) программирования в качестве инструментального аппарата операционного менеджера последует значительное улучшение эксплуатационной деятельности на предприятиях водного транспорта.

6. Применение методов и моделей исследования операций для решения практических задач эксплуатации объектов водного транспорта является главным условием создания среды, способствующей развитию платформ и технологий различных сфер эксплуатационной деятельности на водном транспорте, формированию профессиональных компетенций, определяемых требованиями внедрения цифровой экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Элит Я. Я.* Моделирование процессов совершения таможенных операций и проведения таможенного контроля на транспорте как системы массового обслуживания / Я. Я. Элит, М. А. Цивелева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 288–295. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-288-295.

2. *Писарук Н. Н.* Модели и методы смешанно-целочисленного программирования / Н. Н. Писарук. — Минск: БГУ, 2010. — 231 с.

3. *Грызина Н. Ю.* Математические методы исследования операций / Н. Ю. Грызина, И. Н. Мастяева, О. Н. Семенихина. — М.: МЭСИ, 2005.

4. *Маликова Т. Е.* Модель массового обслуживания импортного грузопотока с применением технологии предварительного информирования / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко, И. Н. Вольнов // Вестник Госу-

дарственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 280–287. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-280-287.

5. Шарина М. В. УМК Исследование операций и методы оптимизаций / М. В. Шарина. — Иваново: Ивановский филиал НОУ ВПО «Институт управления», 2013. — 322 с.

6. Оуэн Г. Теория игр: пер с англ. / Г. Оуэн; под ред. А. А. Корбута. — Изд. 4-е. — М.: Изд-во ЛКИ, 2008. — 216 с.

7. Baucells M. Satiation in discounted utility / M. Baucells, R. Sarin // *Operations Research*. — 2007. — Vol. 55. — Is. 1. — Pp. 170–181. DOI: 10.1287/opre.1060.0322.

8. Bautista J. A note on the relation between the product rate variation (PRV) problem and the apportionment problem / J. Bautista, R. Companys, A. Corominas // *Journal of the Operational Research Society*. — 1996. — Vol. 47. — Is. 11. — Pp. 1410–1414. DOI: 10.1057/jors.1996.177.

9. Józefowska J. Characterization of just in time sequencing via apportionment / J. Józefowska, Ł. Józefowski, W. Kubiak // *Stochastic Processes, Optimization, and Control Theory: Applications in Financial Engineering, Queueing Networks, and Manufacturing Systems*. — Springer, 2006. — Pp. 175–200. DOI: 10.1007/0-387-33815-2_10.

10. Lebacque V. Simultaneous optimization of classical objectives in JIT scheduling / V. Lebacque, V. Jost, N. Brauner // *European Journal of Operational Research*. — 2007. — Vol. 182. — Is. 1. — Pp. 29–39. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.07.019.

11. Bayraktar E. Evolution of operations management: past, present and future / E. Bayraktar, M. C. Jothishankar, E. Tatoglu, T. Wu // *Management Research News*. — 2007. — Vol. 30. — Is. 11. — Pp. 843–871. DOI: 10.1108/01409170710832278.

12. Hiller F. S. Introduction to Operation Research / F. S. Hiller, G. J. Lieberman. — 8th edition. — McGraw-Hill Higher Education, 2010. — 1088 p.

13. Ravichandran N. Vision 2020: The Role and Scope of Operations Research Models / N. Ravichandran. — Ahmedabad, India: Indian Institute of Management, 2006. — 21 p.

14. Sottinen T. Operations Research with GNU Linear Programming Kit. ORMS 1020 / T. Sottinen. — 2009. — 201 p.

REFERENCES

1. Eglit, Yan Ya., and Mariya A. Tsiveleva. “Simulation of the process of customs operations and conducting customs control in transport system as a queueing system.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.2 (2017): 288–295. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-288-295.

2. Pisaruk, N. N. *Modeli i metody smeshanno-tselochislennogo programmirovaniya*. Minsk: BGU, 2010.

3. Gryzina, N. Yu., I. N. Mastyaeva, and O. N. Semenikhina. *Matematicheskie metody issledovaniya operatsii*. M.: MESI, 2005.

4. Malikova, Tatiana E., Anna A. Yanchenko, and Igor N. Volnov. “The model of massive handling cargo flow for import with the use of preliminary informing technology.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.2 (2017): 280–287. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-280-287.

5. Sharina, M. V. *UMK Issledovanie operatsii i metody optimizatsii*. Ivanovo: Ivanovskii filial NOU VPO Institut Upravleniya, 2013.

6. Ouen, G. *Teoriya igr*. Edited by A. A. Korbut. Izd. 4-e. M.: Izd-vo LKI, 2008.

7. Baucells, Manel, and Rakesh K. Sarin. “Satiation in discounted utility.” *Operations research* 55.1 (2007): 170–181. DOI: 10.1287/opre.1060.0322.

8. Bautista, Joaquín, Ramon Companys, and Albert Corominas. “A note on the relation between the product rate variation (PRV) problem and the apportionment problem.” *Journal of the Operational Research Society* 47.11 (1996): 1410–1414. DOI: 10.1057/jors.1996.177.

9. Józefowska, Joanna, Łukasz Józefowski, and Wiesław Kubiak. “Characterization of just in time sequencing via apportionment.” *Stochastic Processes, Optimization, and Control Theory: Applications in Financial Engineering, Queueing Networks, and Manufacturing Systems* (2006): 175–200. DOI: 10.1007/0-387-33815-2_10.

10. Lebacque, Vassilissa, Vincent Jost, and Nadia Brauner. “Simultaneous optimization of classical objectives in JIT scheduling.” *European Journal of Operational Research* 182.1 (2007): 29–39. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.07.019.

11. Bayraktar, Erkan, M.C. Jothishankar, E. Tatoglu, and T. Wu. "Evolution of operations management: past, present and future." *Management Research News* 30.11 (2007): 843–871. DOI: 10.1108/01409170710832278
12. Hiller, F. S., and G. J. Lieberman. *Introduction to Operation Research*. 8th edition. McGraw-Hill Higher Education, 2010.
13. Ravichandran, N. *Vision 2020: The Role and Scope of Operations Research Models*. Ahmedabad, India: Indian Institute of Management, 2006.
14. Sottinen, T. *Operations Research with GNU Linear Programming Kit. ORMS 1020* / T. Sottinen. 2009.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Дмитриенко Дмитрий Владимирович —
кандидат экономических наук,
ФГБОУВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_osnivr@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Dmitrienko, Dmitry V. —
PhD
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_osnivr@gumrf.ru

*Статья поступила в редакцию 5 июля 2017 г.
Received: July 5, 2017.*