

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

С.А. КРОПИВЕНЦЕВА,
И.В. ПОТАПОВ, В.И. ПОТАПОВ

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов

САМАРА
Издательство Самарского университета
2024

УДК 656.7(075)+629.73.08(075)
ББК У375-81я7
К835

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.Ф. Путько,
канд. техн. наук, доц. А. Н. С т р о й к и н

Кропивинцева, Светлана Анатольевна
К835 **Логистическая поддержка процессов эксплуатации воздушных судов:** учебное пособие / С.А. Кропивинцева, И.В. Потапов, В.И. Потапов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2024. – 120 с.

ISBN 978-5-7883-2101-1

Посвящено организации логистической поддержки производственных процессов авиапредприятия.

Курс позволит сформировать базовые понятия о логистической поддержке материально-технического обеспечения процессов эксплуатации авиационной техники.

УДК 656.7(075)+629.73.08(075)
ББК У375-81я7

ISBN 978-5-7883-2101-1

© Самарский университет, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Планирование материально-технического обеспечения	7
1.1 Экономические показатели эксплуатации самолета	7
1.2 Планирование потребности в материалах	12
1.3 Планирование технического обслуживания самолета	16
1.4 Формирование норм расхода запасных частей_материалов для технического обслуживания и ремонта	19
Тест к модулю 1	23
2 Формирование плана поставок ресурсов (запасных частей, комплектующих и расходных материалов)	26
2.1 Определение уровня содержания запасов и оптимальных процедур заказов авиационных запчастей	26
2.2 ABC-анализ	28
2.3 Применение ABC-анализа при заказе ресурсов_(запасных частей).....	33
2.4 Планирование потоков заказов в процессах_материально- технического обеспечения эксплуатации авиационной техники	36
Тест к модулю 2.....	42
3 Задача оптимальной поставки ресурса в Центры технического обслуживания и ремонта	45
3.1 Оптимизация распределения заказов при оперативном планировании поставок материальных ресурсов для авиационной техники	45
3.2 Реализация модели задачи в MS Excel	48
3.3 Решение задачи оптимальной поставки в MS Excel.....	51
3.4 Решение задачи оптимальной поставки с использованием OPL IBM IDE	55
Тест к модулю 3.....	62

4 Задача оптимальной поставки ресурсов нескольких типов в Центры технического обслуживания и ремонта	65
4.1 Постановка задачи, формирование математической модели	65
4.2 Реализация модели задачи в MS Excel	68
4.3 Решение задачи оптимальной поставки в MS Excel.....	71
4.4 Задача оптимальной поставки ресурсов нескольких типов в Центры технического обслуживания и ремонта	74
Задача к модулю 4	81
5 Задача оптимального распределения материальных ресурсов по видам транспорта	82
5.1 Постановка задачи, формирование математической модели	82
5.2 Реализация модели задачи в MS Excel	84
5.3 Решение задачи в MS Excel	88
Задача к модулю 5	92
6 Создание компьютерной модели проекта в среде ProjectLibre.....	93
6.1 Процедуры заказа авиационных компонентов (покупка, аренда, лизинг, обмен)	93
6.2 Описание структуры проекта заказа и доставки	98
6.3 Назначение ресурсов на проект заказа и доставки.....	104
6.4 Нормирование и определение стоимости проекта	109
Тест к модулю 6.....	113
Список литературы	116
<u>Приложение А</u>	117

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие представляет собой конспект лекций массового онлайн-курса (моос) «Логистическая поддержка процессов эксплуатации воздушных судов». В пособии рассматривается практическое применение основных принципов логистики, реализуемых в процессах материально-технического обеспечения процессов эксплуатации авиационной техники.

Логистика – это наука, которая помогает прогнозировать, оптимизировать и управлять материальными и информационными потоками, в результате чего снижаются затраты, возникающие в процессе передачи товаров, информации или услуг от производителя к потребителю. Изучение материалов пособия позволит сформировать базовые понятия о логистической поддержке материально-технического обеспечения процессов эксплуатации авиационной техники.

Учебное пособие состоит из шести глав

В первой главе рассматриваются вопросы материально-технического обеспечения процессов эксплуатации воздушных судов.

Вторая глава посвящена формированию плана поставок ресурсов (запасных частей, комплектующих и расходных материалов).

В третьей главе формулируется и решается задача оптимальной поставки ресурса в Центры технического обслуживания и ремонта.

В четвертой главе дается формулировка и приводится решение задачи оптимальной поставки нескольких ресурсов в Центры технического обслуживания и ремонта.

Пятая глава посвящена решению задачи оптимального распределения ресурсов по видам транспорта.

В шестой главе формируется проект в среде ProjectLibre, с помощью которого осуществляется управление и контроль за процессом доставки ресурсов для материально-технического обеспечения процессов эксплуатации воздушных судов.

Освоив курс, обучаемый научится решать задачи послепродажного обслуживания воздушных судов, применяя основные принципы логистики и используя следующие программные продукты:

1. Microsoft Excel – в модуле 2 для выполнения ABC-анализа.
2. Microsoft Excel (надстройка «Поиск решения») и программная среда OPL IBM IDE – в модулях 3, 4, 5 для решения оптимизационных задач.
3. ProjectLibre – в модуле 6 для создания проекта и контроля сроков его реализации.

Практические задачи, которые решаются в процессе обучения, в профессиональном стандарте специалиста послепродажного обслуживания авиационной техники описаны как следующие трудовые функции:

- А/04.6 коммерческое сопровождение послепродажного обслуживания авиационной техники;
- В/01.6 разработка алгоритмов решения задач послепродажного обслуживания и планирование деятельности подразделений;
- В/03.6 организация логистической и технической поддержки эксплуатации авиационной техники.

Курс будет полезен всем, кто интересуется логистикой и авиационной техникой.

1 ПЛАНИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

1.1 Экономические показатели эксплуатации самолета

Эффективность процессов эксплуатации парка воздушных судов определяется множеством факторов, в первую очередь функционированием системы технической эксплуатации [1].

Процесс технической эксплуатации – это последовательная смена состояний воздушного судна в соответствии с принятой стратегией.

Совокупность различных состояний и распределение самолетов по этим состояниям называется структурой процесса технической эксплуатации (рис. 1).

Самолет может использоваться по назначению, то есть совершать полет; самолет может быть назначен в резерв, то есть находиться в состоянии готовности выполнить рейс вместо другого самолета. По причине метеоусловий может быть в ожидании рейса.

После определенного количества часов налета исправный самолет отправляют на техническое обслуживание по установленным формам.

Неисправные воздушные суда, как правило, отправляют на периодические виды технического обслуживания. Неисправные самолеты могут ожидать ремонт или быть на ремонте (рис. 2). Кроме этого, самолет может находиться в неисправном состоянии по организационным причинам, из-за отсутствия запчастей или отсутствия двигателей.



Рисунок 1

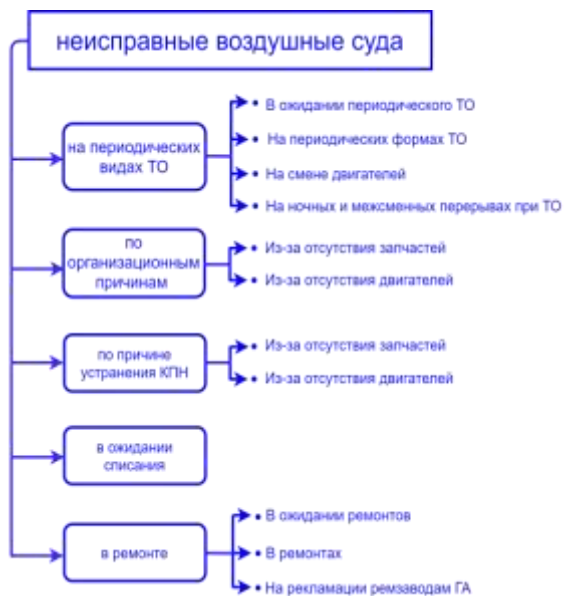


Рисунок 2

Состояние «полет», то есть использование по назначению, является целевым для процесса технической эксплуатации.

В производственно-диспетчерском отделе авиапредприятия ведут учет состояний своего парка воздушных судов. Состояния самолетов приписного парка и длительность этих состояний фиксируются в диспетчерском графике, его заполняют сотрудники производственно-диспетчерского отдела авиапредприятия. Такой график составляется на каждые сутки отдельно.

Анализ данных почасового учета дает возможность контролировать состояние самолетов и то, как они используются; оценивать эффективность технической эксплуатации и организации технического обслуживания; разрабатывать мероприятия по ликвидации непроизводительных простоев самолетов (рис. 3).

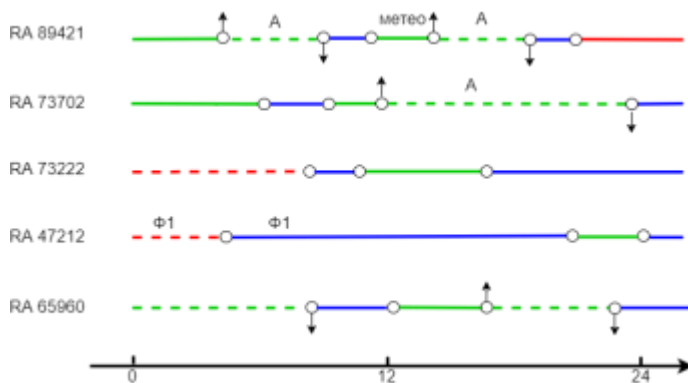


Рисунок 3

Эксплуатация самолета приводит к изменению его технического состояния по различным причинам: в результате износа, старения, воздействия внешних неблагоприятных факторов. Поэтому требуется поддерживать летную годность самолетов, т.е. выполнять работы по техническому обслуживанию и ремонту, а также подготовке к полетам.

Летная годность воздушного судна определяется его способностью совершать безопасный полет во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации.

Главной целью системы технической эксплуатации является полное и своевременное удовлетворение потребностей в исправных самолетах, обеспечение их безотказности и интенсивности использования по назначению при минимальных затратах времени, труда и средств на техническое обслуживание и ремонт.

Степень достижения главной цели характеризуется показателями:

- безотказность авиационной техники;
- безопасность и регулярность полетов;
- интенсивность использования самолета по времени;
- экономичность процессов технической эксплуатации воздушного судна.

Эффективная эксплуатация самолета предполагает его интенсивное использование в течение длительного времени. Тем самым увеличивается производственный налет и налет на среднесписочный самолет парка и, как следствие, повышаются объемы перевозок без увеличения количества экземпляров летной техники.

Интенсивность использования самолета по времени говорит об эффективности процессов технической эксплуатации. В 2023 году величина среднесуточного налета на списочное воздушное судно авиакомпании «Аэрофлот» составила 10,67 часа.

Среднесуточный налет на списочное воздушное судно – важный показатель производственной деятельности авиапредприятия. Чем он выше, тем интенсивнее используется парк воздушных судов, значит, и выше финансовые показатели авиапредприятия. То есть надлежащее техническое обслуживание позволяет достичь высокого уровня регулярности полетов и длительности функционирования, тем самым обеспечивая высокий уровень доходов авиакомпании.

