

Формирование сменного графика работы персонала с учетом внутрисуточных неравномерностей товаропотока

Владимир Евгеньевич Ружицкий

Ведущий аналитик ООО «Концепт Лоджик»

Современный складской комплекс является сложной и дорогостоящей системой, требующей значительных затрат для своего создания и эксплуатации. При этом основные затраты обычно приходятся на операционные расходы (заработная плата, эксплуатация зданий, т.п.), годовой объем которых нередко достигает пятидесяти и более процентов от стоимости самого склада при этом фонд заработной платы может достигать 80% от всех операционных затрат. В этих условиях для повышения эффективности работы складского комплекса, а, следовательно, и бизнеса компании – владельца склада в целом, требуется оптимизировать состав и использование персонала и техники с целью минимизации эксплуатационных расходов при сохранении уровня обслуживания клиентов. Необходимо отметить, что решение такой задачи требуется и на этапе логистического проектирования склада, в процессе которого закладываются основные характеристики складского комплекса, определяющие в дальнейшем его стоимостные и эксплуатационные показатели.

Очевидно, что наиболее эффективно ресурсы будут использоваться при равномерной загрузке склада, т.е. при отсутствии простоев и перегрузок. Однако практически любой реальный склад функционирует в условиях тех или иных неравномерностей товаропотока. Это могут быть сезонные неравномерности, неравномерности прихода транспорта, связанные с пробками и другими случайными задержками в пути, неравномерности, определяемые внутринедельными или внутримесячными колебаниями спроса и т.д. В данной статье рассматриваются часто встречающиеся на практике ситуации, в которых неравномерности загрузки персонала и оборудования связаны с регламентом работы поставщиков и клиентов, например, прием входящего товаропотока требуется производить ночью, а отбор заказов и их отгрузка клиентам – днем и т.п. Суть задачи заключается в том, что если определять требуемые ресурсы склада исходя из среднесуточных характеристик товаропотока, то постоянно будут возникать очереди на прием и отгрузку товаров, для ликвидации которых потребуются сверхурочные работы,

т.е. дополнительные затраты. Если же ресурсы склада ориентированы на максимальный товаропоток, то большую часть времени значительная доля ресурсов будет простаивать, что также ведет к возникновению дополнительных затрат. Таким образом, можно ожидать, что где-то будет находиться «золотая середина» численности оборудования и персонала, при которой затраты на эксплуатацию склада будут минимальными. Данная статья как раз и посвящена определению таких оптимальных параметров склада.

При решении рассматриваемой задачи необходимо учитывать следующие особенности работы реальных складов:

- операции по обработке товаропотоков имеют определенный порядок, пока не завершены все требуемые предыдущие операции данная операция начаться не может, при этом могут возникать очереди на выполнение определенных операций и простои при выполнении других;
- часто имеются определенные требования ко времени выполнения некоторых операций, связанные с требованиями бизнеса в целом, например, дневное время для самовывоза товаров клиентами, ночное время для отгрузок собственным транспортом и т.п.;
- в рамках входного и выходного товаропотоков имеется широкое многообразие разнотипных потоков, требующих разных технологий обработки, например, разгрузка крупнотоннажного транспорта осуществляется погрузчиками, малотоннажный транспорт разгружается вручную и т.п.;
- могут существовать работы, требующие специализированное оборудование и/или персонал, а также различные работы, которые выполняются одним и тем же персоналом и оборудованием.

Необходимо отметить, что в реальной работе склада также могут возникать различные случайные изменения параметров товаропотока, например, задержки транспорта в пути, болезни персонала и т.д. Однако на крупных складах такие случайные изменения будут относительно небольшими, поэтому на первом этапе выбора ресурсов склада их можно не учитывать.

Также в рамках данной статьи считается, что компанией уже исчерпаны все ресурсы по изменению взаимоотношений с поставщиками и клиентами, т.е. снизить неравномерности

товаропотока за счет изменения требуемого времени выполнения операций больше не удается.

