

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ

УДК 656.135.073

А.Ю. Тюрин

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ГРУЗОПЕРЕРАБОТКИ В ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ

Организация обработки материального потока в транспортных узлах является актуальной и сложной задачей. Особенно возрастает сложность управления технологическими процессами грузопереработки, когда осуществляется доставка грузов несколькими видами транспорта. Наличие широкого спектра погрузочно-разгрузочного оборудования с различной производительностью, ограничения в количестве одновременно обрабатываемых транспортных средств, предел емкости складских площадей и лимит времени на обработку подвижного состава порождают выбор оптимальной технологической схемы грузопереработки, при которой будут соблюдены все ограничения и наименьшие расходы на обработку материального потока.

Рассмотрим в качестве примера вариант организации грузовых работ в морском порту. Особенностью такой организации работ является планирование грузопереработки с учетом "узких мест". "Узким местом" в данном процессе является морское судно, так как превышение сроков погрузки (разгрузки) грузов сверх нормативного стационарного времени ведет к выплате демереджа (штрафа за задержку судна сверх нормы), который в свою очередь довольно значителен. Поэтому планирование работ должно вестись с учетом нормативного времени простоя судна.

Так как в порту осуществляется перевалка различных грузов с одного вида транспорта на другой по прямому варианту (транспортное средство - транспортное средство) и через склад (транспортное средство - склад - транспортное средство), то существует множество технологических схем по каждому виду груза в отдельности. Рассмотрим одно из таких направлений грузопереработки - перевозки продукции в контейнерах. Особенностью данного направления является универсальность, так как в контейнерах можно перевозить почти все грузы. Для доставки контейнеров на большие расстояния можно использовать метод "от

двери до двери" с участием различных видов транспорта (морской, железнодорожных и автомобильный). Все это привело к росту контейнерных перевозок как во внутреннем сообщении, так и при экспортно-импортных поставках. Дополнительно грузы, прибывающие на склад в коробках, ящиках, т.е. небольшими партиями от разных грузоотправителей, могут быть консолидированы в один контейнер для доставки одному получателю. При этом стоимость перевозки единицы груза существенно снижается.

Обобщая все вышеизложенное, построим математическую модель контейнерного варианта грузопереработки. Представим технологию прохождения материального потока в виде схемы (рис. 1). На схеме стадии технологического процесса грузопереработки пронумерованы в обратном порядке, т.е. последняя стадия соответствует номеру 1, а первая - номеру 4.

Опишем кратко стадии технологического процесса..

Стадия 4 - сортировка груза, прибывающего в порт в коробках, ящиках на автомобилях. После сортировки груз поступает либо на хранение на склад (стадия 3'), либо погружается на паллеты для дальнейшего вывоза (стадия 3").

Стадия 3' - груз поступает на склад в коробках, ящиках только в том случае, если нет необходимого транспортного средства (судна) для его

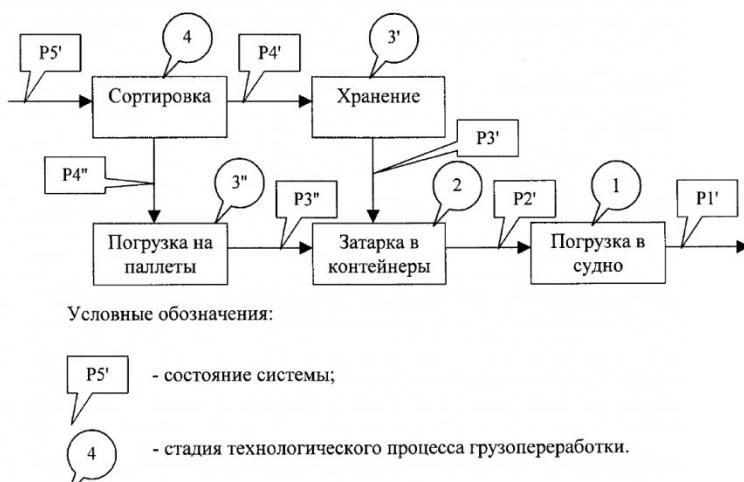


Рис. 1. Технологическая схема грузопереработки контейнеров

вывоза. Если такое транспортное средство есть, то груз уже на паллетах поступает в зону погрузки с хранения для затарки в контейнеры (стадия 2).