Совокупность видов деятельности, формирующая систему технической эксплуатации воздушного судна, называется **интегрированной логистической поддержкой**. Основной задачей этой деятельности является формирование и обеспечение эффективного функционирования элементов системы технической эксплуатации, которую составляют:

- воздушное судно, его компоненты и их эксплуатационно-технические характеристики;
- средства технического обслуживания, ремонта и материально-технического обеспечения;
- другие средства обеспечения технической эксплуатации;
- эксплуатационный персонал;
- техническая и иная документация, определяющая правила взаимодействия всех элементов системы технической эксплуатации.

В ходе решения ключевых задач интегрированной логистической поддержки, таких как анализ логистической поддержки, планирование технического обслуживания и планирование материально-технического обеспечения, формируется модель системы технической эксплуатации воздушного судна (рис. 4). Она состоит из двух основных моделей: модели изделия в контексте его эксплуатационно-технических характеристик и модели организации деятельности по поддержанию летной годности воздушного судна [2].



Рисунок 4

Оценка эффективности эксплуатации воздушного судна производится путем расчета прямых эксплуатационных затрат:

- на топливо и смазочные материалы;
- на выплату аэропортовых сборов и метеобеспечение полетов;
- на страхование воздушного судна и перевозок;
- на оплату труда экипажа;
- на техническое обслуживание;
- лизинговых платежей и т.п.

По данным ИКАО затраты на техническое обслуживание составляют от 8 до 25% от общих прямых эксплуатационных затрат. Для отечественных воздушных судов этот показатель может достигать 40%.

Поэтому организация материально-технического обеспечения и решение задач оптимальной поставки ресурсов в требуемом количестве с минимальными затратами направлены на повышение экономичности процессов поддержания летной годности воздушного судна.

1.2 Планирование потребности в материалах

Рассмотрим вопросы планирования закупок запасных частей, комплектующих и расходных материалов и узнаем, как формируется этот план.

Процесс обслуживания воздушного судна является составной частью модели процесса технической эксплуатации, а модель процесса эксплуатации – это последовательная во времени смена различных состояний самолета.

После каждой посадки самолет готовят к следующему полету, его проверяют на предмет выявленных в ходе полета замечаний. Если все в порядке, то после завершения работы самолет может выполнять следующий рейс. Процесс технической эксплуатации в

этом случае имеет структуру (рис. 5): *Полет. Работы по встрече. Работы по обеспечению стоянки. Транзитное или Суточное обслуживание. Работы по обеспечению вылета. Полет.*

Если выявлены неисправности, выполняются работы по внеплановому техническому обслуживанию. В этом случае структура процесса технической эксплуатации имеет вид (рис. 6): *Полет. Работы по встрече. Работы по обеспечению стоянки. Осмотр. Специальное техобслуживание и внеплановый ремонт. Суточное обслуживание. Работы по обеспечению вылета. Полет.*

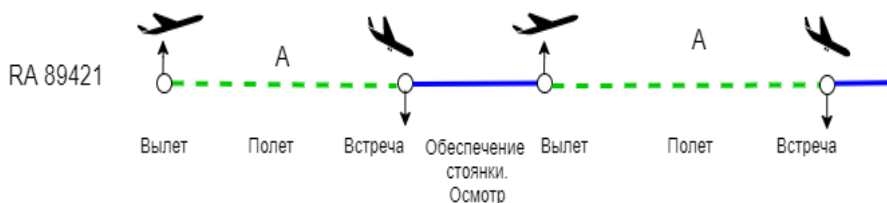


Рисунок 5

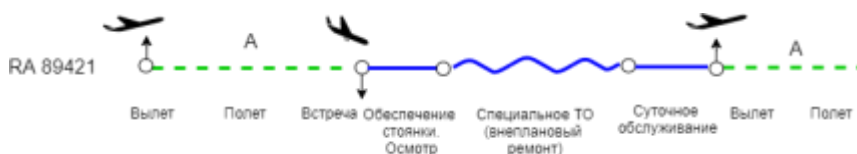


Рисунок 6

Организация процессов техобслуживания направлена на повышение коэффициента готовности воздушного судна. Коэффициент готовности – это вероятность того, что самолет окажется в работоспособном состоянии. Этот параметр представляет собой отношение времени исправной работы к сумме длительности исправной работы и длительности вынужденных простоев на техобслуживании. При этом значительная часть вынужденных простоев связана с отсутствием запасных частей и комплектующих.

План технического обслуживания определяется природно-климатическими условиями эксплуатации самолета и сценариями его использования – частота рейсов, длина воздушной линии. Он содержит [3]:

- рекомендации разработчика воздушного судна по организации техобслуживания, в которых описана структура и организационно-технические уровни, на которых выполняются работы;

- состав работ по техобслуживанию и периодичность их выполнения;

- сведения о ресурсах для выполнения техобслуживания и прогнозируемой потребности в них (включая технологические карты выполнения работ);

- возможные формы участия поставщика воздушного судна в обеспечении технического обслуживания.

Значительный объем работ обусловлен отказами техники, и для оперативного восстановления работоспособности изделий необходимо создавать запасы ресурсов. Система технической эксплуатации должна предусматривать рациональное планирование объемов материальных ресурсов, ведь доля затрат на создание фондов запасных частей в общих затратах на обеспечение технической эксплуатации может быть неоправданно высокой. Поэтому при определении запасов по уровням применяется логистический подход, иначе недостаточные объемы ресурсов приведут к простоям самолета, а избыточные – к замораживанию капитала.

Планирование материально-технического обеспечения включает:

- выделение (идентификацию) в конструкции самолета тех составных частей, которые являются предметом снабжения с учетом выбранной модели материально-технического обеспечения;

- планирование начального материально-технического обеспечения;

– оценку (планирование) объемов запасов, требуемых для рассматриваемых периодов эксплуатации, с их организационным распределением в соответствии с принятой структурой технического обслуживания и технико-экономической моделью организации техобслуживания и материально-технического обеспечения.

Исходные данные для планирования:

- сценарии эксплуатации воздушного судна;
- данные об эксплуатации аналогов;
- показатели надежности изделия и его составных частей;
- программа технического обслуживания.

В результате принимается план материально-технического обеспечения, который содержит:

- номенклатурный перечень предметов снабжения (ресурсов);
- описание процедур и источников (поставщиков) приобретения предметов снабжения (отдельно для этапов начального материально-технического обеспечения и текущего материально-технического обеспечения);
- количественные показатели запасов материальных ресурсов для каждого уровня техобслуживания и места их хранения и использования;
- рекомендации по складским и транспортным мощностям с их распределением по уровням техобслуживания;
- условия применения различных методов идентификации предметов снабжения (например, штриховой и (или) радиочастотной идентификации).

Далее рассмотрим подробнее виды технического обслуживания, состав работ по уровням и способы определения потребностей в ресурсах (запчастях, комплектующих, расходных материалах).

1.3 Планирование технического обслуживания самолета

Техническое обслуживание – это комплекс операций по поддержанию работоспособного состояния самолета. Если самолет неработоспособен, ему требуется ремонт.

Ремонт – комплекс операций по восстановлению работоспособности систем самолета.

Весь комплекс операций по техобслуживанию и ремонту можно разделить на две группы:

первая – плановые профилактические работы;

вторая – работы по обнаружению и устранению отказов и повреждений.

Плановые работы, как следует из названия, происходят по плану: в определенный момент времени либо при каком-то событии. Рассмотрим виды техобслуживания согласно отечественной системы технического обслуживания и ремонта.

Оперативное техническое обслуживание выполняется непосредственно перед вылетом и после посадки.

Его задача – подготовка самолета к очередному вылету и устранение возникших в полете отказов и повреждений.

Периодическое техническое обслуживание выполняется через строго установленные интервалы. Эти интервалы измеряются:

числом часов налета (чем больше времени самолет находится в полете, тем быстрее снижается его ресурс);

числом посадок (самолет испытывает наибольшие нагрузки при взлете и посадке, к тому же некоторые системы работают только при взлете и посадке);

календарным временем (время оказывает влияние, постепенно снижая характеристики материалов).

Задачи технического обслуживания:

1) поиск и устранение отказов элементов на ранних стадиях их развития;

2) проведение профилактических мероприятий по предотвращению возникновения отказов;

3) замена агрегатов, отработавших ресурс,

4) смазка шарнирных соединений.

Основные работы группируются по отдельным функциональным системам самолета: силовая установка, шасси, планер, управление, гидравлическая система, система кондиционирования воздуха, система регулирования давления в кабинах, радиоэлектронное оборудование, приборное, электрическое, кислородное и бытовое оборудование.

Сезонное техническое обслуживание проводится два раза в год при переходе к эксплуатации в осенне-зимний и весенне-летний периоды. Предусматривает дефектацию и полное восстановление защитных покрытий, устранение мелких повреждений и коррозии на деталях планера и шасси.

Специальное техническое обслуживание выполняется в случае возникновения резких отклонений от условий нормальной эксплуатации. К ним относятся: грубая посадка, полет в турбулентной атмосфере, превышение перегрузок.

Техническое обслуживание при хранении выполняется на воздушных судах, длительное время не совершающих полеты. Оно обеспечивает снижение вредного влияния атмосферных и других факторов и способствует наилучшему сохранению техники в данных условиях.

Ремонт воздушных судов, как и периодическое техническое обслуживание, выполняется по истечении определенных интервалов, измеряемых числом часов налета, числом посадок или календарным временем.

Ремонтные операции могут выполняться в виде капитального ремонта, который производится отдельно, или в виде ремонтных форм, совмещенных, как правило, с формами периодического технического обслуживания. Ремонтные формы отличаются от технического обслуживания значительно большими интервалами времени и трудоемкостью работ.

*Особенности форм и видов технического обслуживания
воздушных судов зарубежного производства*

Техническое обслуживание состоит из периодических проверок технического состояния самолётов, которые должны проводиться по прошествии определённого времени или определённого налёта часов. Существуют следующие проверки:

Transitcheck (транзитная проверка) – самая простая форма сервисного обслуживания, выполняется перед каждым вылетом самолёта.

DailyCheck (ежесуточная проверка) – форма проверки технического состояния воздушного судна, которая должна выполняться каждые 24 часа.

WeeklyCheck (еженедельная проверка) – выполняется приблизительно раз в неделю. Может выполняться как днем, так и ночью.

Формы техобслуживания бывают линейные и базовые. Линейное техобслуживание проводится без снятия самолета с эксплуатации.

Все перечисленные выше проверки относятся к линейным и не требуют обязательного наличия помещения (ангара). Как правило, они выполняются в течение нескольких часов.

Для последующих проверок, подразумевающих большее количество сложных операций, требуется специальный ангар и соответствующая ремонтная база. Они называются базовыми формами.

A-check или 750FH – проверка производится примерно раз в месяц или каждые 750 часов налёта. Чем глубже форма и больше временной интервал, тем более сложные проводятся работы на самолете.

B-check – эта проверка осуществляется примерно каждые 3 месяца.

C-check или 7500FH/24month – полноценная базовая форма проверки. Выполняется примерно раз в полтора-два года в зависимости от налета ВС. Это достаточно глубокая форма техобслуживания, предполагающая выведение самолета из эксплуатации на две недели.

D-check или 12 YEAR check выполняется раз в 12 лет. Это наиболее глубокая форма проверки. Предполагает полную разборку самолета, тщательную проверку всех элементов, капитальный ремонт и замену очень многих деталей.