Таким образом, в руках руководства компании (или склада) остаются следующие параметры, за счет которых можно осуществить снижение затрат:

- численность погрузочно-транспортного оборудования каждого типа
- количество и время начала работы смен сотрудников склада;
- численность и состав каждой смены.

Ниже рассматривается способ определения указанных параметров с целью минимизации затрат на эксплуатацию склада при условии обработки всего товаропотока в каждый заданный интервал времени с учетом порядка выполнения операций, дополнительных требований по времени выполнения отдельных работ и наличия товарных потоков, различающихся по технологиям обработки.

Для решения задачи необходимы следующие исходные данные:

- суммарный товаропоток, проходящий через склад, и объемы входящего и исходящего товаропотоков (задача может быть решена и при неравенстве входящего и исходящего потоков);
- перечень всех складских операций, различающихся требуемым для их выполнения персоналом, оборудованием и производительностью персонала и оборудования (например, разгрузка коробочного и паллетированного товара рассматривается как две разные операции);
- доли товаропотока, для которых выполняется каждая операция;
- производительности персонала и оборудования при выполнении каждой операции, если сотрудники данной профессии или оборудование не может применяться для выполнения какой-либо операции, то их производительность для операции будет равна нулю;
- время работы склада и требуемые границы времени для выполнения каждой операции, если специальные требования ко времени выполнения операции отсутствуют, то время выполнения операции будет равно времени работы склада, также при задании времени учитывается порядок выполнения операций;

- затраты на каждый вид оборудования и на работу персонала для всех специальностей в единицу времени, при этом затраты на оборудование должны включать приведенные к единице времени затраты на его приобретение;
- признак переменности ресурса (если затраты на ресурс пропорциональны времени его работы, то ресурс считается переменным, если затраты на ресурс не зависят от времени его работы, например, для докового оборудования, то ресурс считается постоянным).

Необходимо добавить, что понятие ресурса может быть обобщено на площади и объемы технологических зон, при этом производительность этих ресурсов определяется как требуемое количество ресурса для обработки единицы товаропотока в единицу времени. С вводом такого обобщения предлагаемая модель позволит оптимизировать и размеры технологических зон склада.

Указанные исходные данные могут быть получены путем обработки статистических данных, имеющихся в учетной системе склада и из требований к условиям его работы и применяемым технологиям обработки товаропотока.

Решение задачи разбивается на две части. Для постоянного оборудования определение его требуемого количества производится исходя из обычных уравнений баланса товаропотока:

$$N_i = \max_{j=1 \dots J} \frac{Q \cdot d_j}{q_{ij} \cdot T_j}, \quad (1)$$

где

N_i - количество ресурса i -го вида, $i=1 \dots M$;

M - число видов ресурса;

J - количество различных операций, выполняемых при обработке товаропотока;

Q - объем товаропотока;

d_j - доля товаропотока, для которой выполняется j -ая операция;

q_{ij} - производительность i -го ресурса при выполнении j -ой операции;

T_j - требуемая (разрешенная) длительность выполнения j -ой операции.

Для переменных ресурсов решается оптимизационная задача вида:

$$\sum_{t=1, t \in \{\tau_j\}}^T \sum_{i=1}^M \sum_{v=v_0}^t N_{iv} \cdot C_{iv} \rightarrow \min; \quad (2)$$

$$\sum_{t=t_1}^{t_2} Q \cdot \sum_{j=1, j \in \{J(t_1, t_2)\}}^J d_j / q_{ij} \leq \sum_{v=\max\{0, t_1 - \Delta\}}^{t_2 - 1} N_{i,v}; \quad t_1 = \overline{1, T-1}; \quad t_2 = \overline{i+1, T}; \quad (3)$$

$$i = \overline{1, M}$$

где

T - общее число интервалов времени, на которое делится один период работы склада (периодом работы склада при данных расчетах является один рабочий день, а если склад работает круглосуточно, то периодом являются одни сутки), длительность одного интервала, в течение которого ресурсы считаются неизменными полагается равным δ (час.);