Стадия 3' - груз поступает в коробках, ящиках для погрузки на паллеты (укрупнение грузовой единицы), после чего готовые паллеты поступают для затарки в контейнеры (стадия 2).

Стадия 2 - груз поступает на паллетах для загрузки в контейнеры. Если контейнеров не хватает, то остаток паллет может храниться некоторое время в зоне погрузки.

Стадия 1 - погрузка контейнеров на транспортное средство (судно). Осуществляется в жесткие сроки. Остаток контейнеров может храниться на складе (причале).

На рис. 1 через Р1' - Р5' обозначены состояния системы, которые в разных постановках могут приобретать различные смысловые значения-либо это может быть объем груза, переработанный на соответствующей стадии, либо, как в нашем случае, время переработки груза на стадиях технологического процесса. В качестве управлений на стадиях процесса можно взять объем переработки груза, либо тип технологического оборудования.

Математическая постановка задачи.

Обозначим через q_k объем грузопереработки на k -й стадии технологического процесса, $k = \overline{1,4}$, а через $g_k(q_k)$ - минимальные затраты на обработку материального потока на k -й стадии технологического процесса. Тогда целевая функция, которая минимизирует удельные издержки на грузопереработку, определяется выражением

$$L(q_1, q_2, \dots, q_4) = \sum_{k=1}^4 g_k(q_k) / \sum_{k=1}^4 q_k \rightarrow \min \quad (1)$$

Задача может быть решена методом динамического программирования [1,2]. Для этого необходимо выявить уравнения процессов и определить технологические ограничения и параметры целевой функции.

Рассмотрим постановку задачи в двух вариантах. В первом варианте для процесса грузопереработки используется одна технологическая цепочка оборудования и поэтому уравнения процессов описываются следующим образом:

- для стадий 1:

$$f_1(p'_1, p''_1) = \min_{q_1} \left\{ a'_1 q_1 + b'_1 + f_0(p'_1, p''_1) \right\}; \quad (2)$$

$$f_0(p'_1, p''_1) = 0 \text{ для всех } p'_1, p''_1; \quad (3)$$

$$0 \leq q'_1 \leq \min \left\{ K_{\text{конт}} g_{\text{конт}} + q'_2 + q''_2, V_{\text{суд}} \right\} \quad (4)$$

$$q''_1 = 0 \text{ для всех } p''_2; \quad (5)$$

$$0 \leq p'_2 \leq p_{\max}; \quad p'_2 \text{ - параметр,} \quad (6)$$

- для стадий 1 и 2:

$$f_2(p'_3, p''_3) = \min_{q_2, q''_2} \left\{ a'_2 q'_2 + b'_2 + a''_2 q''_2 + \right. \\ \left. + b''_2 + f_1(p'_3 - q'_2 t_2, p''_3 - q''_2 t_2) \right\}; \quad (7)$$

$$0 \leq q'_2 \leq g'_{\text{скл}}; \quad (8)$$

$$0 \leq q''_2 \leq q''_3;$$

$$0 \leq q'_2 + q''_2 \leq \min \left\{ (g'_{\text{скл}} + q''_3); \right. \\ \left. K_{\text{конт}} g_{\text{конт}} \right\}; \quad (9)$$

$$0 \leq p'_3 \leq p_{\max}; \quad 0 \leq p''_3 \leq p_{\max}, \quad (10)$$

- для стадий 1, 2, 3':

