

ЗАДАЧА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА ДОСТАВКИ ГРУЗА С КОНСИГНАЦИОННОГО СКЛАДА

Архипова И.Л., Заложнев А.Ю., Ярусова И.Н.

(Институт проблем управления РАН, Москва)

alzal@rinform.ru

В данной работе рассматривается задача выбора оптимального способа доставки консолидированной партии товаров с консигнационного склада, находящегося вне таможенной территории, на которой осуществляет свою деятельность фирма-импортер, на таможенный склад временного хранения. Выбор способа доставки производится между авиа- и автодоставкой грузов. Оптимальность способа доставки понимается в смысле минимизации издержек фирмы-импортера.

В работе [1] решается задача определения оптимального периода времени консолидации поступающих грузов в одну партию на консигнационном складе. Установлено, что случаев авиа- и автодоставки значения t_1^* и t_2^* для оптимального периода времени консолидации задаются, соответственно, следующими выражениями:

$$(1) t_1^* = + \sqrt{t_n^2 + 2 \times \frac{G}{hs}},$$

$$(2) t_2^* = + \sqrt{t_n^2 + 2 \times \frac{(D+G)}{hs}}.$$

Переменные, фигурирующие в выражениях (1) и (2) как и в [1] несут следующую смысловую нагрузку:

1. t_n – нормативный промежуток времени между моментом поступления товара на консигнационный склад и моментом, начиная с которого на фирму-импортера накладываются штрафные санкции со стороны конечного покупателя за просрочку поставки товара. Величина t_n равна среднему по совокупности контрактов (или средневзвешенному по стоимости товара) нормативному (указываемому в контрактах) интервалу времени от момента оплаты товара (или оговоренной части его стоимости) до момента отгрузки

(передачи) товара конечному покупателю (t_c) за минусом суммы среднего времени между моментом заказа товара фирмой-импортером, предположительно совпадающим с моментом его оплаты конечным покупателем, и моментом поступления товара на консигнационный склад со складов производителей или поставщиков (t_{p1}), за минусом среднего времени доставки товара с консигнационного склада на таможенный склад временного хранения (СВХ), на котором зарегистрирована фирма-импортер (t_{p2}), за минусом среднего времени обработки груза на СВХ (t_{p3}), включая его растаможивание, и, наконец, за минусом среднего времени обработки груза на складе фирмы до момента его передачи (отгрузки) конечному покупателю (t_{p4}):

$$t_n = t_c - t_{p1} - t_{p2} - t_{p3} - t_{p4} \text{ (суток).}$$

2. s – средняя интенсивность поступления товара на консигнационный склад, выражаемая в условных единицах в сутки (у.е./сутки).

3. h – средняя (средневзвешенная) ставка штрафных санкций, фиксируемая в договорах на поставку (продажу) товаров между фирмой-импортером и конечными покупателями. В модели [1] штрафные санкции начинают начисляться после того, как товар, поступивший на консигнационный склад в момент t , пробудет на нем промежуток времени, равный t_n , т.е. с момента $t + t_n$ (безразмерная величина).

4. G – стоимость услуг таможенного брокера, не зависящая от количества партий товаров, консолидированных в одну на консигнационном складе (условных единиц).

5. D – стоимость доставки трака (фуры) от консигнационного склада до таможенного склада временного хранения (условных единиц).

В модели, рассматриваемой в работе [1], содержатся также другие переменные, не входящие в финальные выражения (1) и (2), но существенные с точки зрения настоящего рассмотрения. Относительно этих переменных в [1] формулируются следующие предположения и допущения:

1. m – средний вес (кг) партии товара стоимости s , поступающей на консигнационный склад, т. е. на консигнационный склад ежедневно поступает товар весом m кг; $m \times t$ – масса товара, поступившего на консигнационный склад за время t (кг/сутки).

2. b – стоимость доставки 1 кг груза авиатранспортом с консигнационного склада на СВХ (у.е./кг).