Каждая форма ремонта и обслуживания требует определенного перечня запасных частей и расходных материалов, которые необходимо своевременно поставить в пункт ремонта и техобслуживания воздушных судов.

1.4 Формирование норм расхода запасных частей, материалов для технического обслуживания и ремонта

В работе воздушного транспорта очень многое зависит от снабжения запасными частями. Техническое обслуживание воздушных судов происходит каждый день, перед каждым вылетом.

Сбой в системе снабжения приведет к остановке работы воздушного транспорта: самолеты не смогут лететь по нормам безопасности, поэтому стабильная работа системы снабжения запасными частями воздушных судов – это очень важно.

К системе снабжения запчастями предъявляются следующие требования:

- минимальное время поставки;
- наличие страхового запаса для наиболее важных и часто используемых запчастей;
- экономическая эффективность всей системы в целом и отдельных составляющих и операций.

Структура системы снабжения может иметь разные варианты, которые обусловлены разными стратегиями снабжения.

Стратегия 1. Собственный склад и собственные запасы (рис. 7).

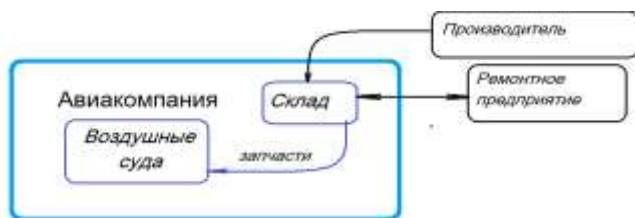


Рисунок 7

В данном случае авиакомпания имеет свой собственный склад (или систему складов), на котором находятся запасы запчастей и компонентов самолетных систем. По мере эксплуатации воздушных судов с них снимаются отработанные компоненты, узлы и агрегаты, которые заменяются на работоспособные изделия со склада.

Ремонтопригодные изделия отправляются в ремонт, а вместо них на судно ставится рабочее изделие из запаса на складе. Отремонтированное изделие возвращается авиакомпании через какое-то время и поступает на склад. Таким образом, исключается остановка транспортного процесса. Преимущества такой стратегии: минимальное время доставки запчастей. Недостатки: нужно иметь

склад (взять в аренду помещение, тратить средства на его содержание, а также на работу сотрудников). Также необходимо сформировать запас запчастей, которые будут просто лежать на складе на всякий случай, на что требуются дополнительные средства. Изделия авиационной техники (запчасти, агрегаты и материалы) при хранении на складе, не выполняют полезной работы и не приносят предприятию прибыль. Запасы часто называют «мертвым» или «замороженным» капиталом.

Альтернативой является *стратегия 2*, суть которой – доверить снабжение сторонней организации (рис. 8). В основном возвратно-обменный фонд организации состоит из ремонтнопригодных изделий. При возникновении у авиакомпании потребности в какой-то запчасти, входящей в перечень фонда, формируется заявка с указанием наименования, требуемых сроков поставки, места поставки. Далее процесс обеспечения осуществляет организация, управляющая фондом: получив заявку, она производит поиск изделия на складе, в ремонтных организациях.



Рисунок 8

В случае отсутствия требуемой запчасти она закупается у производителя, затем поставляется авиакомпании. Авиакомпания, получив запчасть, устанавливает ее на воздушное судно, а старую неисправную запчасть отправляет в организацию. Организация ремонтирует запчасть и оставляет ее на своем складе для последующего использования по запросу.

Преимущества данной стратегии: сокращение расходов у авиакомпании на собственные склады и штат сотрудников, обслуживающих данные склады. Также следует отметить сокращение расходов на закупку запасов и тот факт, что средства не замораживаются в виде неиспользуемых изделий, хранящихся на складах.

Недостатки такой стратегии: зависимость авиакомпании от организации, предоставляющей возвратно-обменный фонд, и от качества работы этой организации. Несложно представить себе ситуацию, в которой авиакомпания окажется в случае сбоя в поставке со стороны организации. Также к недостаткам относятся несколько больший срок поставки запчастей и более высокая цена для каждой отдельной запчасти.

Существует *стратегия 3*, объединяющая первые две и использующая как первую, так и вторую концепции для разных групп запчастей. Предлагается разделить запчасти на три группы.

Первая группа: запчасти, используемые чаще всего; отказ такой запчасти требует срочной замены.

Запчасти первой группы (по концепции номер 1) находятся на складах авиакомпании и могут быть установлены скорейшим образом.

Вторая группа: запчасти, которые используются не очень часто, но и не очень редко. Такие изделия предполагается закупать в организации, имеющей возвратно-обменный фонд. Эти запчасти организации сможет поставить достаточно быстро по приемлемой цене.

Третья группа: запчасти, которые используются редко. Их рекомендуется закупать у производителя напрямую. В этом случае будет весьма большой срок поставки, но при этом используется минимальная цена без переплаты посреднику и без «замораживания» капитала в запасах.

При реализации такой стратегии важным фактором будет являться правильное разделение запчастей на группы. Один из способов такого разделения является ABC-анализ, который будет рассмотрен далее.

Тест к модулю 1

1. Самолет можно планировать к выполнению рейса, если его состояние описывается как:

- a. Ожидание периодического технического обслуживания.
- b. В резерве.
- c. Отсутствие запчастей.

2. Из перечисленных ниже вариантов ответа выберите тот, что является определением понятия «Интегрированная логистическая поддержка».

- a. Это способность воздушного судна совершать безопасный полет во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации.
- b. Это последовательная смена состояний воздушного судна в соответствии с принятой стратегией.
- c. Совокупность видов деятельности, формирующая систему технической эксплуатации воздушного судна.

3. Из перечисленных ниже вариантов ответа выберите тот, что является определением понятия «Процесс технической эксплуатации».

- a. Способность воздушного судна совершать безопасный полет во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации.
- b. Последовательная смена состояний воздушного судна в соответствии с принятой стратегией.
- c. Совокупность видов деятельности, формирующая систему технической эксплуатации воздушного судна.

4. План по закупкам запасных частей зависит от:

- a. Плана технического обслуживания.
- b. Финансового состояния авиаперевозчика.
- c. Наличия запасных частей у поставщиков.

5. Высокие показатели среднесуточного налета на списочное воздушное судно свидетельствует о том, что (выберите один вариант):

- a. Процессы технической эксплуатации осуществляются эффективно.
- b. В парке воздушных судов есть исправные и неисправные самолеты.
- c. Затраты на техническое обслуживание составляют значительную часть прямых эксплуатационных затрат.

6. Что относится к преимуществам стратегии снабжения, когда авиапредприятие имеет собственный склад?

- a. Минимальное время доставки запчастей.
- b. Отсутствие затрат на содержание склада.
- c. Отсутствие затрат на закупку запасов.
- d. Большая зависимость авиакомпании от организации, предоставляющей возвратно-обменный фонд.

7. Что относится к преимуществам стратегии снабжения, когда авиапредприятие взаимодействует с организацией, имеющей возвратно-обменный фонд?

- a. Минимальное время доставки запчастей.
- b. Отсутствие затрат на содержание склада.
- c. Отсутствие затрат на закупку запасов.
- d. Большая зависимость авиакомпании от организации, предоставляющей возвратно-обменный фонд.

8. Установите соответствие между видами технического обслуживания и их содержанием

Первая группа: используются чаще всего, отказ такой запчасти требует срочной замены	a. Такие запчасти согласно концепции I находятся на складах авиакомпании и могут быть установленные скорейшим образом
Вторая группа: запчасти, которые используются не очень часто, но и не очень редко.	b. Такие изделия предполагается закупать в организации, имеющей возвратно-обменный фонд. Эти запчасти организация сможет поставить достаточно быстро по приемлемой цене.
Третья группа: запчасти, которые используются редко.	c. Такие запчасти рекомендуется закупать у производителя напрямую. В этом случае будет весьма большой срок поставки, но при этом используется минимальная цена без переплаты посреднику и без «замораживания» капитала в запасах.

9. При использовании стратегии с привлечением организации, имеющей возвратно-обменный фонд, поставку запчастей предполагается осуществлять в основном:

- a. Из возвратно-обменного фонда организации.
- b. Со складов авиакомпании.
- c. Закупать напрямую у производителя.

10. Что делает организация, имеющая возвратно-обменный фонд с поврежденными, но ремонтпригодными изделиями, полученными у авиакомпании?

- a. Отправляет в ремонтные предприятия.
- b. Утилизирует.
- c. Устанавливает на воздушные суда других авиакомпаний.
- d. Хранит на складе до истечения срока годности.

2 ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНА ПОСТАВОК РЕСУРСОВ (ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, КОМПЛЕКТУЮЩИХ И РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ)

2.1 Определение уровня содержания запасов и оптимальных процедур заказов авиационных запчастей

Для обслуживания самолетов требуется огромное количество запчастей и материалов различных наименований. Рассмотрим, как происходит пополнение запасов запчастей и материалов на примере какого-то одного наименования. Предположим, имеется склад, с которого каждый день на нужды обслуживания самолетов уходит какой-либо ресурс.

С каждым днем его количество убывает, и ресурса на складе становится все меньше (рис. 9). Рано или поздно он закончится, и дальнейшее обслуживание самолетов станет невозможным. Чтобы избежать такой ситуации, необходимо заранее сделать пополнение.

Точка заказа наступает, когда количество ресурса уменьшается ниже определенного уровня.

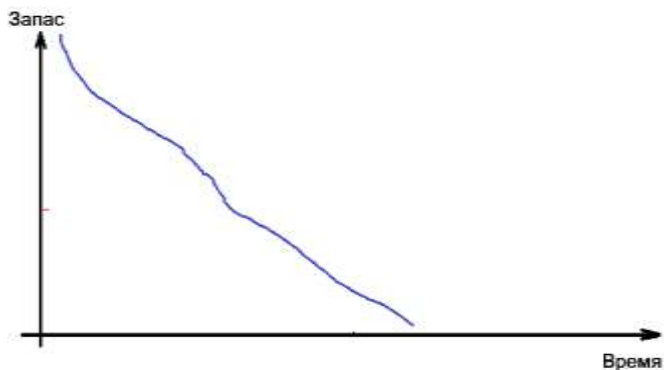


Рисунок 9

Этот уровень также называют точкой заказа (рис. 10). При достижении точки заказа необходимо произвести заказ продукции, и через некий интервал времени (через время поставки) произойдет пополнение ресурса на складе.

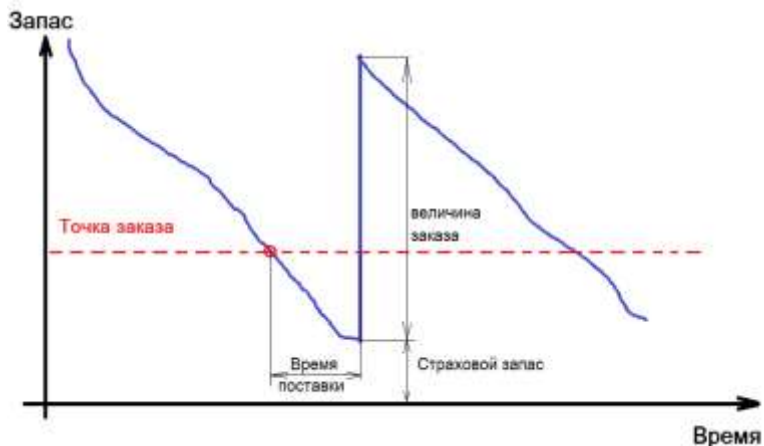


Рисунок 10

Количество ресурса сразу после точки заказа будет еще снижаться некоторое время, но не опустится до нуля, поскольку предусмотрен некоторый страховой запас. Такой способ пополнения ресурса называется системой с фиксированной точкой заказа.

