

Артамонова Мария Юрьевна

канд. экон. наук, доцент

Добржинская Ольга Павловна

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Государственный морской университет

им. адмирала Ф.Ф. Ушакова»

г. Новороссийск, Краснодарский край

**РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУЗОПОТОКОВ
ПО ПРИЧАЛАМ МОРСКОГО ПОРТА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ
ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Аннотация: в данной работе изложены особенности решения оптимизационной задачи с помощью методов линейного программирования, которые позволяют найти правильное решение. Рассмотрены методология выполнения и пример расчета оптимального распределения грузопотоков по причалам морского порта.

Ключевые слова: линейное программирование, оптимизационная задача, морской порт, грузопотоки.

В процессе управления работой стивидорных компаний часто требуется решение задачи оптимизационного характера, когда из нескольких возможных вариантов использования технических ресурсов или других средств необходимо выбрать оптимальный – т.е. привести качественные характеристики к определенным значениям.

Основной целью линейного программирования на морском транспорте является построение математической модели перевозочного процесса грузов и пассажиров, функционирования структурных элементов системы морского транспорта (флота, портов, СРЗ). При этом исследование транспортной деятельности основывается на методах, применяемых в прикладной математики – теории моделирования сложных систем и исследований операций.

Математическое моделирование представляет собой теоретическую основу для решения поставленных оптимизационных задач, изучает способы выявления значимых количественных значений параметров управления, обеспечивающих достижение максимально качественного значения выбранного показателя. Эти значения критериев управления определяют оптимальный план.

Задача оптимизации возникает при ограниченности ресурсов, так что оптимальный план выявляется среди тех проектов, которые сохраняют ограничения, наложенные наличными ресурсами на параметры управления.

На рисунке 1 представлен структурированный вид оптимизационной задачи.