В настоящей работе мы в целях повышения адекватности модели будем рассматривать некоторые из этих предпосылок в уточненном виде:

1. Предполагается, что при доставке груза автотранспортом существует возможность выбора фуры (трака) из некоторого набора фур различной грузоподъемности – P_1, P_2, \dots, P_k , например, 3.5, 5.0, ..., 20 тонн, каждая из которых имеет свою стоимость доставки с консигнационного склада до СВХ – D_1, D_2, \dots, D_k .

2. В рассматриваемой модели мы отказываемся от упрощающего предположения, что интенсивность поступления товаров на консигнационный склад составляет m кг/сутки по весу и s у.е./сутки по стоимости. В данной модели рассматривается поток грузов, в том виде, в котором он поступает на консигнационный склад, т.е. за промежуток времени t_i (за i суток от начала формирования консолидируемой партии) на склад поступает груз массой m_i и стоимостью s_i .

3. Из предположения 2 следует, что рассматриваемая задача является задачей с дискретным временем.

4. Суммарный вес груза, накопленный за первые i периодов времени (суток) консолидации, составит

$$M(t_i) = M(i) = M_i = \sum_{j=1}^i m_j, \text{ где } t_i = i \times \Delta_i = i, \text{ поскольку } \Delta_i = 1.$$

В ходе дальнейшего рассмотрения будут уточнены и некоторые другие из предпосылок, сформулированных выше.

Используя имеющуюся информацию, попытаемся ответить на вопрос: в каких случаях при доставке консолидированной партии грузов с консигнационного склада на СВХ следует использовать авиадоставку, а в каких – автодоставку. В схематическом виде решаемая задача может быть проиллюстрирована рисунком 1.

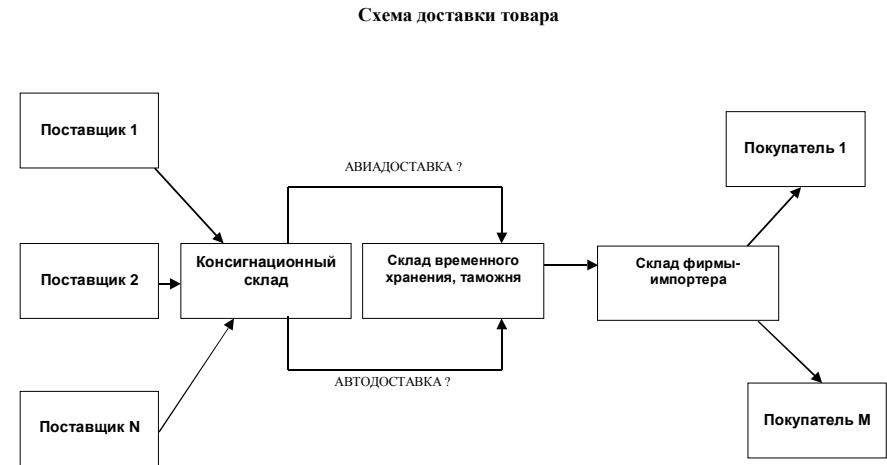


Рис. 1

Отметим, что выражения (1) и (2) для величин t_1^* и t_2^* получены в [1] на основании решения задачи, в которой время, в отличие от настоящей модели, рассматривалась как непрерывная величина. В [1] при построении формул (1) и (2) также делались определенные допущения, позволяющие использовать не конкретные значения переменных и параметров, а их определенным образом усредненные значения. В настоящей работе на первом этапе мы будем использовать выражения для оптимального времени консолидации в видах (1) и (2), а затем покажем, как можно отказаться от предположений, сформулированных в [1]. Заранее укажем, что отказ от использования этих предположений приводит к существенному усложнению алгоритма решения задачи.

Отметим также, что в настоящей модели уже в ее исходной постановке величина t_2^* (случай автодоставки) изменяется в зависимости от значения величины D_j – стоимости доставки фуры грузоподъемностью P_j с консигнационного склада на СВХ, т.е.

$$t_2^* = (t_{2j}^*, j=1, k) = (t_2^*(D_j), j=1, k) – \text{вектор размерности } k.$$

Сформулированная выше задача может быть решена с использованием нижеследующего алгоритма 1-5.