Возможен и другой вариант: периодическая проверка уровня запаса.

Запас ресурса проверяется периодически — через некоторые промежутки времени (например, раз в неделю). По результатам проверки запаса делается заказ (рис. 11).

Величина заказа составляет разницу между заранее установленным максимумом и фактическим текущим уровнем.



Рисунок 11

Почему нельзя заказать один раз, чтобы эта продукция всегда была в большом количестве? Есть две причины.

1) Чем больше запасы, тем больше требуется складских помещений, то есть возрастают затраты на аренду, охрану, коммунальные расходы на содержание помещений.

2) Покупка запасов требует капиталовложений. Чем больше запасы – тем больше этих капиталовложений. При покупке запасных частей расходуются финансовые ресурсы. Если запчасть хранится на складе, она не приносит дохода. С точки зрения экономики такое использование денежных средств нерационально.

Поэтому важно выбрать оптимальный размер заказа – такое количество товара, при котором соотношение между затратами на хранение и рисками в случае отсутствия товара будет оптимальным.

2.2 ABC-анализ

Для того чтобы разделить запчасти на группы по важности, используется ABC-анализ. Он основан на принципе Парето, суть которого заключается в том, что прилагаемые усилия для достижения цели и результат непропорциональны.

Если бы зависимость приложенных усилий и результат в каком-то количественном эквиваленте была равномерной, то один процент усилий давал бы ровно один процент результата (рис. 12). Тогда бы принцип Парето не работал, и разделение запчастей на группы не имело бы смысла. В реальной жизни соотношение усилий и результата чаще всего неравномерно (рис. 13). Оно может быть, например, таким: 20% усилий обеспечивают 80% результата (рис. 14).

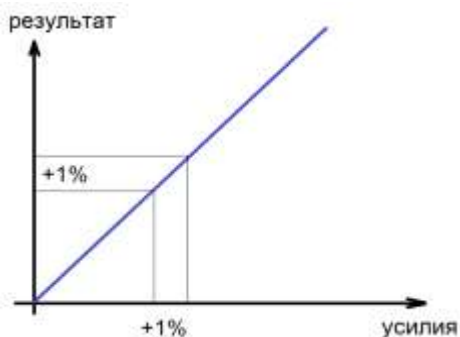


Рисунок 12

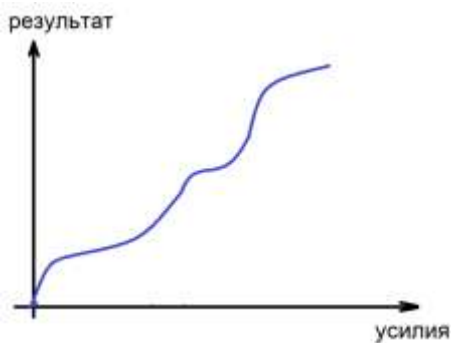


Рисунок 13

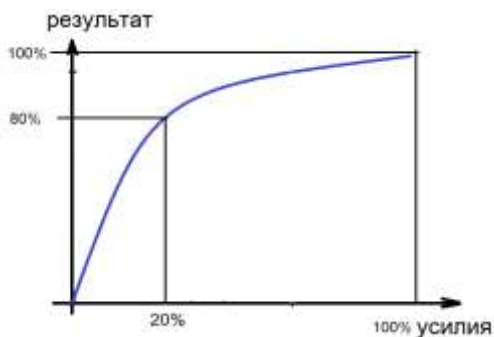


Рисунок 14

Как это можно применить на практике? Если, например, речь идет о магазине каких-то товаров, то принцип Парето можно сформулировать так (рис. 15): 20% от общего числа наименований товаров обеспечивают 80% выручки. Само соотношение 20 и 80 весьма условно – могут быть и иные значения – основной смысл в неравномерности.

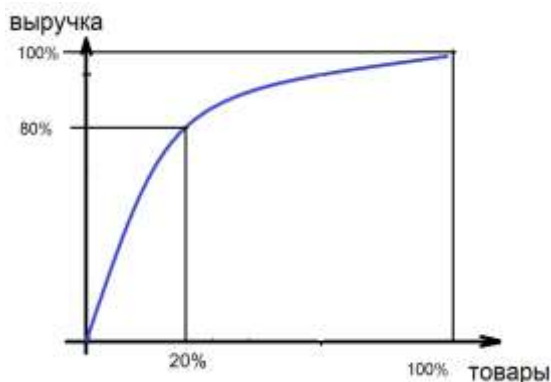


Рисунок 15

Суть ABC-анализа состоит в разделении всего перечня наименований товаров на три группы (рис. 16). Товары группы А вносят наибольший вклад в выручку предприятия. Товары группы В при-

носят намного меньший доход, но достаточно ощутимую часть (около 15%). Оставшиеся товары группы С приносят малую часть дохода.

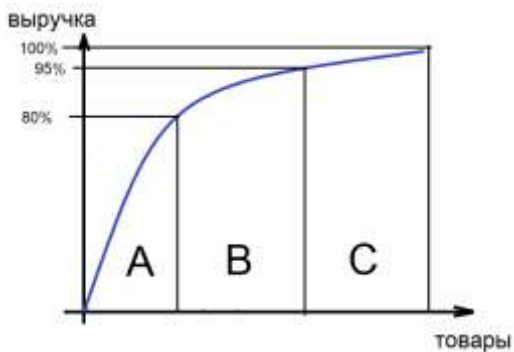


Рисунок 16

Таким образом, после распределения товаров по группам, можно расставить приоритеты дальнейшей деятельности: уделять больше внимания группе А, меньше группам В и С, и так далее.

Количество групп может быть разное. В классическом варианте их три. Числовые значения границ группы тоже могут варьироваться в зависимости от конкретной ситуации и конкретного распределения. Рассмотрим классический вариант (рис. 17).

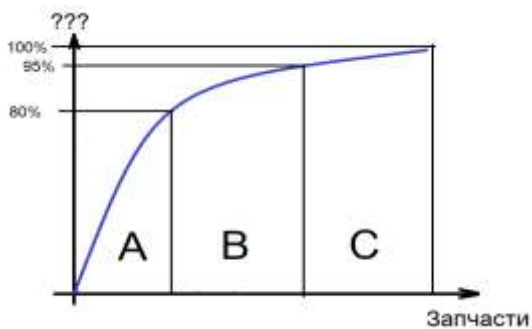


Рисунок 17

Из рисунка очевидно:

Группа А – 80%.

Группа В – 15%.

Группа С – 5%.

Товары группы А, являются наиболее важными и требуют особого внимания. Ведется тщательный учет расхода товаров этой группы. Остаток товаров и «скорость расходования» корректируются при каждой выдаче. Для каждого из наименований рассчитывается «точка заказа», т.е. срок, в который необходимо сделать следующий заказ.

Товары группы В приносят 15% выручки и требуют меньшего внимания. Осуществляется обычный контроль и сбор информации о запасах. Точка заказа рассчитывается для всей группы товаров сразу.

Товары группы С вносят оставшиеся 5%. Никаких расчетов не производится. Точку заказа определяют, не исходя из потребления, а руководствуясь удобством заказа. Размер партии определяется таким образом, чтобы хватило до следующего заказа.

Предлагается использовать ABC-анализ и для огромного числа наименований запчастей изделий и агрегатов самолета. Здесь необходимо определиться с количественным параметром, по которому производится расчет.

Если у магазина товаров результат работы – это прибыль, величина, которую можно оценить количественно, то в случае обеспечения комплектующими запчастями и деталями самолета результатом работы является работоспособное состояние самолета, которое сложно оценить количественно. Самолет либо исправен, и на нем можно перевозить пассажиров, либо неисправен, и полеты запрещены. То есть важны все запчасти, отказ которых влияет на исправность самолета. Тем не менее, какие-то запчасти нужно за-

казывать чаще и в большем количестве, а какие – реже и в меньшем количестве. Важно определить параметр для сортировки.

Здесь нам стоит обратиться к статистическим методам в теории надежности авиационных изделий и использовать такое понятие как наработка на отказ (рис. 18).

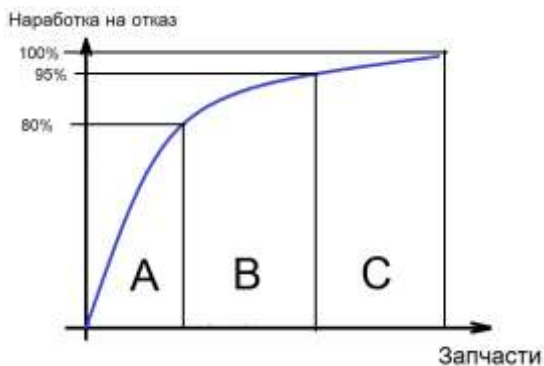


Рисунок 18

Нарботка на отказ – это полученное статистическим путем среднее время работы детали до отказа.

Интенсивность отказов – это величина, характеризующаяся числом отказов изделия за период времени. Зная этот параметр для каждого изделия, мы можем отсортировать запчасти по убыванию интенсивности отказов, и разделить их на три группы по важности. Запчасти склонные к наиболее частым отказам будут требовать замены чаще и будут наиболее важными.

2.3 Применение ABC-анализа при заказе ресурсов (запасных частей)

Для деления запчастей на группы по важности используется ABC-анализ. Предположим, имеется некоторое количество различных запчастей, за уровнем запасов которых нам нужно сле-

дить. Рассмотрим 10 наименований. В реальной задаче их может быть несколько тысяч.

Для каждой запчасти нам известна интенсивность отказов. Данная величина показывает, сколько было отказов, поломок или замен конкретной детали на 1000 часов налета самолета. Данные получены на основе рекомендаций производителей по замене запчастей, а также на основе статистических данных использования воздушных судов в конкретных условиях. Интенсивность отказов напрямую связана с другой величиной, более важной для нас как специалистов в области поставок компонентов. Это частота заказов. Интенсивность отказов характеризует надежность каждого изделия конкретного типа, а частота заказов относится ко всему парку воздушных судов, имеющих такие детали. В примере будем рассматривать величину интенсивность отказов, не вдаваясь в подробности о том, сколько воздушных судов есть у авиакомпании.

Итак, имеется список деталей, расположенных в алфавитном порядке, и для каждой детали известна интенсивность отказов (табл. 1).

Первоначально необходимо расположить детали по убыванию интенсивности отказов. Фильтр топливной системы имеет самое высокое значение интенсивности, и мы его ставим на первое место. Затем будет воздушный стартер, потом крышки люков пилона двигателя и так далее (табл. 2, столбцы 2 и 3).

Добавим еще один столбец (4) «интенсивность нарастающим итогом», где будем суммировать данные интенсивности. В столбце 4 в первой строчке записана только интенсивность топливного фильтра, во второй строчке к имеющемуся значению добавится интенсивность второй позиции, то есть воздушного стартера, в третьей строчке к значению второй строчки добавляется интенсивность отказов воздушного стартера.