$\{\tau_j\}$ - интервал времени, в который может выполняться j -ая операция, условие $t \in \{\tau_j\}$ означает, что суммирование выполняется только для работ, которые могут выполняться в t -ый интервал времени;

N_{iv} - количество ресурса i -го вида, который начал использоваться v -ый интервал времени, $v=1 \dots T$ (для персонала N_{iv} - численность смены, приступившей к работе в v -ый интервал

времени);

$j \in \{J(t_1, t_2)\}$ - множество операций, которых начинаются не ранее интервала t_1 и завершаются не позднее интервала t_2 .

Внутренняя сумма в соотношении (2) учитывает, что в каждый момент времени одновременно могут работать сотрудники разных смен;

$v_0 = \max\{1, t - \Delta\}$, (если есть заданное время работы склада, т.е. смена не может начать работать до начала работы склада);

Δ - длительность работы смены в интервалах неизменности ресурсов, $\Delta = D/\delta$, D - длительность работы смены в часах, δ - длительность интервала неизменности ресурсов в часах);

При круглосуточной работе склада (каждый период работы склада начинается с интервала времени с номером один):

$v_0 = t - \Delta, \quad t - \Delta \geq 1$
 $v_0 = T + t - \Delta, \quad t - \Delta < 1, \quad v_0 \leq v \leq T \cap 1 \leq v \leq t$ здесь
 учитываются смены, начавшие работу в прошлые сутки;

C_{iv} - стоимость i -го ресурса в v -ый интервал времени (здесь учитывается, что оплата труда в разные смены может быть различной).

Задача (2)-(3) получена следующим образом:

Все время работы склада в течение одного периода разделено на интервалы, в течение которых не будет происходить изменение ресурса (например, на часы или на 30-ти минутные интервалы). Размер указанных интервалов определяет шаг, с точностью до которого выбирается время начала работы смен. В общем случае можно выбирать и меньший шаг, например, с точностью до минут, однако на практике такая точность вряд ли будет нужна. Критерий (2) означает, что затраты на все ресурсы должны быть

минимальны за весь период работы склада. При получении критерия учитывалось, что оценка ведется по приведенным затратам, поэтому набор ресурсов, оптимальный за один период работы склада, будет оптимальным и за весь интервал функционирования склада с заданным товаропотоком. Ограничения (3) показывают, что для выполнения всех работ в требуемые сроки должно быть достаточное количество ресурсов. При составлении ограничений для персонала учтено, что если смена сотрудника началась в какой-либо интервал, то он будет работать еще D/Δ интервалов времени.

Если дополнить задачу (2)-(3) очевидной системой ограничений

$$N_{ij} \geq 0 \quad j = 1 \dots J; \quad i = 1 \dots M, \quad (4)$$

которые означают, что численности персонала и оборудования не могут принимать отрицательные значения, то в результате получится задача линейного программирования

относительно неизвестных численностей ресурсов N_{iv} . Такая задача может быть решена любым известным методом, например симплекс-методом. При этом автоматически дополнительно можно получить оптимальное количество смен сотрудников и время начала каждой смены, в том числе и для промежуточных смен на пиковые периоды нагрузки склада внутри рабочего дня (суток). Необходимо отметить, что для реального склада размерность получаемой задачи может быть достаточно большой, что вызовет определенные трудности при получении решения. Также необходимо обратить внимание на то, что в задаче ограничения (3) имеют вид неравенств, для перевода задачи в каноническую форму и получения начального допустимого решения потребуется решение вспомогательной задачи линейного программирования.

Результаты решения задачи иллюстрируются на следующем (укрупненном) примере:

Рассматривается склад со временем работы с 6:00 до 24:00. Объем товаропотока составляет 800 паллет или 16000 коробов в сутки. В таблице 1 приведены данные, необходимые для проведения расчетов.