1. Основываясь на предыдущих рассуждениях, можно определить момент времени $t^{**}(D_1, M) = t_i = i$, начиная с которого автодоставка груза фуры наименьшей грузоподъемности P_1 и, соответственно, наименьшей стоимости D_1 становится более предпочтительной, чем авиадоставка (см. рисунок 2):

$$(3) t^{**}(D_1, M) = t_i : M(t_i) = M_i \geq \frac{D_1}{b},$$

или, что то же самое, $t^{**}(D_1, M) = t_i : b \times M_i \geq D_1$ при выполнении условий:

$$(4) M_i < P_1, t_i \leq t_1^*.$$

Выполнение соотношения

$$(5) M_i \geq \frac{D_1}{b} \Leftrightarrow b \times M_i \geq D_1$$

означает, что стоимость доставки единицы веса груза способом автодоставки меньше, чем способом авиадоставки, начиная с момента $t^{**} = t_i$. А соотношения (4) означают, во-первых, что общий вес консолидированного груза не превосходит грузоподъемности

фуры наименьшей грузоподъемности – P_1 и, во-вторых, время консолидации партии груза на момент t^{**} не превысило оптимального времени консолидации при авиационном способе доставки – t_1^* .

2. Формирование партии груза продолжается до тех пор, пока для какого-то момента $t_i = i$ не выполнится одно из соотношений:

$$(6) t_i = i \geq t_{21}^* \text{ либо } M_i \geq P_1.$$

2.1. Если при этом выполняется соотношение

$$(7) M_i \geq \frac{D_2}{b},$$

то можно продолжить накопление товара на складе с целью формирования следующей по грузоподъемности (P_2) фуры до тех пор, пока не выполнится одно из соотношений

$$(8) t_i = i \geq t_{22}^* \text{ либо } M_i \geq P_2,$$

аналогичных соотношениям (6) и т.д. Этот процесс может быть продолжен до тех пор, пока при выполнении соотношений аналогичных соотношениям (6) или (8) не нарушится соотношение аналогичное соотношению (7) (см. график M_1 на рисунке 2).

Если при выполнении одного из соотношений (6) не выполняется соотношение (7), то следует завершить формирование фуры грузоподъемностью P_1 и стоимостью D_1 . Аналогично следует поступать и в дальнейшем при формировании фур большей грузоподъемности – P_2, P_3, \dots, P_{k-1} .

3. При формировании фуры грузоподъемностью P_k (если до этого дойдет) проверка соотношения аналогичного соотношениям (5) и (7) не производится, т.к. фуры большей грузоподъемности и перевозчика отсутствуют. Ее формирование завершается при выполнении одного из условий аналогичных парам условий (6) и (8):

$$(9) t_i = i \geq t_{2k}^* \text{ либо } M_i \geq P_k.$$

4. Если при завершении формирования фуры грузоподъемностью P_j условие

$$(10) M_i \geq P_j$$

выполняется как строгое неравенство, то партия (партии) товаров, прибывшая последней в фуру не загружается, поскольку, исходя из технических соображений – в целях недопущения перегруза автомашины, должно выполняться соотношение

$$(11) M_i \leq P_j.$$

Последняя (последние) из пришедших на консигнационный склад партий остается на нем, и с нее (с того времени, когда она поступила на склад) начинается формирование (отсчет времени формирования) новой консолидированной партии товаров для дальнейшей отправки на СВХ.

5. Если при формировании фуры грузоподъемностью P_1 соотношение

$$(12) t_i = i \geq t_1^*$$

выполняется ранее чем соотношение (5), то процесс консолидации партии завершается, фура не формируется, а перевозка партии товара с консигнационного склада на СВХ производится способом авиадоставки.