Таблица 1

N	Наименование детали или агрегата
1	Аварийный радиомаяк
2	Амортизатор подвески двигателя
3	Амортизатор основной опоры шасси
4	Воздушный стартер
5	Высотомер
6	Крышки люков пилона двигателя
7	Профиль герметизации входной двери
8	Спускной патрубков
9	Стекло иллюминатора
10	Фильтр топливной системы

Таблица 2

N	Наименование детали или агрегата	Интенсивность отказов (отказов/1000 часов)	Интенсивность отказов нарастающим итогом	Процентное соотношение	Группа
1	2	3	4	5	6
10	Фильтр топливной системы	5,56	5,56	54,65	А
4	Воздушный стартер	2,30	7,85	77,26	
6	Крышки люков пилона двигателя	1,27	9,12	89,73	В
1	Аварийный радиомаяк	0,28	9,40	92,51	
3	Амортизатор основной опоры шасси	0,22	9,62	94,64	
5	Высотомер	0,19	9,81	96,48	С
8	Спускной патрубков	0,17	9,98	98,13	
2	Амортизатор подвески двигателя	0,11	10,09	99,26	
9	Стекло иллюминатора	0,06	10,15	99,87	
7	Профиль герметизации входной двери	0,01	10,17	100	

Таким образом, в последней строчке столбца (4) – суммарная интенсивность. Добавим еще один столбец (5), в котором будем отображать процентное соотношение. За 100% принимаем значение суммарной интенсивности. Далее определим процент суммарной интенсивности для каждой позиции в таблице.

Теперь внимательно смотрим на получившиеся значения и устанавливаем границы групп (столбец 6). Группа А составляет 80%, группа В – 15%, а группа С – 5%.

«Фильтр топливной системы» составляет 54,65%, а вместе с «воздушным стартером» они перекрывают 77%, следующая позиция уже превышает число 80. Проведем границу здесь, отнесем первые две позиции в списке к группе А – наиболее важных запчастей, за запасом которых нужно следить наиболее тщательно.

Границу между группами В и С, что соответствует значению 95%, проводим между «амортизатором основной опоры шасси» и высотомером. Таким образом, «крышки люков», «аварийный радиомаяк» и «амортизатор» относятся к группе В, а остальные детали – к группе С.

Разделив на группы запчасти, мы можем в дальнейшем для каждой отдельной группы организовать свой подход в вопросах заказа, размера запасов и организации поставок.

2.4 Планирование потоков заказов в процессах материально-технического обеспечения эксплуатации авиационной техники

Применение методов транспортной логистики повышает эффективность поставок авиационных запасных частей и расходных материалов. В этом разделе рассмотрим, каким образом и при каких условиях можно оптимизировать материальные потоки ресурсов, применяемых при материально-техническом обеспечении процессов эксплуатации воздушных судов [4].

Начнем с прямых поставок (рис. 19). Они являются самым простым способом сократить время доставки авиационных запчастей до места назначения. Со склада поставщика или завода-изготовителя авиационной техники заказ поставляется напрямую в Центр технического обслуживания и ремонта. Путь следования заказа при этом исключает промежуточные пункты дозагрузки. Заказ поставляется в достаточно сжатые сроки по прямому маршруту. Чаще всего этот способ применяется, когда самолет не может эксплуатироваться, то есть его техническое состояние описывается как «Отсутствие запчастей», «В ожидании периодического техобслуживания» или «На периодических формах техобслуживания». Такие поставки являются наиболее дорогостоящими для авиакомпании. Однако в критических ситуациях важнее сэкономить время, чем денежные средства.



Рисунок 19

Объединение или *консолидация* нескольких заказов в одну поставку часто применяется как способ повышения эффективности управления цепями поставок (рис. 20). Происходит объединение двух и более заказов от одного или нескольких поставщиков в один пункт назначения. Консолидация позволяет сократить транспортные расходы, затраты на оформление перевозочных документов. Зачастую общая поставка оформляется одной накладной. Также консолидированная отправка облегчает контроль движения партий деталей (по одной накладной). В случае международной

перевозки оформляется одной таможенной декларацией вместо нескольких. Обратная сторона медали консолидации – задержка отправки в случае неготовности одного из заказов, например, если он еще находится в пути к складу отправки, в то время как другие готовы к транспортировке.



Рисунок 20

Различают следующие способы консолидации:

Объединение двух и более заказов от поставщика для одного воздушного судна – распространенный и самый простой способ консолидации.

Эти заказы отгружаются со склада поставщика одновременно в один пункт назначения для отправки на одном транспортном средстве. Основное условие – заказанные наименования имеются в наличии на складе поставщика, либо готовность заказов к отправке позволяет их объединить и отправить в запланированные сроки. В случае международной перевозки условием ввоза в Россию по одному транспортному документу является одинаковый тип сделки объединенных заказов (аренда, покупка, обмен), иначе невозможно подать единую таможенную декларацию на всю партию товара.

Объединение заказов от одного поставщика на материалы для склада (рис. 21). Чаще всего применяется при поставке расходных материалов и запчастей для пополнения уровня неснижае-

мого запаса на складе, такая поставка обычно не имеет высокого приоритета по срокам.

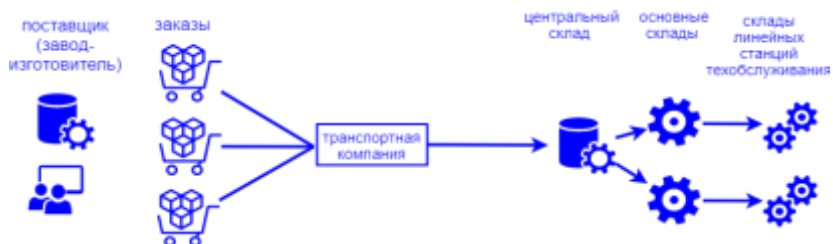


Рисунок 21

Вследствие этого в объединенную поставку можно включить заказы, сроки исполнения которых имеют приемлемую разницу (до двух недель). Консолидированная партия доставляется на центральный склад авиакомпании, где происходит разукрупнение заказов, мелкие партии доставляются на основные склады, а также на склады линейных станций техобслуживания.

Объединение заказов от одного поставщика для самолетов, эксплуатирующихся на авиалиниях в одном регионе (рис. 22). Такая консолидация похожа на первую схему консолидации, только здесь объединяются заказы, предназначенные для разных самолетов, которые выполняют рейсы из одного аэропорта.



Рисунок 22

Этот способ объединения имеет смысл при низких рисках нарушения сроков поставки в пункт назначения. Действительно, программа полетов отрабатывается на небольшой срок, и авиаперевозчик может направить самолет в другой аэропорт. Тогда придется разукрупнять общую отpravку, чтобы перенаправить заказанные запасные части для этого самолета в новый аэропорт базирования. Способ применим, если по программе полетов воздушные суда летают в данном направлении от нескольких дней до недели или в указанном аэропорту запланированы работы по техническому обслуживанию, которые, как правило, не переносятся. Следовательно, на них можно ориентироваться при выборе маршрута доставки.

Следующий способ консолидации предполагает *объединение заказов от нескольких поставщиков для одного самолета* (рис. 23). Правда, в этом случае транспортные документы на каждый заказ оформляются отдельно, зато расходы по транспортировке будут меньше, чем в случае доставки разных заказов по отдельности.

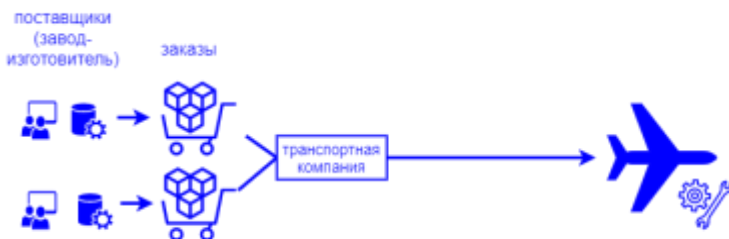


Рисунок 23

Объединение заказов по сроку поставки деталей (рис. 24).

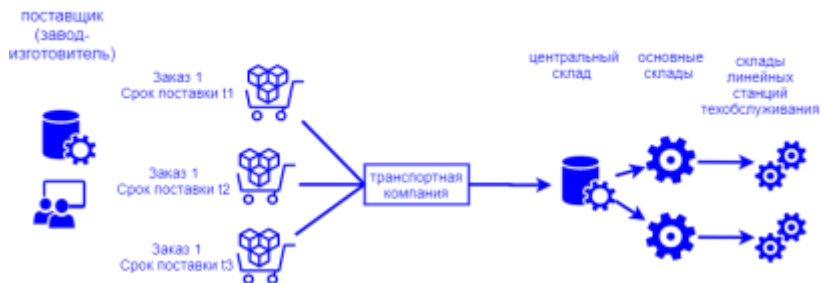


Рисунок 24

Срок поставки запасных частей самолета является наиболее существенным параметром при комплектовании единой поставки. Объединять заказы с одним и тем же сроком исполнения поставки возможно при условии, что все изделия доступны на складе поставщика или могут быть готовы к отправке в течение 2–4 дней с момента поступления заказа, если позволяют сроки. Однако если хотя бы одно изделие требуется доставить как можно скорее, то даже краткосрочное ожидание другого заказа не допускается.

С другой стороны, расходные материалы невысокого приоритета поставки (с ожиданием от двух до четырех недель) можно объединять в единую отправку с другими заказами, обеспечивая при этом сокращение затрат на доставку.

Разукрупнение заказов – это полная противоположность рассмотренным способам консолидации заказов. Иногда появляется необходимость в разукрупнении. Например, один заказ уже готов к отгрузке, а другой по различным причинам еще не готов. Такая схема используется, когда в определенных изделиях есть острая необходимость и нет возможности ждать готовности всего заказа.

Разукрупнение имеет смысл, если заказы предназначены для разных самолетов, и один из них сменил аэропорт базирования. По сути, разукрупнение не является средством оптимизации це-

пей поставок запасных частей и расходных материалов, оно приводит к дополнительным транспортным расходам, но сокращает длительность доставки, если разукрупнение выполнить вовремя. Следовательно, запланированные работы по техническому обслуживанию самолета будут выполнены в установленные сроки.

Далее перейдем к математической постановке и решению транспортной задачи.

Тест к модулю 2

1. В концепции поставок с фиксированной точкой заказа, заказ производится...

- a. При снижении уровня запаса до нуля.
- b. Через фиксированные интервалы времени, независимо от количества запасов на складе.
- c. При снижении уровня запаса ниже некоторого заданного значения.
- d. По требованию руководителя подразделения.

2. После наступления точки заказа и совершения заказа уровень запаса на складе изменяется следующим образом:

- a. Уменьшается некоторое время, затем увеличивается.
- b. Остается неизменным.
- c. Увеличивается.

3. Объединение нескольких заказов в одну поставку повышает эффективность управления цепями поставок. Из предложенных ниже вариантов выберите недостаток консолидации:

- a. Задержка отправки в случае неготовности одного из заказов.
- b. Более удобный контроль за движением партии деталей.
- c. Сокращение транспортных расходов.

4. В случае международной консолидированной отправки условием ввоза по одному транспортному документу является:

- a. Объединенная отправка от нескольких поставщиков.
- b. Объединение заказов по сроку доставки.
- c. Одинаковый тип сделки объединенных заказов.