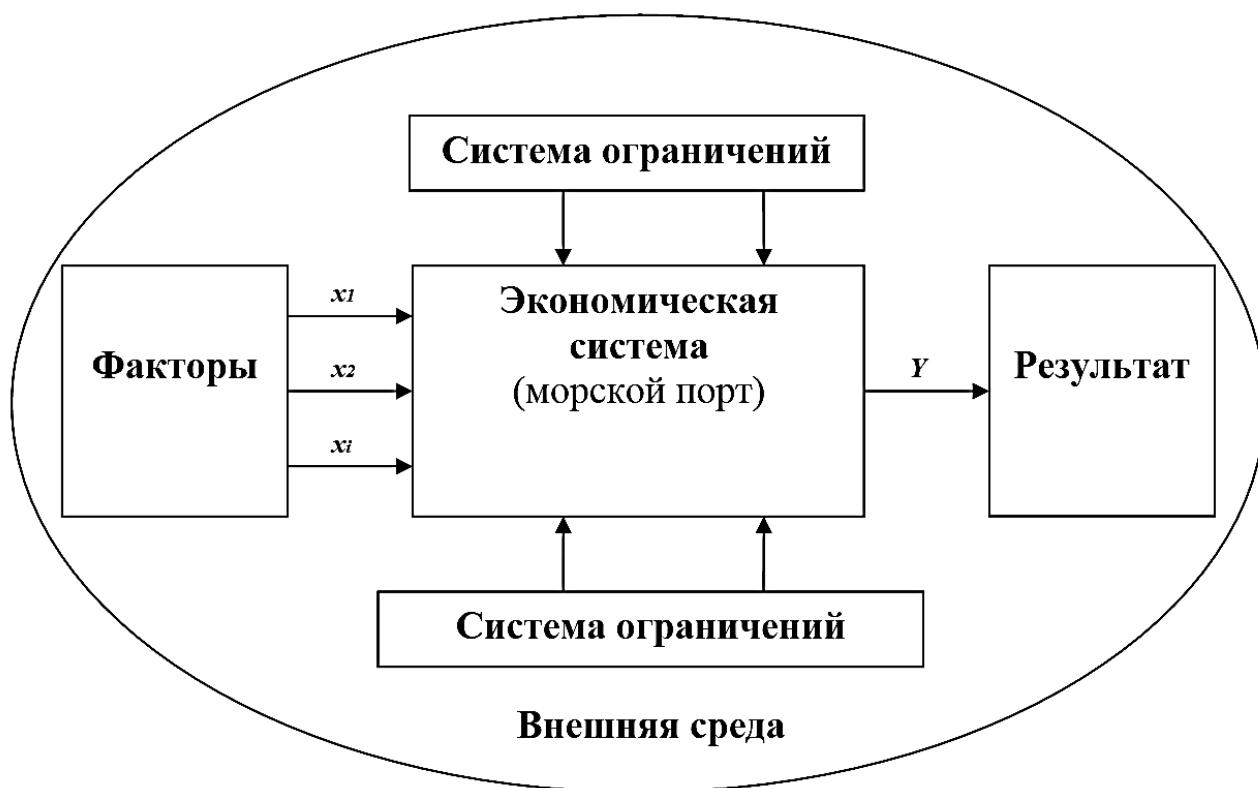


Рис. 1. Структурированный вид оптимизационной задачи

В оптимизационных задачах критерий оптимальности должен выражаться линейной зависимостью от параметров управления, а ограничения, наложенные запасами ресурсов – линейными зависимостями от параметров управления [3]. Решение подобных задач происходит поэтапно, что представлено в таблице 1.

Таблица 1

Этапы построения математических моделей

Этапы построения	Описание
1	2
<i>1. Первый этап</i>	
<i>Выбор параметров управления</i>	Задача исследователя состоит в том, чтобы выделить определяющие факторы и второстепенные. Важно выбрать только те параметры, которые существенны для конечной цели планирования, управления. Что касается прочих, малосущественных параметров, то достаточно иметь общее представление об их возможном влиянии.
<i>2. Второй этап</i>	
<i>Выбор показателя качества (целевой функции)</i>	При выборе целевой функции следует исходить из конкретной ситуации, в которой рассматривается данная задача. То, что выгодно оптимизировать в одних условиях, может быть невыгодно в других. Например, обстановка может подсказать, что оптимизировать следует объем выполняемой работы (выпускаемой продукции, перевозок и др.). Но в других условиях можем привести к минимизации расходов ресурса (когда, например, они остро дефицитны) или времени, затрачиваемого на выполнение срочной работы, и т. д.
<i>Первый и второй этапы не могут выполняться последовательно и в указанном порядке. Выбор параметров управления тесно связан с выбором показателя качества, оба эти этапа выполняются одновременно</i>	
<i>3. Третий этап</i>	
<i>Подготовка и обработка исходной информации</i>	Для решения оптимизационной задачи необходимо получение и обработка аналитической информации от служб и отделов морского порта. В получении качественной информации и ее группировании существуют большие сложности, в виду отсутствия единой централизованной Базы данных, занятости работников служб, а также конфиденциальности документов, экономических и технических показателей. Поэтому на этом этапе, если потребуется, целесообразно приобретение дополнительного оборудования автоматизированного сбора данных, необходимых программных пакетов и т. д.
<i>4. Четвертый этап</i>	
<i>Выбор метода для решения задачи математического программирования</i>	После постановки задачи ее решение можно осуществить с помощью различных компьютерных программ, например MatLab – «Matrix Laboratory» мощная программа для решения математических вычислений различного уровня сложности, а также язык программирования, включающий: основанные на матрицах структуры данных; широкий спектр функций; объектно-ориентированные возможности.
<i>5. Пятый этап</i>	