12

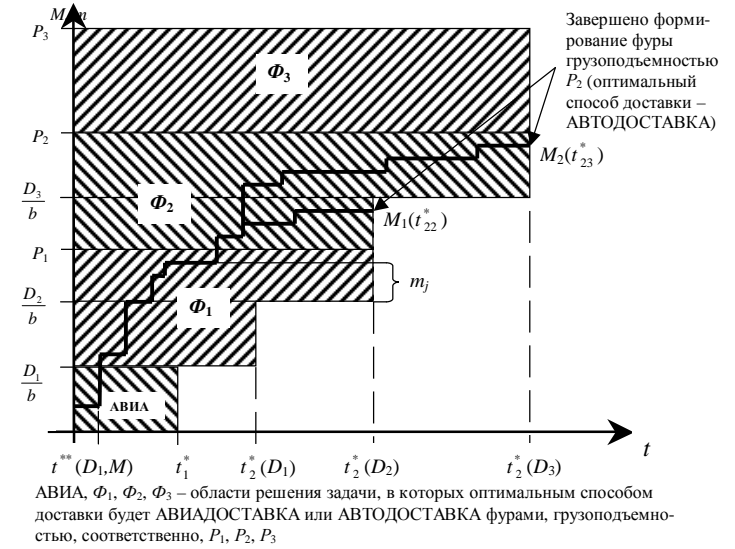


Рис. 2

В продолжение рассмотрения сформулированной выше задачи покажем, каким образом в целях повышения адекватности принимаемых управленческих решений можно отказаться от предпосылок, сделанных в работе [1], на основании которых были получены оценки (1) и (2) для оптимального времени консолидации грузов на консигнационном складе для случаев авиа- и автодоставки, и получить более точные оценки этих величин.

Рассмотрим выражения для накопленных к моменту $t_i = i$ суммарных относительных ожидаемых издержек по консолидированной партии товаров, которые будет нести фирма-импортер с момента поступления грузов на консигнационный склад до момента отгрузки товаров с ее собственного склада в адрес конечных покупателей. Выражения представляют собой отношения суммы издержек по обработке грузов на консигнационном складе, доставке грузов с консигнационного склада на СВХ, растаможиванию грузов и уплате штрафных санкций за несвоевременную отгрузку товаров конечным покупателям к общей стоимости товаров, вошедших в консолидированную партию на момент t_i . Общий вид этих выражений (функций) для случаев авиа- и автодоставки аналогичен виду функций относительных издержек, предложенных в работе [1], и имеет вид:

$$(13) F_1(t_i, b) = \frac{H(t_i)}{S(t_i)} + \frac{L(t_i)}{S(t_i)} + \frac{R(t_i)}{S(t_i)} + \frac{b \times M(t_i) + G}{S(t_i)},$$

$$(14) F_2(t_i, D_j) = \frac{H(t_i)}{S(t_i)} + \frac{L(t_i)}{S(t_i)} + \frac{R(t_i)}{S(t_i)} + \frac{D_j + G}{S(t_i)}.$$

Переменные, входящие в выражения (13) и (14), имеют следующие смысловые значения. $S(t_i) = S_i = \sum_{j=1}^i s_j$ – суммарная стоимость партии груза, накопленного на консигнационном складе к моменту t_i за первые i периодов времени консолидации (суток). $H(t_i) = H_i$ – накопленные к моменту t_i ожидаемые суммарные штрафные санкции за несвоевременную отгрузку товаров конечным покупателям по товарам, включенным в данную консолидированную партию; эта величина является оценочной и рассчитывается с учетом того, что после отгрузки с консигнационного склада до момента отгрузки конечному покупателю товары, входящие в

консолидируемую партию, как было указано выше, должны будут пройти еще несколько этапов продвижения (А, Б, В) как в виде единой партии, так и отдельно друг от друга. Эти этапы могут быть описаны усредненными временными характеристиками, поскольку их реализация относится к будущему времени.

А) этап доставки партии товара с консигнационного склада на СВХ, характеризуемый средним временем доставки – t_{p2} ,

Б) этап обработки партии на СВХ, характеризуемый средним временем t_{p3} ,

В) этап обработки товаров на складе фирмы-импортера, заканчивающийся отгрузкой товара конечному покупателю, характеризуемый средним временем t_{p4} (для различных типов товаров время обработки, вообще говоря, различно).

Отметим, что по отдельным контрактам, товары, относящиеся к которым входят в консолидированную партию, ставки штрафных санкций, вообще говоря, различны.

$L(t_i) = L_i$ – суммарные издержки по обработке грузов на консигнационном складе по товарам, накопленным на складе к моменту t_i .