5. Если имеется возможность ожидать поставку, то целесообразнее применять следующий способ консолидации.

- a. Прямые поставки.
- b. Разукрупнение заказов.
- c. Объединение заказов по сроку поставки.

6. Сократить затраты на оформление перевозочной документации можно при условии:

- a. Поставки нескольких заказов от одного поставщика.
- b. Поставки нескольких заказов от нескольких поставщиков.

7. Для каждого способа управления ценами поставок укажите критерий оптимизации из предложенных вариантов: «срок поставки», «стоимость поставки», «срок и стоимость поставки».

Наименование способа объединения заказов	Срок и стоимость поставки	Стоимость поставки	Срок поставки
Прямые поставки			
Объединение двух и более заказов от поставщика для одного ВС			
Объединение заказов от одного поставщика на материалы для склада			
Объединение заказов от одного поставщика для нескольких самолетов (в одном регионе)			
Объединение заказов от нескольких поставщиков для одного самолета			
Объединение заказов по сроку поставки деталей			
Разукрупнение заказов			

8. Прямые поставки запасных частей целесообразно использовать в случае, если:

- a. Самолет не может эксплуатироваться.
- b. Самолет эксплуатируется, для него запланировано периодическое техническое обслуживание к определенному сроку.

9. Если имеется возможность ожидать поставку, то целесообразнее применять следующий способ консолидации:

- a. Прямые поставки.
- b. Объединение заказов по сроку поставки деталей.
- c. Разукрупнение заказов.

10. Объединение нескольких заказов в одну поставку повышает эффективность управления цепями поставок. Из предложенных ниже вариантов выберите недостатки консолидации.

- a. Сокращение транспортных расходов.
- b. Более удобный контроль за движением партий деталей.
- c. Задержка отправки в случае неготовности одного из заказов.

3 ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСТАВКИ РЕСУРСА В ЦЕНТРЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

3.1 Оптимизация распределения заказов при оперативном планировании поставок материальных ресурсов для авиационной техники

Как отмечалось в конце предыдущего раздела, в ходе материально-технического обслуживания процесса эксплуатации воздушных судов возникает необходимость решения так называемой транспортной задачи. Подобные задачи относятся к задачам линейного программирования. Это понятие включает несколько взаимосвязанных математических методов, которые используются для *оптимального* распределения *ограниченных* ресурсов между *конкурирующими* потребностями.

Для того, чтобы задача Линейного Программирования существовала, необходимо, чтобы описанная в ней ситуация отвечала пяти следующим условиям:

1) *ограниченность ресурсов*: ограниченное количество рабочих, самолетов, материалов и т.п.; если ресурсы не ограничены, то эта задача не существует;

2) *точная цель*: например, минимизация затрат или максимизация прибыли;

3) *линейность*: если на изготовление детали требуется три часа, то на изготовление двух будет затрачено шесть часов, на выпуск трех – девять и т.д.;

4) *однородность*: изделия, изготовленные на станке, идентичны; все часы, в течение которых рабочий выполняет ту или иную операцию, используются им с одинаковой продуктивностью и т.д.;

5) *делимость*: метод Линейного Программирования строится на допущении, что результаты и ресурсы можно разделять на доли; если такое деление невозможно (рейс самолета или наем на работу служащего), используется специальная модификация Линейного Программирования – *целочисленное (дискретное) Линейное Программирование*.

Рассмотрим задачу, которая возникает в процессе обеспечения материальными ресурсами (запасными частями, комплектующими, расходными материалами) потребителей, т.е. аэропортов или Центров технического обслуживания и ремонта.

Пусть имеется несколько *складов* запасных частей с заданными *запасами* материального ресурса.

Имеется несколько *аэропортов (потребителей)*, в которые необходимо доставить *потребное количество* ресурса.

Известны *стоимость* доставки единицы материального ресурса с *каждого* склада в *каждый* аэропорт.

Необходимо составить такой план поставок, чтобы в каждый аэропорт потребное количество ресурса было доставлено, а стоимость поставки была минимальна. т.е. определить какое количество ресурса от *каждого* поставщика доставляется в *каждый* аэропорт.

Введем переменные для описания задачи:

I – количество складов;

J – количество аэропортов;

A_i – запас ресурса на i -ом складе, т, $i = [1, I]$;

B_j – потребность в ресурсе в j -ом аэропорту, т, $j = [1, J]$;

C_{ij} – стоимость доставки единицы ресурса от i -го склада до j -го аэропорта, ден.ед, $i = [1, I], j = [1, J]$;

X_{ij} – количество ресурса, перевозимого от i -го склада до j -го аэропорта, т, $i = [1, I], j = [1, J]$.

Переменные A_i , B_j , C_{ij} заданы; проектные переменные X_{ij} необходимо определить в ходе решения задачи Линейного Программирования.

Пусть имеется два склада и три аэропорта, тогда $I = 2$, $J = 3$.

Сформулируем необходимое условие, при котором данная задача будет иметь решение.

Суммарный запас ресурса, имеющийся на всех складах, должен быть не меньше суммарного количества ресурса, истребованного всеми аэропортами:

$$A_1 + A_2 \geq B_1 + B_2 + B_3.$$

В обобщенном виде:

$$\sum_{i=1}^I A_i \geq \sum_{j=1}^J B_j.$$

Целевая функция (суммарная стоимость доставки) запишется как сумма произведений стоимостей доставки единицы ресурса на количество перевезенных единиц ресурса с каждого склада в каждый аэропорт:

$$S = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + C_{21}X_{21} + C_{22}X_{22} + C_{23}X_{23} \rightarrow \min.$$

В обобщенном виде:

$$S = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min.$$

Сформулируем ограничения, накладываемые на переменные задачи.

Первое. Суммарное количество ресурса, доставляемого в каждый аэропорт со всех складов, должно быть равно потребности этого аэропорта:

$$X_{11} + X_{21} = B_1; X_{12} + X_{22} = B_2; X_{13} + X_{23} = B_3.$$

В обобщенном виде:

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} = B_j, \quad j = [1, J].$$

Второе. Суммарное количество ресурса, отправляемого с каждого склада во все аэропорты, не должно превышать запас ресурса, имеющийся на этом складе:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq A_1; X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq A_2.$$

В обобщенном виде:

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} \leq A_i, \quad i = [1, I].$$

Это классическая транспортная задача. Существуют различные методы решения подобного рода задач (например, метод потенциалов, метод северо-западного узла). Здесь для ее решения будут использоваться соответствующие программные средства.

3.2 Реализация модели задачи в MS Excel

Приступим к решению сформулированной задачи с использованием табличного процессора Microsoft Excel.

Создадим новый файл – книгу Excel. Сохраним его как *ИЛП_МТО.xls* (интегрированная логистическая поддержка – материально-техническое обеспечение). На чистом листе заполним таблицу с исходными данными (выделены заливкой голубого цвета) (рис. 25). Переименуем лист в *Задача1*.

Значения A_i запасов на складах задаются в ячейках G5 и G6 (14 единиц на первом складе, 59 – на втором). Значения B_j потребностей аэропортов – в ячейках D7:F7 (31, 21, 12 единиц). В ячейках D5:F6 задаются значения C_{ij} стоимости доставки единицы ресурса с каждого склада в каждый аэропорт: например, с первого

склада во второй аэропорт доставить единицу ресурса стоит 34 денежных единицы. Для наглядности все исходные данные, кроме заливки голубым цветом, еще выделены жирным шрифтом.

		Аэропорты			Запасы	Итого
		1	2	3		
Склады	i	Стоимость C_{ij}			A_i	
	1	23	34	121	14	
	2	46	58	145	59	73
Потребности B_j		31	21	12		Условие
		Итого			64	9
		Перевезено X_{ij}			Всего со склада	Огран.2
	1		14		14	0
	2	31	7	12	50	9
Всего в аэропорт		31	21	12		
Огран.1		0	0	0		
		Затраты $X_{ij} * C_{ij}$				ЦФ
	1	0	476	0		
	2	1426	406	1740		4048

Рисунок 25

Для проверки выполнения необходимого условия решения задачи в ячейку F8 введем формулу суммирования потребностей в ресурсе всех аэропортов, т.е. сумму ячеек с D7:F7, формула =СУММ(D7:F7), а в ячейку H6 – формулу суммирования запасов ресурса на всех складах, т.е. сумму ячеек G5 и G6, формула =СУММ(G5:G6). В ячейке H8 запишем формулу разности между суммой запасов (ячейка H6) и суммой потребностей (ячейка F8), формула =H6-F8 – в рассматриваемой ситуации запасы превышают потребности на 8 единиц.

В ячейки D10:F11 занесем значения единиц ресурса, перевозимого от i -го склада до j -го аэропорта, эти значения необходимо определить в результате решения задачи. В настоящий момент они неизвестны, и сюда предварительно заносятся приведенные на рисунке 25 значения. Например, со второго склада во второй аэропорт предполагается отправить 15 единиц ресурса.

Введем формулы суммирования итогов: в ячейке D12 сумма доставляемых в первый аэропорт ресурсов с двух складов (сумма ячеек D10 и D11), формула $=СУММ(D10:D11)$, в ячейках F12, E12 аналогичные формулы для второго и третьего аэропортов. В ячейке G10 – сумма отправленных с первого склада ресурсов во все аэропорты, т.е. сумма ячеек с D10 по F10, формула $=СУММ(D10:F10)$, в ячейке G11 – аналогичная формула для второго склада.

Для удобства просмотра результатов в ячейку D13 введем формулу разности между количеством доставленных с двух складов в первый аэропорт единиц ресурса (ячейка D12) и потребностью первого аэропорта (ячейка D7), формула $=D12-D7$. Если разность отрицательна, то значит необходимого количества ресурса не доставлено. После решения задачи эта разность должна быть нулевой. Аналогичные формулы для остальных аэропортов записаны в ячейках E13 и F13.

В ячейку H10 введем формулу вычисления остатка запаса ресурса на первом складе – разность между запасом (ячейка G5) и количеством отправленных во все аэропорты ресурсов с этого склада (ячейка G10), формула $=G5-G10$. В начальный момент эта разность отрицательна, значит, планируется отправить ресурса больше, чем есть запасов на складе. После решения задачи в этой ячейке остаток должен быть неотрицательным. Аналогичная формула для второго склада записана в ячейку H11.

Для определения целевой функции (суммарной стоимости поставки) в ячейках D16:F16 рассчитаем стоимость доставки ресурса с каждого склада в каждый аэропорт как произведение стоимости доставки одной единицы и количества доставляемых единиц: для ячейки D16 это произведение ячеек D5 и D10, формула $=D5*D10$. В остальных ячейках формулы аналогичны. В ячейке H16 запишем целевую функцию – сумму ячеек с D16 по F16, формула $=СУММ(D16:F17)$.

Таким образом, создана модель поставки ресурса с двух складов в три аэропорта.

3.3 Решение задачи оптимальной поставки в MS Excel

Рассмотрим, как с использованием модели, построенной в предыдущем пункте, получить оптимальный план поставок ресурса с двух складов в три аэропорта. Воспользуемся средством «Поиск Решения» табличного процессора Microsoft Excel.