Таблица 1 – Характеристики операций по обработке товаропотока и ресурсов склада

Выполняемая операция	Требуемый ресурс	Объем работы (пал./короб)	Производительность ресурса (пал./короб в час.)	Требуемое время выполнения
Разгрузка товара паллетами	Погрузчик	400/8000	20/400	16:00 – 20:00
	Карщик	400/8000	20/400	16:00 – 20:00
Разгрузка товара коробами	Грузчик	400/8000	5/100	16:00 – 20:00
Прием товара	Кладовщик	800/16000	10/200	16:00 – 20:00
Перемещение товара в зону хранения	Ричтрак	800/16000	20/400	18:00 - 22:00
	Карщик	800/16000	20/400	18:00 - 22:00
Перемещение товара в зону отбора (подпитка зоны отбора)	Ричтрак	800/16000	20/400	6:00 – 18:00
	Карщик	800/16000	20/400	6:00 - 18:00
Отбор товара в иногородние филиалы	Отборщик	680/13600	4/80	6:00 - 18:00
Контроль товара для иногородних филиалов	Кладовщик	680/13600	20/400	18:00 – 24:00
Отгрузка товара в иногородние филиалы	Грузчик	680/13600	5/100	18:00 – 24:00
Отбор товара местным потребителям	Отборщик	120/2400	2/40	18:00 – 24:00
Контроль товара для местных потребителей	Кладовщик	120/2400	10/200	6:00 – 9:00
Отгрузка товара местным потребителям	Грузчик	120/2400	5/100	6:00 – 9:00

В данном примере погрузчики и ричтраки являются постоянным ресурсом и рассчитываются исходя из максимальных значений товаропотока внутри суток. Требуемое количество погрузчиков и ричтраков составляют по 5 единиц соответственно, при этом погрузчики задействованы на 22%, а ричтраки – на 88% и уменьшить их количество нельзя, т.к. это приведет к нарушению требуемого регламента работы.

Суммарные требуемые трудозатраты для переменных ресурсов (персонала) без учета специальностей составляют 696 человеко-часов. В таблице 2 приведены требуемые количества персонала при работе склада в 2 смены по 12 часов (с частичным перекрытием смен) и при оптимальном варианте организации сменной работы, полученные по результатам решения задачи (2)-(4).

Таблица 2 – Организация работы персонала

Характеристика	Двухсменная работа склада	Оптимальный сменный график работы персонала
Длительность смены (час)	12	8
Количество смен	2	3, для кладовщиков 4 смены
Карщиков всего (чел.)	11	13
В том числе	1 смена (6:00-18:00) – 1 2 смена (12:00-24:00) -10	1 смена (6:00-14:00) – 1 2 смена (14:00-22:00) - 10 3 смена (16:00-24:00) – 2
Кладовщиков всего (чел.)	24	24
В том числе	1 смена (6:00-18:00) – 4 2 смена (12:00-24:00) -20	1 смена (6:00-14:00) – 4 2 смена (12:00-20:00) - 6 3 смена (15:00-23:00) – 6 4 смена ((16:00-24:00) - 8
Грузчиков всего (чел.)	35	36
В том числе	1 смена (6:00-18:00) – 8 2 смена (12:00-24:00) -27	1 смена (6:00-14:00) – 8 2 смена (12:00-20:00) - 2 3 смена (16:00-24:00) – 26
Отборщиков всего (чел.)	26	29
В том числе	1 смена (6:00-18:00) – 16 2 смена (12:00-24:00) -10	1 смена (6:00-14:00) – 18 2 смена (13:00-20:00) - 2 3 смена (16:00-24:00) – 9
Суммарный ресурс человеко-часов	1050	816
Суммарная численность	96	102

дневной смены (чел)		
Процент загрузки персонала (средний)	66,3%	85,3%
Относительные затраты на персонал	100%	77,7%

Как видно по результатам расчетов, простая реорганизация режима работы сотрудников позволила в рамках рассмотренного примера сократить расходы на персонал более чем на 20%, т.е. (при средней зарплате 15 тыс. руб.) примерно, на 3,6 млн. руб. в год.