$R(t_i) = R_i$ – ожидаемые суммарные издержки по растаможиванию грузов, накопленных на консигнационном складе к моменту t_i (без стоимости услуг таможенного брокера), включая оплату НДС и ввозных таможенных пошлин и сборов, а также услуг СВХ. Издержки R_i определены как «ожидаемые», поскольку они на момент t_i могут быть определены с существенно меньшей степенью точности, чем издержки L_i .

G, b, D_j – эти величины были определены выше.

Укажем, что расчет величин H_i, L_i, R_i является самостоятельной задачей, требующей определенной автоматизации логистических процедур, и в настоящей работе не рассматривается. В дальнейшем предполагается, что значения H_i, L_i и R_i тем или иным способом вычисляются.

Покажем теперь, как можно использовать функции $F_1(t_i)$ и $F_2(t_i)$ для определения оптимального времени консолидации грузов на консигнационном складе для случаев авиа- и автодоставки, т.е. величин t_1^* и $t_{2j}^*, j=1, k$, соответственно.

Для определения этих величин воспользуемся следующей процедурой, которую опишем для случая функции $F_1(t_i)$ – для определения величины t_1^* , т.е. для случая авиадоставки.

1. Вычисляются значения функции $F_1(t_i)$ последовательно для значений $i=1,2,\dots,i-1,i,i+1,\dots$ и, соответственно, продолжается консолидация партии грузов до тех пор, пока выполняются соотношения

$$(15) F(t_{i-1}) > F(t_i)$$

или

$$(16) F(t_{i-1}) > F(t_i) + d,$$

где d – наперед заданная достаточно малая безразмерная величина.

2. Как только выполняются соотношения

$$(17) F(t_{i-1}) \leq F(t_i)$$

или

$$(18) F(t_{i-1}) \leq F(t_i) + d,$$

то выполнение процедуры заканчивается и, соответственно, завершается консолидация партии грузов; при этом полагается, что

$$(19) t_1^* = t_i.$$

Отметим, что в случае, когда соотношение (17) выполняется как строгое неравенство, т.е. имеет место

$$(20) F(t_{i-1}) < F(t_i),$$

точным значением величины t_1^* является t_{i-1} . Но с практической точки зрения, поскольку величина $F(t_i)$, фигурирующая в (20), как правило, может быть определена не ранее достижения момента t_i , в качестве значения t_1^* приходится выбирать t_i , а не t_{i-1} – ведь момент t_{i-1} уже остался в прошлом.

Аналогичные рассуждения могут иметь место и при определении величин t_{2j}^* для случая автодоставки.

Отметим, что применение автоматизации учета размещенных заказов может быть весьма полезным при реализации алгоритма п.1- п.5 и, в частности, при реализации п. 2.1 в привязке к только что изложенной процедуре. Информация о предстоящих поступлениях товаров на склад может быть использована при решении вопроса: продолжить ли формировании консолидированной партии грузов, ориентированной на автодоставку при достижении момента времени t_{2j}^* или завершить ее. Продление времени формирования

партии целесообразно в том случае, когда до наступления момента t_{2j+1}^* ожидается поступление на консигнационный склад партий товаров такого суммарного веса, что выполнится соотношение:

$$(21) M(t_{2j+1}^*) > P_j,$$

т.е. станут целесообразными заказ и оплата фуры грузоподъемностью P_{j+1} .

Укажем также, что в случае отсутствия автоматизации учета размещенных заказов или в случае, когда точное прогнозирование поступления партий товаров на консигнационный склад оказывается, по каким-либо причинам, невозможным для ответа на вопрос о выполнимости соотношения (21) в момент t_{2j}^* следует проверить выполнимость соотношения

$$(22) s \times (t_{2j+1}^* - t_{2j}^*) > P_j - M(t_{2j}^*),$$

где s определяется также как для выражений (1) и (2).

Если соотношение (22) выполняется, то в момент t_{2j}^* следует продолжить формирование фуры, рассчитывая в момент t_{j+1}^* иметь на консигнационном складе достаточно груза для заполнения фуры грузоподъемностью P_{j+1} . Если соотношение (22) не выполняется, то в момент t_{2j}^* следует прекратить формирование фуры (консолидированной партии) грузоподъемностью P_j с учетом выполнения действий, содержащихся в пункте 4 алгоритма 1-5.