$$f'_3(p'_4, p''_4) = \min_{q_3} \left\{ a'_3 q'_3 + b'_3 + \right. \\ \left. + f_2(p'_4 - q'_3 t_3, p''_4) \right\}; \quad (11)$$

$$0 \leq q'_3 \leq \min \{ (V_{\max} - V_0); g_{\text{скл}} \}; \quad (12)$$

$$0 \leq p'_4 \leq p_{\max}; \quad p'_4 \text{ - параметр,} \quad (13)$$

- для стадий 1, 2, 3', 3":

$$f''_3(p'_4, p''_4) = \min_{q''_3} \left\{ a''_3 q''_3 + b''_3 + \right. \\ \left. + f'_3(p'_4, p''_4 - q''_3 t_3) \right\}; \quad (14)$$

$$0 \leq q''_3 \leq q'_4 - g_{\text{скл}}; \quad (15)$$

$$0 \leq p''_4 \leq p_{\max}; \quad p'_4 \text{ - параметр,} \quad (16)$$

- для стадий 1, 2, 3', 3", 4:

$$f_4(p'_5, p''_5) = \min_{q_4} \left\{ a'_4 q'_4 + b'_4 + \right. \\ \left. + f''_3(p'_5 - q'_4 t_4, p''_5) \right\}; \quad (17)$$

$$0 \leq q'_4 \leq \min \{ (V_{\max} - V_0); K_{\text{пал}} g_{\text{пал}} \}; \quad (18)$$

$$q''_4 = 0 \text{ для всех } p''_5; \quad (19)$$

$$0 \leq p'_5 \leq p_{\max}; \quad p'_5 \text{ - параметр.} \quad (20)$$

Помимо этого, используются следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^4 q_i t_i \leq p_{\max}; \quad \sum_{i=1}^4 q_i t_i \leq p_{\max}. \quad (21)$$

В выражениях (2-21) используются следующие обозначения: $a'_1, a'_2, a'_3, a'_4, a''_2, a''_3$ - переменная составляющая стоимости грузопереработки на соответствующей стадии технологического процесса, у.е./т; $b'_1, b'_2, b'_3, b'_4, b''_2, b''_3$ - постоянная составляющая стоимости грузопереработки на соответствующей стадии технологиче-

ского процесса, у.е.; $K'_{конт}$ - количество грузовых контейнеров, поступающих со склада на погрузку на судно; $g_{конт}$ - норма загрузки одного контейнера, т; $V_{суд}$ - объем груза, максимально возможный для загрузки в контейнерах на судно, т; $t'_1, t'_2, t'_3, t'_4, t''_2, t''_3$ - норма времени на переработку 1 т груза на соответствующей стадии, ч/т; $g'_{скл}$ - количество груза на паллетах, поступающее со склада на затарку в контейнеры, т; $K_{конт}$ - количество порожних контейнеров; V_{max} - максимально возможный объем груза (емкость склада), т; V_0 - начальный запас на складе, т; $g_{скл}$ - количество груза в коробках, перемещаемых из зоны сортировки на склад из-за отсутствия транспортного средства, т; $K_{пал}$ - количество порожних паллет на складе; $g_{пал}$ - норма загрузки одной паллеты, т; p_{max} - лимит времени на проведение всех операций технологического процесса грузопереработки, ч.

Во втором варианте на одной стадии может использоваться несколько типов технологического оборудования и поэтому выражения (2, 7, 11, 14, 17) модифицируются и предстанут в следующем виде:

- для стадий 1:

$$f_1(p'_1, p''_1) = \min_{q'_1, k} \left\{ a'_1(k)q'_1 + b'_1(k) + f_0(p'_1, p''_1) \right\} \quad k=1,2; \quad (22)$$