<p><i>Анализ полученных результатов и составление рабочей программы</i></p>	<p>Этот этап наступает после того, как задача уже решена тем или иным методом и оптимальный план получен. Но следует иметь в виду, что оптимальный план не всегда может быть реализован на практике. Для практического использования в него часто необходимо вносить поправки: во-первых, надо в какой-то мере учесть ограничения, которые по тем или иным мотивам не были введены в математическую модель. Затем может оказаться, что оптимальный план привел к большому дроблению ресурсов по отдельным звеньям производственного или транспортного процесса. Могут возникнуть и другие, специфические для данной задачи требования, которым полученный оптимальный план не удовлетворяет. Все это приводит к необходимости подвергнуть оптимальный план некоторому анализу. В результате обнаруживается необходимость внести поправки, после учета, которых возникает рабочая программа; ее можно рекомендовать к реализации.</p>
---	--

Таким образом, с помощью инструментов линейного программирования можно достичь совершенствования управления работой порта, а именно рассчитать наиболее рациональное закрепление причалов за грузопотоками стивидорной компании ПАО «Новороссийский Морской торговый порт» («НМТП»).

Предположим, в ПАО «НМТП» на причалах 16, 18 и 20 (рис. 2) планируется перерабатывать четыре грузопотока генеральных грузов различных направлений в количествах Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 (тыс. тонн).

Транспортировка грузов каждого направления будет осуществляться судами с определенными технико-эксплуатационными характеристиками, а на каждом причале в процессе перегрузки будет применяться определенная технология. Календарный бюджет времени работы причалов соответствует $t_1=t_2=t_3=t_4=90$ сут. Известны показатели пропускной способности каждого причала при перегрузке определенного вида груза p_{ij} (тыс. тонн в сутки) и комплексные (по флоту и порту) нормативные показатели суточных расходов по переработке грузов всех направлений на всех причалах c_{ij} (тыс. ам. долл.). Предлагается найти оптимальное закрепление причалов за грузопотоками, обеспечив минимум комплексных расходов.

Исходные данные приведены в таблице 2. Для каждого причала и грузопотока p_{ij} расположены в левом нижнем углу клетки, а c_{ij} – в правом верхнем углу.

Таблица 2

Исходные данные задачи

Причал	Грузопотоки							S_i	t_i	$90-t_i$			
	1		2		3		4						
16	0	12	0	21	0	4,0	0	5,0	12,35	90	0,0		
	0,9	0	0,8	0	1,0	70	0,7	20					
18	5,33	1,2	4,25	22	-1,0	5,0	-0,29	6,0	10,98	84,62	5,38		
	1,3	84,62	1,0	0	1,0	0	0,8	0					
20	6,0	14	11,75	25	-2,2	7,0	-0,15	8,0	10,59	75,56	14,44		
	1,5	0	1,4	42,86	1,2	0	1,1	32,7					
Q	110		60		70		50						
S_{ij}	13,33		26,25		4,0		7,14						

Обозначим x_{ij} – время работы i -го причала (сут.) на переработке j -го грузопотока. Формирование математической модели задачи начнем с записи ограничивающих критериев.

Ограничения по бюджету времени причалов:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \leq 90; \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 90; \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \leq 90. \end{cases} \quad (1)$$

Каждое из этих неравенств отражает условие, что суммарное время работы одного причала на переработке всех грузов не должно превышать заданного бюджета времени работы причала в течение планируемого периода.

Предельные ограничения по количеству перерабатываемого груза:

$$\begin{cases} 0,9x_{11} + 1,3x_{21} + 1,5x_{31} = 110; \\ 0,8x_{12} + 1,0x_{22} + 1,4x_{32} = 60; \\ 1,0x_{13} + 1,0x_{23} + 1,2x_{33} = 70; \\ 0,7x_{14} + 0,8x_{24} + 1,1x_{34} = 50. \end{cases} \quad (2)$$

Каждое из этих равенств выражает условие полной переработки груза определенного направления на всех причалах.