Только что высказанные соображения могут быть проиллюстрированы рисунком 3.

В заключение рассмотрим, как решается задача определения оптимального способа доставки груза с консигнационного склада для конкретных значений параметров, представленных в таблице 1.

Таблица 1

	АВИА	Φ_1	Φ_2	Φ_3	
P	-	3 500	6 500	20 000	кг
D	-	2 350	2 700	3 100	у.е.
G, G_j	500	1 500	1 700	2 200	у.е.
t_n	13	10	10	10	суток
$b = 4$ у.е./кг		$h = 0,01$		$s = 5 000$ у.е./сутки	

Из таблицы видно, что в данном случае величина G является переменной и зависит от грузоподъемности фуры и ее стоимости. Действительно, она напрямую зависит от оценки стоимости партии типового товара аналогичного данному (например, для технологического оборудования таким аналогом могут служить определенные виды бытовой техники), который может быть доставлен фурой рассматриваемой грузоподъемности, поскольку в реальных условиях объем работы брокера напрямую связан с количеством товарных позиций и их стоимостью (в дальнейшем мы будем учитывать это соображение).

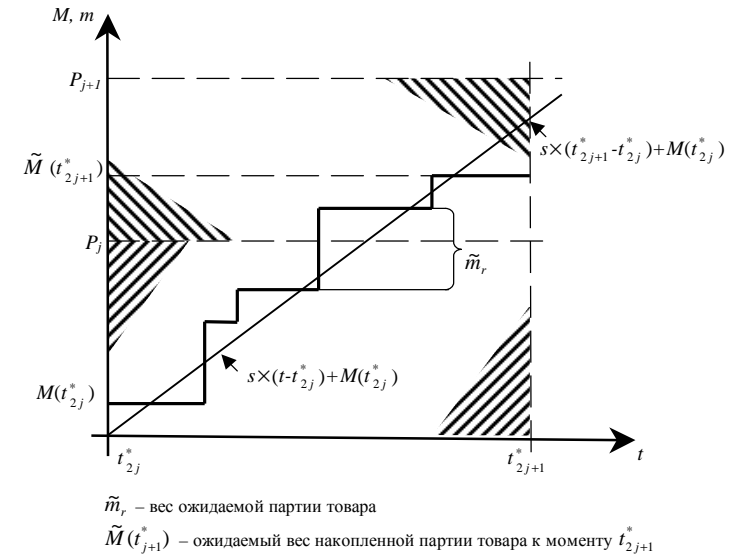


Рис. 3

Таблица 2

	АВИА	Φ_1	Φ_2	Φ_3	
\hat{D}_j	-	840	980	1 200	кг
t^*	14	16	17	18	суток

Величина t_n в реальных условиях для случаев авиа- и автодоставки также различна, поскольку при авто-доставке, следует учитывать существование задержек, связанных как с процессом ожидания прибытия фуры определенной грузоподъемности на консигнационный склад и с ее погрузкой, так и с процессом пересечения ею государственных и таможенных границ. Как правило, в рассматриваемом случае эти задержки составляют около трех суток. На эту величину и должно быть, соответственно, уменьшено значение t_n для случая автодоставки – t_{n2} по сравнению со значением этой величины для случая авиадоставки ($t_{n1} = t_n$).

С учетом только что сказанного формулы (1) и (2) принимают вид

$$(23) t_1^* = + \sqrt{t_{n1}^2 + 2 \times \frac{(D_j + G_j)}{hs}},$$

$$(24) t_2^* = + \sqrt{t_{n2}^2 + 2 \times \frac{(D_j + G_j)}{hs}}.$$

Подставляем значения параметров для случаев авиа- и автодоставки из таблицы 1 в уравнения (23) и (24) и получаем значения для оптимальных времен консолидации грузов t_1^* и t_2^* , которые представлены в таблице 2. Эта таблица также содержит значения

$$\hat{D}_j = \frac{D_j + G_j - G}{b}, \text{ аналогичные фигурирующим в соотношениях}$$

(5) значениям $\frac{D_j}{b}$ для случая автодоставки, но рассчитанные с учетом того, что стоимость услуг таможенных брокеров различна для разных способов доставки консолидированной партии и для фур различной грузоподъемности в случае автодоставки. Значения t_1^* и t_2^* в таблице 2 округлены до целых суток, а \hat{D}_j – до десятков килограмм.