- для стадий 1 и 2:

$$\begin{aligned} f_2(p'_3, p''_3) &= \\ &= \min_{q'_2, q''_2, k} \left\{ a'_2(k)q'_2 + b'_2(k) + a''_2(k)q''_2 + b''_2(k) + \right. \\ &\quad \left. + f_1(p'_3 - q'_2 t'_2(k), p''_2 - q''_2 t''_2(k)) \right\}; \end{aligned} \quad k=1,2,3; \quad (23)$$

- для стадий 1, 2, 3':

$$\begin{aligned} f'_3(p'_4, p''_4) &= \\ &= \min_{q'_3, k} \left\{ a'_3(k)q'_3 + b'_3(k) + f_2(p'_4 - q'_3 t'_3(k), p''_3) \right\} \\ &\quad k=1,2; \end{aligned} \quad (24)$$

- для стадий 1, 2, 3', 3":

$$\begin{aligned} f''_3(p'_4, p''_4) &= \min_{q''_3, k} \left\{ a''_3(k)q''_3 + b''_3(k) + \right. \\ &\quad \left. + f'_3(p'_4, p''_4 - q''_3 t''_3(k)) \right\} \\ &\quad k=1,2; \end{aligned} \quad (25)$$

- для стадий 1, 2, 3', 3", 4:

$$\begin{aligned} f_4(p'_5, p''_5) &= \min_{q'_4, k} \left\{ a'_4(k)q'_4 + b'_4(k) + \right. \\ &\quad \left. + f''_3(p'_5 - q'_4 t'_4(k), p''_5) \right\} \\ &\quad k=1. \end{aligned} \quad (26)$$

Ограничения (21) предстанут в виде:

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{k=1}^{m_i} q'_i t'_i(k) \leq p_{max};$$

Таблица 1

Результаты решения задачи для первого варианта

Время грузопереработки, ч	Объем грузопереработки по стадиям технологического процесса, т						Стоимость грузопереработки, р./т
	q'_1	q'_2	q''_2	q'_3	q''_3	q'_4	
15	6000	0	1800	0	1500	1000	74,12
16	6000	0	1800	400	1500	1000	74,23
17	6000	1200	1800	0	1500	1000	69,57
18	6000	1200	1800	0	1500	1000	69,57
19	6000	1200	1800	400	1500	1000	69,82
20	6000	1200	1800	600	1500	1000	69,67

Таблица 2

Результаты решения задачи для второго варианта

Время грузопереработки, ч	Объем грузопереработки по стадиям технологического процесса, т						Стоимость грузопереработки, р./т
	q'_1	q'_2	q''_2	q'_3	q''_3	q'_4	
16	6000	0	600	0	3000	1500	65,78
17	6000	0	1800	400	1500	1500	71,05
18	6000	0	1200	600	3000	1500	64,65
19	6000	0	1200	800	3000	1500	64,59
20	6000	0	1800	1000	3000	1500	63,27

Таблица 3

Результаты решения задачи для третьего варианта

Время грузопереработки, ч	Объем грузопереработки по стадиям технологического процесса, т						Стоимость грузопереработки, р./т
	q'_1	q'_2	q''_2	q'_3	q''_3	q'_4	
13	6000	0	600	0	0	0	107,17
14	6000	0	600	0	0	600	98,49
15	6000	0	600	400	0	600	97,36
16	6000	0	600	600	0	600	96,43
17	6000	0	600	600	0	600	96,43
18	6000	0	600	600	0	600	96,43
19	6000	0	600	600	0	600	96,43
20	6000	0	600	600	0	1200	89,76

Таблица 4

Результаты решения задачи для четвертого варианта

Время грузопереработки, ч	Объем грузопереработки по стадиям технологического процесса, т						Стоимость грузопереработки, р./т
	q'_1	q'_2	q''_2	q'_3	q''_3	q'_4	
16	8000	0	600	0	0	0	99,94
17	8000	0	600	0	0	400	96,35
18	8000	0	600	0	0	400	96,35
19	8000	0	600	400	0	400	95,52
20	8000	0	600	400	0	400	95,52