Требование неотрицательности:

$$x_{ij} \geq 0, \quad i=1,2,3; \quad j=1,2,3,4$$

Целевая функция, минимизирующая комплексные расходы:

$$Z = 12x_{11} + 21x_{12} + 4x_{13} + 5x_{14} + 12x_{21} + 22x_{22} + 5x_{23} + 6x_{24} + 14x_{31} + 25x_{32} + 7x_{33} + 8x_{34} \rightarrow \min \quad (3)$$

Для решения данной задачи необходимо применить вычислительный алгоритм метода «наибольших разностей»:

1. Определим значения средней комплексной себестоимости переработки различных грузопотоков S_i для каждого причала по формуле:

$$S_1 = \frac{12 + 21 + 4 + 5}{0,9 + 0,8 + 1,0 + 0,7} = 12,35 \text{ (ам.долл./т)}$$

$$S_2 = \frac{12 + 22 + 5 + 6}{1,3 + 1,0 + 1,0 + 0,8} = 10,98 \text{ (ам.долл./т)}$$

$$S_3 = \frac{14 + 25 + 7 + 8}{1,5 + 1,4 + 1,2 + 1,0} = 10,59 \text{ (ам.долл./т)}$$

Получившиеся значения расчетов занесем в таблицу 2 в столбец S_i .

2. За базу сравнения принимаем 16 причал, так как: $\max\{12,35; 10,98; 10,59\} = 12,35$ (ам.долл./т)

3. Для 16 причала определяем себестоимость переработки на нем каждого грузопотока:

$$S_1 = \frac{12}{0,9} = 13,33;$$

$$S_2 = \frac{21}{0,8} = 26,25;$$

$$S_3 = \frac{4}{1,0} = 4;$$

$$S_4 = \frac{5}{0,7} = 7,14$$

Занесем полученные результаты в строку S_{ij} таблицы 2.

4. Находим величину оценки δ_{ij} для каждой клетки по формуле:

$$\delta_{11} = 13,33 \cdot 0,9 - 12 = 0$$

$$\delta_{12} = 26,25 \cdot 0,8 - 21 = 0$$

$$\delta_{13} = 4 \cdot 1 - 4 = 0$$

$$\delta_{14} = 7,14 \cdot 0,7 - 5 = 0$$

$$\delta_{21} = 13,33 \cdot 1,3 - 12 = 5,33$$

$$\delta_{22} = 26,25 \cdot 1 - 22 = 4,25$$

$$\delta_{23} = 4 \cdot 1 - 5 = -1$$

$$\delta_{24} = 7,14 \cdot 0,8 - 6 = -0,29$$

$$\delta_{31} = 13,33 \cdot 1,5 - 14 = 6$$

$$\delta_{32} = 26,25 \cdot 1,4 - 25 = 11,75$$

$$\delta_{33} = 4 \cdot 1,2 - 7 = -2,2$$

$$\delta_{34} = 7,14 \cdot 1,1 - 8 = -0,15$$

Значения δ_{ij} заносим в левый верхний угол каждой клетки таблицы 2.

Положительное значение оценки характеризует суточный размер экономии расходов от переработки каждого вида груза на данном причале ПАО «НМТП» по сравнению с переработкой его на причале №16. Например, оценка $\delta_{21} = 13,33 \cdot 1,3 - 12 = 5,33$ показывает, что от переработки первого грузопотока на 18 причале, а не на 16, каждые сутки будет экономиться 5,33 тыс. ам.долл.

Отрицательное значение оценки характеризует суточные убытки, например, $\delta_{23} = 4 \cdot 1 - 5 = -1$ тыс. ам. долл. Оценка минус 1 тыс. ам.долл. показывает размер убытка в сутки, если третий грузопоток будет перерабатываться на причале №18, а не на №16.

Наибольшее значение оценки $\delta_{32} = 26,25 \cdot 1,4 - 25 = 11,75$; с нее необходимо начать составление плана закрепления грузопотоков за причалами:

$$x_{32} = \min \left\{ 90; \frac{60}{1,4} \right\} = 42,86$$

Следовательно, второй грузопоток 20-й причал порта перерабатывает полностью, и остается еще время $90 - 42,86 = 47,14$ сут., в течение которого на данном причале могут перерабатываться другие грузы.