Полученные результаты могут быть проиллюстрированы рисунком 4.

Следует отметить, что близость друг к другу значений \hat{D}_j – веса консолидированной партии, начиная с которого автодоставка фурой грузоподъемностью P_j становится экономически более выгодной чем авиадоставка, которое мы наблюдаем по оси M на рисунке 4, а также то, что все эти значения существенно меньше значения P_1 – грузоподъемности наименьшей из фур, может свидетельствовать о следующем. Автоперевозчик знаком с условиями авиаперевозок и стремится сделать (при прочих равных условиях) автоперевозки более выгодными, по сравнению с авиаперевозками, для любых партий товара, начиная с веса партии приблизительно в 1000 килограмм.

На основании полученных результатов для заданных значений параметров могут быть сделаны практические выводы, которые оформлены в виде нижеследующего алгоритма принятия решений 1-3:

1. Если за первые 14 дней ($= t_1^*$) формирования консолидированной партии товаров ее суммарный вес составит менее 800 кг ($800 < 840 = \frac{D_1}{b}$) и в ближайшие четыре дня ($14+4=18=t_{23}^*$) не ожидается поступления груза весом не менее 500 кг ($800 + 500 = 1300 > 1200 = \frac{D_3}{b}$), то следует завершить формирование консолидированной партии и воспользоваться авиадоставкой для ее перевозки с консигнационного склада на склад временного хранения (СВХ).

2. Если за первые 14 дней формирования консолидированной

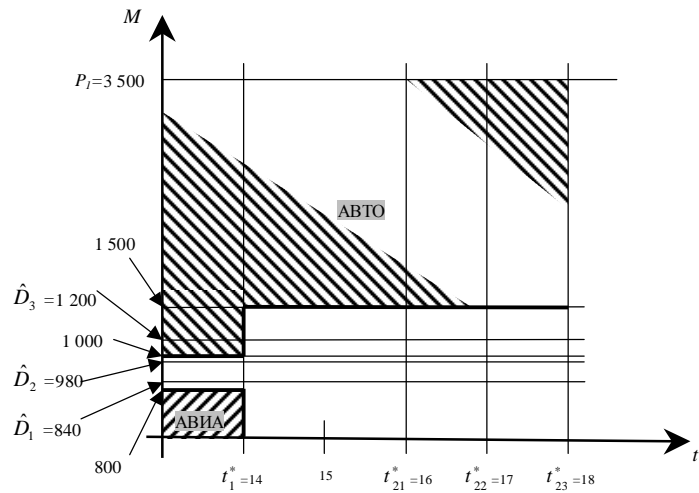


Рис. 4

21

партии товаров ее суммарный вес превысит 1000 ($1000 > 980 = \frac{D_2}{b}$) и в ближайшие четыре дня ожидается поступление груза

весом более 300 кг ($1000 + 300 = 1300 > 1200 = \frac{D_3}{b}$), то можно

продолжить формирование консолидированной партии товаров еще в течение 4-х дней. Сформированную на 18-й день партию следует отправлять способом автодоставки, используя при этом фуру наименьшей грузоподъемности из тех, в которую поместится весь груз (P_2 или P_3).

3. Промежуточные случаи требуют отдельного рассмотрения с привлечением дополнительной информации.

Условия реализации пунктов 1 и 2 данного алгоритма могут быть проиллюстрированы рисунком 4 в виде областей “АВИА” и “АВТО”, соответственно.

Литература

1. ЗАЛОЖНЕВ А.Ю., КЛЫКОВ А.Ю., ЯРУСОВА И.Н. *О задаче определения оптимального периода времени консолидации грузов на консигнационном складе* (в печати).