Таблица 5

Результаты решения задачи для пятого варианта

Время грузопереработки, ч	Объем грузопереработки по стадиям технологического процесса, т						Стоимость грузопереработки, р./т
	q'_1	q'_2	q''_2	q'_3	q''_3	q'_4	
10	4000	0	0	0	1500	600	88,15
11	4000	0	1200	400	1500	600	79,54
12	4000	1200	1200	0	1500	600	72,73
13	4000	1200	1200	0	1500	600	72,73
14	4000	1200	1200	400	1500	600	72,93
15	4000	1200	1200	600	1500	600	72,66
16	4000	1200	1200	600	1500	600	72,66
17	4000	1200	1200	600	1500	600	72,66
18	4000	1200	1200	600	1500	600	72,66
19	4000	1200	1200	600	1500	600	72,66
20	4000	1200	1200	600	1500	1200	68,36

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{k=1}^{m_i} q_i'' t_i(k) \leq p_{max}. \quad (27)$$

В выражениях (22-27) используются обозначения: $a'_1(k), a'_2(k), a'_3(k), a'_4(k)$,

$a''_2(k), a''_3(k)$ - переменная составляющая стоимости грузопереработки на соответствующей стадии технологического процесса при использовании k -го типа технологического оборудования,

у.е./т; $b'_1(k), b'_2(k), b'_3(k), b'_4(k), b''_3(k)$,

$b''_3(k)$ - постоянная составляющая стоимости грузопереработки на соответствующей стадии технологического процесса при использовании k -го типа технологического оборудования, у.е.;

$t'_1(k), t'_2(k), t'_3(k), t'_4(k), t''_2(k), t''_3(k)$ - норма времени на переработку 1 т груза на соответствующей стадии при использовании k -го типа технологического оборудования, ч/т; m_i - число

типов технологического оборудования, возможных для использования на i -й стадии процесса грузопереработки.

В качестве иллюстрации рассмотрим решение задачи во второй постановке. Для получения наглядной картины изменения стоимости грузопереработки от времени проведения операций расчет произведем для 5 вариантов.

Для первого варианта задачи исходные данные (условные обозначения приведены выше): $K'_{конт}=400$, $g_{конт}=20$ т, $V_{сыр}=6000$ т, $g'_{скл}=1500$ т, $K_{конт}=400$, $V_{max}=15000$ т, $V_0=3000$ т, $g_{скл}=1000$ т, $K_{пал}=2000$, $g_{пал}=1$ т.

Для второго варианта: $K'_{конт}=400$, $g_{конт}=20$ т, $V_{сыр}=6000$ т, $g'_{скл}=1300$ т, $K_{конт}=200$, $V_{max}=15000$ т, $V_0=3000$ т, $g_{скл}=1500$ т, $K_{пал}=3600$, $g_{пал}=1$ т.

Для третьего варианта задачи: $K'_{конт}=400$, $g_{конт}=20$ т, $V_{сыр}=6000$ т, $g'_{скл}=300$ т, $K_{конт}=200$, $V_{max}=15000$ т, $V_0=3000$ т, $g_{скл}=7000$ т, $K_{пал}=600$, $g_{пал}=1$ т.

Для четвертого варианта: $K'_{конт}=500$, $g_{конт}=20$ т, $V_{сыр}=8000$ т, $g'_{скл}=900$ т, $K_{конт}=200$, $V_{max}=35000$ т, $V_0=7000$ т, $g_{скл}=400$ т, $K_{пал}=800$, $g_{пал}=1$ т.

Для пятого варианта: $K'_{конт}=300$, $g_{конт}=20$ т, $V_{сыр}=4000$ т, $g'_{скл}=1500$ т, $K_{конт}=200$, $V_{max}=15000$ т, $V_0=8000$ т, $g_{скл}=600$ т, $K_{пал}=1500$, $g_{пал}=1$ т.