Некоторые замечания по постановке и решению задачи.

В результате решения могут получаться дробные значения для требуемого ресурса («полтора землекопа»). Обычно для получения целочисленного решения используются методы отсечения, которые требуют многократного решения задачи линейного программирования. Однако в рамках данной задачи целесообразно просто производить округление полученных результатов вверх, хотя при этом и нельзя гарантировать оптимальность полученного решения. Но с учетом того, что полученное решение в общем случае является немного заниженным по сравнению с необходимыми для работы реального склада (т.е. в условиях воздействия случайных факторов) ресурсами, такой подход является оправданным.

Поскольку обычно начало смены привязывается к целым часам и длительность смены также выражается в целых часах, то решение обычно получается не единственным. При проведении расчетов для конкретного склада целесообразно «подвигать» полученное решение (сместить начало промежуточной смены на 1-2 часа). При этом можно получить более удобное время начала и окончания смены без увеличения требуемых затрат.

Поскольку в рассмотренной выше постановке задача сводится к задаче линейного программирования, она может быть решена с помощью таких программных продуктов, как Excel. Однако для применения стандартных программных продуктов потребуется произвести преобразование критерия и ограничений к стандартизованному (каноническому) виду, т.е. за счет введения новых переменных расширенной размерности избавиться от тройных и двойных вложенных сумм в выражениях (2) и (3).

Рассмотренная выше задача (2)-(4) позволяет также решать задачу по выбору времени работы склада. Поскольку время работы склада входит в состав исходных данных, достаточно несколько раз решить задачу в условиях различного периода работы склада, а затем сравнить полученные для каждого варианта затраты. Решение такой задачи можно осуществить в автоматическом режиме.

В рассмотренной задаче фактически предполагалось, что товаропоток меняется от одного интервала времени к другому, но в рамках каждого интервала остается неизменным и заранее известным. Однако на реальном складе будут происходить различные случайные отклонения объемов товаропотока от планируемых значений, что приведет к снижению эффективности полученного решения. Рассмотренная выше задача может быть обобщена также и на случай наличия случайных неравномерностей товаропотока. Это потребует использования дополнительных статистических исходных данных по приходу товаров и заказов клиентов, а также к видоизменению соотношений (1)-(3), получаемые варианты которых не приводятся в силу их громоздкости.

Выводы

В реальных условиях складские комплексы сталкиваются с необходимостью обрабатывать переменные во времени товаропотоки, в частности, товаропотоки меняющие свои объемы внутри суток.

Для снижения эксплуатационных затрат склада, в первую очередь ФОТа, требуется адаптировать численность персонала к внутрисуточным изменениям товаропотока, при этом положительный эффект может быть получен за счет организационно-управленческих решений путем изменения количества, продолжительности и численного состава смен.

Чтобы не экспериментировать на работающем складе для выбора оптимального регламента работы необходимо производить предварительные численные расчеты, Одним из возможных способов расчета оптимального сменного графика работы персонала является формализация задачи по предложенной в данной статье схеме с последующим решением полученной в виде (2)-(4) задачи линейного программирования. Предлагаемый подход не требует применения имитационных моделей и может быть реализован средствами, имеющимися, например, в Excel. При этом применение предлагаемого

подхода может дать снижение затрат на персонал на величину от единиц до 20 и более процентов. Кроме того, сменный график можно оперативно пересчитывать по мере изменения объемов и условий поставок и отгрузок товаров.

Дополнительно необходимо отметить, что на практике регламент работы склада часто формируется стихийно, при этом поставщики и клиенты стараются сохранить «исторически» сложившийся график работы. Проведя расчеты по предлагаемой схеме с изменением регламента работы склада можно оценить, что могут дать такие изменения и следует ли их осуществлять. В результате могут иметь место разные ситуации: от случаев, когда нет смысла менять регламент работы склада, вступая в переговоры или в конфликты с поставщиками и клиентами, до ситуаций, когда компании становится целесообразно менять, например, своих поставщиков.