Далее в оставшейся части таблицы 2 (за исключением 2 столбца, т.е. 2 грузопотока) снова отыскиваем клетку с максимальной оценкой $\delta_{21} = 13,33 \cdot 1,3 - 12 = 5,33$. Определяем время работы причала №18 по переработке первого грузопотока, т.е.

$$x_{21} = \min \left\{ 90; \frac{110}{1,3} \right\} = 84,62$$

И так далее до закрепления всех объемов грузопотоков, полученные значения представлены в таблице 2.

В результате решения имеем:

$$x_{13} = 70, x_{14} = 20, x_{21} = 84,62, x_{32} = 42,86, x_{34} = 32,7$$

Рассчитаем целевую функцию:

$$Z = 4 \cdot 70 + 5 \cdot 20 + 12 \cdot 84,62 + 25 \cdot 42,86 + 8 \cdot 32,7 = 2728,54 \text{ тыс. ам. долл.}$$

Применяя предложенный метод распределения грузопотоков, можно сделать вывод, что причалы 16, 18, 20 будут задействованы 70,18 суток. Они обеспечивают переработку всего количества грузов при расходах 2728,54 тыс. ам.долл. и остатках неизрасходованного времени 18-го (5,38 сут.) и 20-го (14,44 сут.) причалов.

Для того, чтобы определить доход от сэкономленного времени 18-го и 20-го причалов, произведем следующие расчеты:

Найдем количество переработанных генеральных грузов на Широком пирсе №1 за 1 день:

$$q = Q_1 / 365, \quad (4)$$

где Q_1 – количество переработанного груза на Широком пирсе №1:

$$q = 5080800 / 365 = 13920 \text{ тонн}$$

Далее определим количество груза, которое сможет переработать порт за сэкономленное время на 18-м и 20-м причалах:

$$Q_2 = q \times t_{неизр.} \quad (5)$$

$$Q_2 = 13920 \times 19,82 = 275894,4 \text{ тонн}$$

$$\text{За год } 275894,4 \times 12 = 3310732,8 \text{ т}$$

Найдем новое общее количество груза, которое будет переработано на Широком пирсе №1:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (6)$$

Показатель общего грузооборота за год примет значение:

$$Q_3 = 3310,7 + 5080,0 = 8390,7 \text{ тыс. т}$$

Доход от сэкономленного времени на 18-м и 20-м причалах рассчитаем по следующей формуле:

$$D = f \times Q_2, \quad (7)$$

где f – ставка за переработку 1 тонны груза, долл./т.

$$D = 8,97 \times 3310,7 = 29697 \text{ тыс.дол.}$$

Общие доходы составят:

$$D' = D_o + D, \quad (8)$$

где D_o – доходы первоначальные, тыс. руб.;

D – доходы от сэкономленного времени, тыс. руб.

$$D' = 45567,6 + 29697 = 75264,6 \text{ тыс. долл.}$$

Следовательно, за счет рационального распределения грузов по причалам и использования сэкономленного времени, что обеспечит минимум комплексных расходов, будет, достигнут максимальный экономический эффект. По мнению авторов, используя несложные, давно известные и применяемые в экономике математические алгоритмы, усложнив лишь их применения, а точнее, применив рекурсию вычислений, можно существенным образом автоматизировать механизм принятия оптимального решения [1; 2].

Список литературы

1. Артамонова М.Ю. Управление морским портом с использованием системы контроллинга: Дис. ... канд. экон. наук. – Ростов н/Д, 2014. – 157 с.
2. Крушкин Е.Д. Моделирование и оптимизация управления основной деятельностью порта // Развитие методов управления на транспорте. Вып. №25. – Одесса: ОНМУ, 2007. – С. 24–52.
3. Глухов В.В. Математические методы и модели для менеджмента / В.В. Глухов, М.Д. Медников, С.Б. Коробко. – СПб.: Лань, 2000. – С. 170–171.