Для всех пяти вариантов:

$$\begin{aligned} b'_1(1) &= 7500, \quad a'_1(1)=2.4, \quad b'_1(2)=5700, \\ a'_1(2) &= 2.6, \quad b'_2(1)=480, \quad a'_2(1)=1, \\ b'_2(2) &= 350, \quad a'_2(2)=1.5, \quad b'_2(3)=280, \\ a'_2(3) &= 2, \quad b''_2(1)=480, \quad a''_1(1)=1.2, \\ b''_2(2) &= 350, \quad a''_2(2)=1.7, \quad b''_2(3)=280, \\ a''_2(3) &= 2.2, \quad b'_3(1)=210, \quad a'_3(1)=2, \\ b'_3(2) &= 0, \quad a'_3(2)=3, \quad b''_3(2)=0, \quad b''_3(1)=0, \\ a''_3(1) &= 2.5, \quad b''_3(1)=210, \quad a''_3(2)=0.2, \\ b'_4(1) &= 0, \quad a'_4(1)=0.1, \\ t'_1(1) &= 1/600, \quad t'_1(2)=1/500, \quad t'_2(1)=1/400, \\ t'_2(2) &= 1/300, \quad t'_2(3)=1/200, \quad t''_2(1)=1/200, \\ t''_2(2) &= 1/150, \quad t''_2(3)=1/100, \quad t'_3(1)=1/200, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t'_3(2) &= 1/100, \quad t''_3(1)=1/250, \quad t''_3(2)=1/300, \\ t'_4(1) &= 1/600, \quad p_{max}=20 \text{ ч.} \end{aligned}$$

Время обработки грузопотоков меняется от минимального, при котором возможна загрузка судна, до 20 ч. Результаты решения задачи для пяти вариантов при коэффициенте перевода 30,5 р./у.е. представлены в табл. 1-5.

Для наглядного представления изменения стоимости грузопереработки от времени выполнения операций для первого варианта отражено на рис. 2.

Анализ табл. 1-5 и рис. 2 показывает, что при увеличении общего времени проведения грузовых операций снижается стоимость грузопереработки, при снижении количества порожних паллет на складе не происходит формирования новых паллет, берется резерв со склада для загрузки контейнеров, для обработки грузопотоков используется в основном одно и то же технологическое оборудование, имеющее высокую производительность и относительно низкую стоимость переработки.

Использование данной технологии позволяет определить степень загрузки машин и механизмов, расставить их по линиям обработки грузопотоков с максимальной эффективностью, рассчитать уровни запасов продукции по технологическим зонам склада, выявить резервы времени по

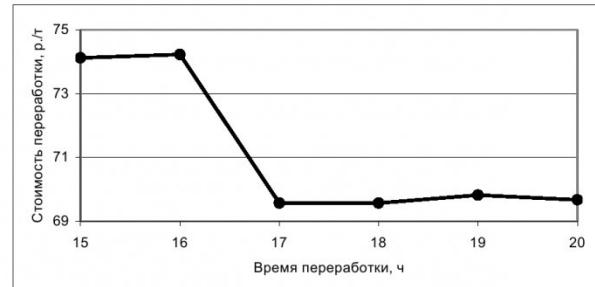


Рис. 2. График изменения стоимости грузопереработки для первого варианта

стадиям для проведения вспомогательных работ. Ограничение во времени обработки судна и величина прибывающих на автомобиле грузов в порт влияют на выбор оптимальной цепочки технологического оборудования по стадиям процесса и позволяют гибко управлять транспортно-технологическими системами с минимальными затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования: Пер. с англ. /Под ред. А.А. Первозванского. - М.: Наука , 1965. - 460 с.
2. Арис Р. Дискретное динамическое программирование. – М.: Мир, 1969. – 171 с.

□ Автор статьи:

Тюрин
Алексей Юрьевич
– канд. экон. наук, доц. каф.
автомобильных перевозок