Для этого откроем вкладку «Данные», выберем команду «Поиск Решения». Если на этой вкладке данная команда отсутствует, то значит на данном компьютере надстройка «Поиск Решения» не установлена. Осуществим ее установку следующим образом. Откроем вкладку «Файл», выберем последовательно команды «Параметры», «Надстройки». В поле «Управление» выберем пункт «Надстройки Excel», нажмем кнопку *Перейти*.

В списке надстроек включим флажок «Поиск решения», нажмем кнопку *ОК*. После этого на вкладке «Данные» появляется команда «Поиск решения» (рис. 26). Выберем эту команду. В открывшемся окне «Параметры поиска решения» укажем следующее. В поле «Оптимизировать целевую функцию» введем адрес ячейки H16 (можно щелкнуть мышью по ячейке). Выберем кнопку *Минимум*.

Задача 1. Доставка ресурса со складов в аэропорты

		Аэропорты			Запасы		
		1	2	3	М		
		Стоимость СЦ			М		
Склады	1	23	34	121	14	Итого	
	2	46	58	145	59		73
Потребности в		31	21	12		Условие	
		Итого			64	0	
					Всего со складов	Аэром.2	
		12	12	13	36	-22	
		14	15	16	45	14	
Всего в аэропорты		25	27	29			
		Аэром.1			-6	6	17
		Затраты ЦФ * СЦ					
		233	408	1 573		ЦФ	
		644	870	2 320		6 068	

Рисунок 26

Убедимся, что флажок «Сделать переменные без ограничений неотрицательными» включен, в качестве метода решения выберем «Поиск решения лин.задач симплекс-методом». В поле «изменяя ячейки переменных» укажем адрес диапазона ячеек D10:F11. Для этого можно обвести их мышью. Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решения*. После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *ОК*.

Как и следовало ожидать, в случае отсутствия ограничений на переменные оптимальным результатом является нулевое значение переменных и целевой функции.

Добавим первое ограничение – на количество ресурсов, привезенных в каждый аэропорт. Разности между потребностями аэропортов и количеством привезенного ресурса, вычисляемые в ячейках D13:F13, должны быть равны нулю.

На вкладке «Данные» выбираем команду «Поиск решения», в окне «Параметры поиска решения» нажимаем на кнопку *Добавить*.

В поле «Ссылка на ячейки» указываем диапазон ячеек D13:F13, в среднем окне знак равенства, в поле «Ограничение» вводим ноль, нажимаем кнопку *OK*. В центральном поле «В соответствии с ограничениями» появляется введенное ограничение.

Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решение*. После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK*.

Теперь все потребности аэропортов в ресурсе удовлетворены. Значение целевой функции составляет 2879 денежных единиц. Однако ресурс для каждого аэропорта доставлен с первого склада, в результате имеющийся там запас превышен на 50 единиц, в то же время на втором складе остались нетронутыми 59 единиц ресурса.

Добавим второе ограничение – на запасы на складах. Разности между запасами на складах и количеством отправленного ресурса в них, вычисляемые в ячейках с H10 и H11, должны быть неотрицательными.

На вкладке «Данные» выбираем команду «Поиск решения», в окне «Параметры поиска решения» нажимаем на кнопку *Добавить*.

В поле «Ссылка на ячейки» указываем диапазон ячеек H10:H11, в среднем окне выбираем символы «больше равно», в поле «Ограничение» вводим ноль, нажимаем кнопку *OK*. В центральном поле «В соответствии с ограничениями» появляется второе ограничение (рис. 27).

Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решение*.

После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK* (рис. 28).

Все потребности аэропортов в ресурсе удовлетворены. Значение целевой функции выросло и составило 4048 денежных единиц.

При этом с первого склада отправлен весь имевшийся там запас ресурса, на втором складе осталось 9 единиц.

В первый аэропорт и в третий аэропорт весь ресурс доставлен с одного склада; во второй – часть ресурса с первого, часть со второго склада.

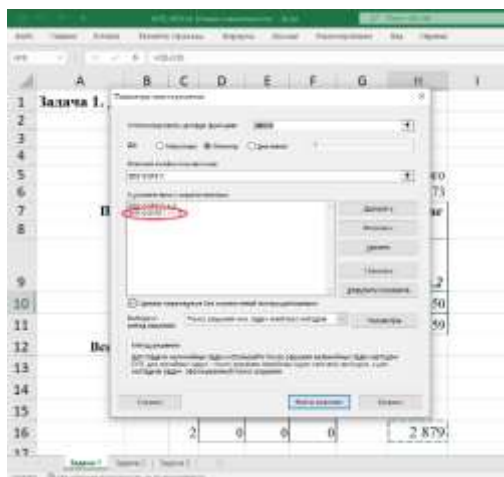


Рисунок 27

Задача 1. Доставка ресурса со складов в аэропорты						
		Аэропорты			Запасы	
		1	2	3	A_i	
Склады	i	Стоимость C_{ij}			Итого	73
	1	23	34	121		
2	46	58	145	89		
Потребности B_j		31	21	12	Итого	64
					Условие	9
					Всего со склада	
	X_{ij}	14			Огранич. 2	0
		31	7	12		9
Всего в аэропорт		31	21	12		
Огранич. 1		0	0	0		
		Затраты $X_{ij} * C_{ij}$				
	1	0	476	0		ЦФ
	2	1 426	406	1 740		4 048

Рисунок 28

Итак, с использованием разработанной модели нами получен оптимальный план поставок ресурса с двух складов в три аэропорта. Потребности в ресурсе всех аэропортов удовлетворены. Значение целевой функции – суммарная стоимость поставки – является минимальным.

Может получиться так, что в результате поиска решения будет найден несколько иной план поставок, но целевая функция при этом будет иметь такое же значение. Это говорит о том, что данная задача имеет несколько оптимальных решений

3.4 Решение задачи оптимальной поставки с использованием OPL IBM IDE

В предыдущих разделах разработана и реализована модель оптимальной поставки с использованием средства «Поиск решения» табличного процессора Microsoft Excel. Теперь рассмотрим, как данную задачу можно решить с использованием другого программного средства – оптимизационного программного пакета IBM ILOG OPL IDE или IBM ILOG CPLEX. В дальнейшем будем называть его просто OPL.

Среда OPL позволяет решать задачи целочисленного программирования, задачи линейного программирования значительной размерности.

Язык OPL обеспечивает естественное математическое описание моделей оптимизации.

Для установки OPL на компьютер необходимо по ссылке, приведенной в [5], скачать установочный файл и запустить его на выполнение.

Для начала работы необходимо закрыть вкладку *Welcome to the OPL IDE*, нажав мышью на крестик, после чего появится рабочий экран программной среды.

Каждая задача в OPL реализуется в так называемом проекте (*Project*), представляющем собой папку с несколькими файлами с одним и тем же именем, но с различными расширениями.

Создадим новый проект. Для этого выберем пункт Меню *File*, далее пункт *New*, далее *OPL Project*. В результате появляется окно *New Project*. В поле *Project name* введем имя проекта, назовем наш проект *ИЛП_МТО_1* (рис. 29).

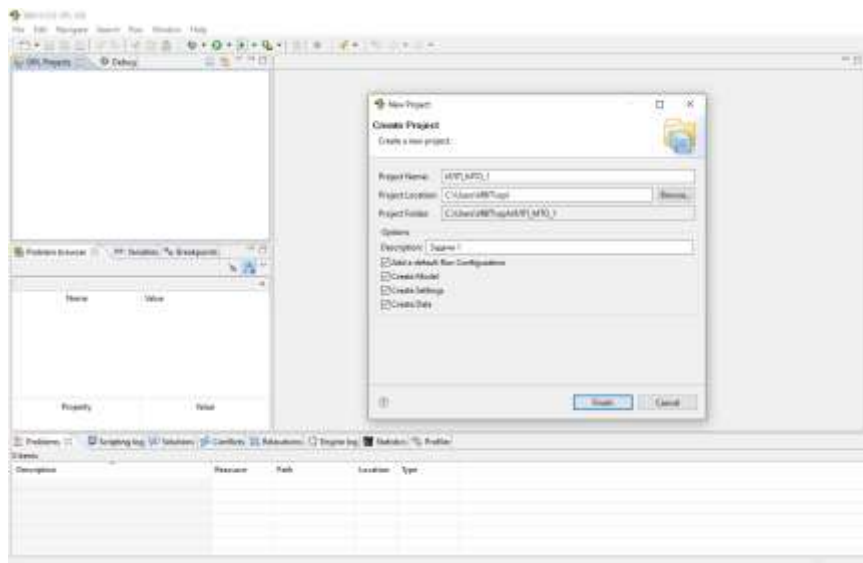


Рисунок 29

В поле *Project Location* (размещение проекта) автоматически предлагается путь к папке. Можно указать какую-то свою папку, здесь оставляем путь, предлагаемый по умолчанию. В поле *Description* (описание) введем «Задача 1», включим все флажки создания файлов модели. В результате в окне *OPL Projects* в списке проектов появляется имя нашего проекта, в скобках его описание *Задача 1*. В центральном окне появляется три вкладки с именами файлов с расширением *.mod*, *.dat* и *.ops*.

В первом файле будет описываться непосредственно математическая модель, во втором задаются исходные данные, в третьем файле – параметры метода решения.

В окне *OPL Projects* щелчком мышью, развернув список файлов проекта. Закроем вкладку с файлом *.ors* и перейдем на вкладку файла *.mod* (рис. 30).

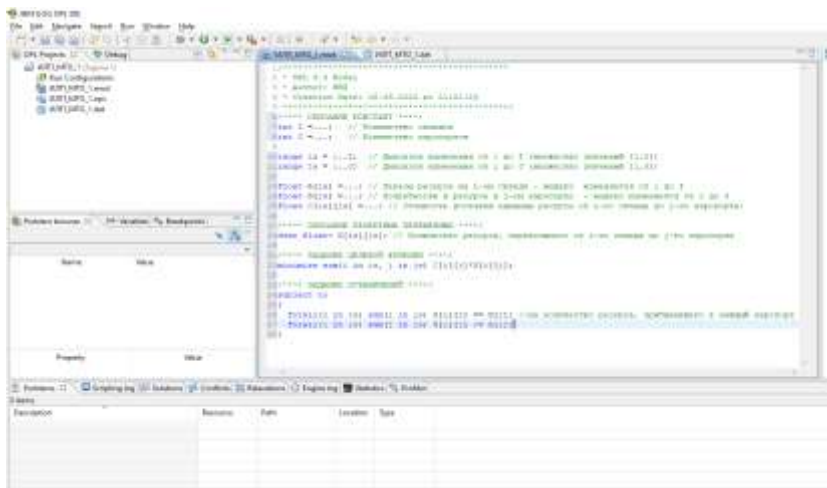


Рисунок 30

Текст комментария в одну или несколько строк начинается с символов / (слэш) и * (звездочка), обязательно заканчивается символами * и /. Далее всё, что написано между /* и */, является комментарием.

Введём новый комментарий «**/**/Описание констант/**/**», выделив его звёздочками впереди и позади текста. Этот комментарий также начинается со слэша и звёздочки и заканчивается звездочкой и слэшем.

Начнем вводить код программы. Каждая строка кода заканчивается точкой с запятой. Комментарий, который умещается на одной строке, начинается с двух слешей подряд.

В седьмой строке вводится описание переменных I – количество складов и J – количество аэропортов.

Ключевое слово **int** означает, что эти переменные целого типа, то есть могут принимать только целые значения.

Три точки после равенства означают, что значение переменной должно считываться из файла *.dat*, т.е. значения I и J считываются из этого файла *.dat*.

Необходимо отметить, что в OPL заглавные и строчные буквы различаются, то есть I и i – это разные переменные.

В следующих двух строчках с использованием ключевого слова **Range** задаются диапазоны изменения переменных: то есть множества значений целых чисел от 1 до I и от 1 до J .

В следующей строке описывается переменная A_i (запасы ресурса на i -ом складе) с индексом, изменяющимся от единицы до I , поскольку is – это **Range** диапазон, описанный двумя строками выше. Ключевое слово **float** указывает на то, что переменная A_i – вещественного типа. Аналогично переменная B_j с индексом, изменяющимся от 1 до J , поскольку js – это **Range** диапазон от 1 до J .

Переменная C_{ij} имеет два индекса i и j , каждый из которых изменяется в соответствующем диапазоне.

Введем комментарий «*******Описание проектных переменных*******». Далее введем описание проектных переменных X_{ij} – количество ресурса, доставляемого от i -го склада до j -го аэропорта. В соответствии с математической постановкой задачи переменные X_{ij} имеют индексы i и j . Ключевое слово **dvar** указывает на то, что это искомая переменная. При этом она вещественного типа, на что указывает ключевое слово **float**, и неотрицательна, на это указывает плюсики после слова **float**.

Введем комментарий «*******Задание целевой функции*******».

Запишем выражение для целевой функции на языке OPL. Ключевое слово **minimize** означает, что функцию надо минимизировать. Ключевое слово **sum** означает сумму. В скобках указаны пределы суммирования по i в диапазоне is , то есть от 1 до I , суммирование по j в диапазоне js , то есть от 1 до J .

Выражение $C_{ij} * X_{ij}$ – это слагаемое целевой функции.

Ведём следующий комментарий «/***Задание ограниченный***/»

Ключевое слово **subject to** (при условии) и открывающая и закрывающая фигурные скобки говорят о том, что между этими скобками будут записаны выражения для ограничений.

Первое ограничение – на количество ресурса, прибывающего в каждой аэропорт. Слово **forall** (для всех) и скобки после него означают что индекс j изменяется в диапазоне js , то есть от 1 до J . Пределы суммирования находятся в диапазоне is , то есть от 1 до I , сумма X_{ij} должна быть равна B_j . В OPL условие равенства обозначается двумя знаками равенства, идущими подряд.

Второе ограничение – на количество ресурса, отправляемого с каждого склада. **forall** и скобки после него означают, что индекс i изменяется в диапазоне is , то есть от 1 до I . Пределы суммирования в диапазоне js , то есть от одного до J . Условие $X_{ij} \leq A_i$ обозначается символами $<$ и $=$.

Таким образом, файл модели *.mod* заполнен. Далее необходимо заполнить файл *.dat* – файл с исходными данными (рис. 31).

Начинаем последовательно указывать те переменные, описания которых в файле *.mod* заканчивались троеточием, т.е. $I = 2$ (количество складов), $J = 3$ (количество аэропортов).

Переменная A_i (значения запасов на складах) – массив, состоящий из двух элементов (поскольку $I = 2$). В OPL элементы одномерного массива заключаются в квадратные скобки, внутри которых они перечисляются через запятую.

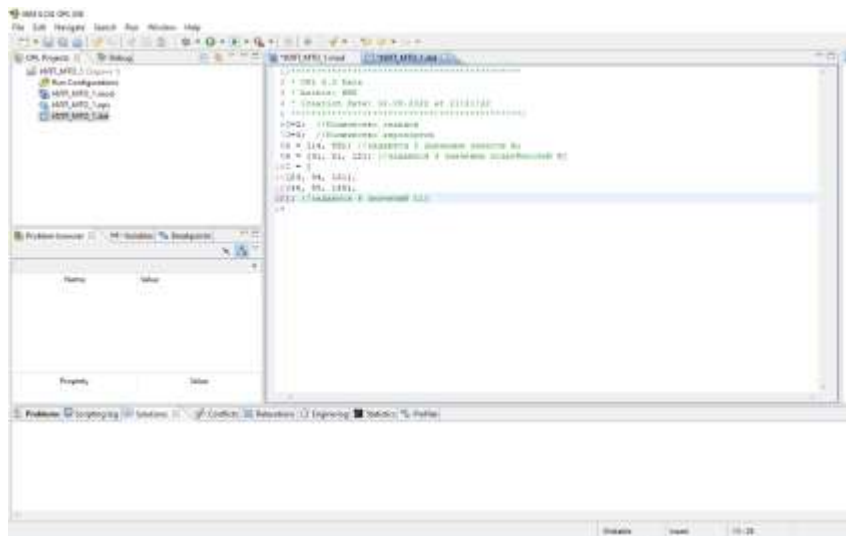


Рисунок 31

Переменная B_j (значения потребностей аэропортов) – массив из трех элементов, перечисленных через запятую, и заключенный в квадратные скобки

Двумерный массив можно представить, как несколько одномерных массивов, заключенных в квадратные скобки, и перечисляемых через запятую.

C_{ij} (значения стоимости доставки единицы груза) – двумерный массив. В первой паре квадратных скобок перечисляются значения стоимостей для трех аэропортов при доставке с первого склада, и во второй паре скобок аналогичные значения – со второго склада.

У нас все подготовлено для решения задачи.

Для запуска задачи на решение щелкаем правой кнопкой мыши по имени любого файла проекта в окне *OPL Projects*, выбираем пункт *Run*, далее выбираем *default Run Configurations* (рис. 32).

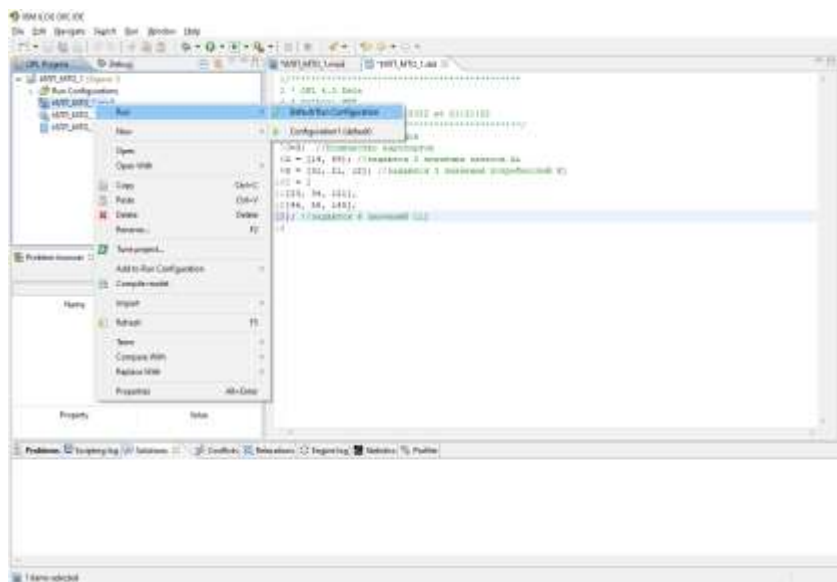


Рисунок 32

При первом запуске проекта появляется запрос на сохранение измененных файлов. Включим флажок «всегда сохранять файлы перед запуском», и задача запускается на выполнение.

Наш пример достаточно простой, поэтому время решения составляет всего 0,14 с. После окончания решения в окне *Problem browser* появляется сообщение *Solution* (решение) со значением целевой функции, которое составляет 4048 (рис. 33).

На вкладке *Solutions* также выводится значение целевой функции и значения проектных переменных для первого склада X_{11} , X_{12} , X_{13} и для второго склада X_{21} , X_{22} , X_{23} .

Итак, в этом разделе разработаны и реализованы две модели оптимальной поставки ресурса с нескольких складов в несколько Центров технического обслуживания и ремонта или аэропортов.

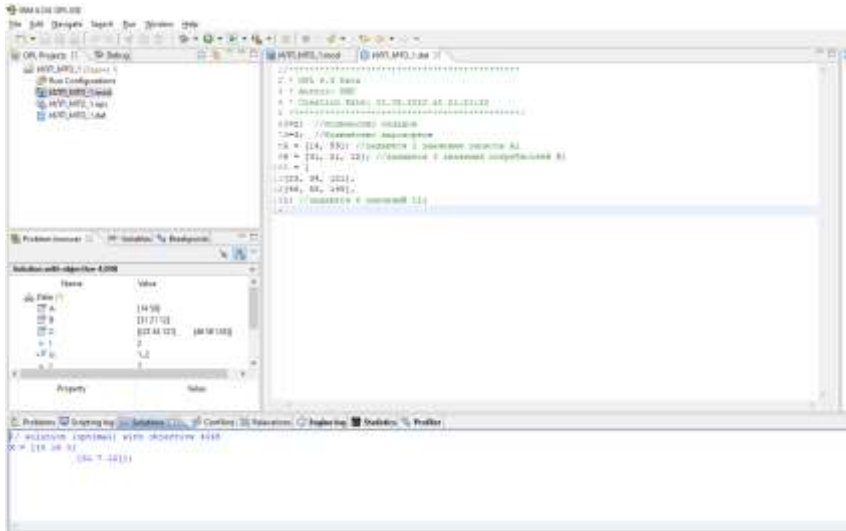


Рисунок 33

Для решения задачи использовались два различных программных средства: табличный процессор Microsoft Excel и оптимизационный пакет IBM ILOG OPL IDE. Результаты решения оказались идентичными, что является свидетельством достоверности разработанных моделей.

Тест к модулю 3

1. Что описывает данная формула в задаче оптимальной поставки ресурса в Центры технического обслуживания и ремонта?

$$C = \sum_{j=1}^I \sum_{i=1}^J C_{ij} \cdot X_{ij} \rightarrow \min.$$

- Целевую функцию.
- Ограничение на суммарное количество ресурса, отправляемого с каждого склада во все аэропорты.
- Необходимое условие.
- Ограничение на суммарное количество ресурса, доставляемого в каждый аэропорт со всех складов.

2. Что описывает данная формула в задаче оптимальной поставки ресурса в Центры технического обслуживания и ремонта?

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} = B_j, j = [1, J].$$

- Целевую функцию.
- Ограничение на суммарное количество ресурса, отправляемого с каждого склада во все аэропорты.
- Необходимое условие.
- Ограничение на суммарное количество ресурса, доставляемого в каждый аэропорт со всех складов.

3. Что описывает данная формула в задаче оптимальной поставки ресурса в Центры технического обслуживания и ремонта?

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} \leq A_i, \quad i = [1, I].$$

- Целевую функцию.
- Ограничение на суммарное количество ресурса, отправляемого с каждого склада во все аэропорты.
- Необходимое условие.
- Ограничение на суммарное количество ресурса, доставляемого в каждый аэропорт со всех складов.

4. Каким ключевым словом в программном пакете OPL при описании констант и переменных задается целочисленность константы или переменной?

5. Каким ключевым словом в программном пакете OPL при описании констант задается диапазон изменения индекса?

6. Укажите признаки существования задачи линейного программирования.

- Квадратичность зависимостей
- Ограниченность ресурсов
- Разнородность ресурсов
- Точная цель

7. Что из перечисленного не относится к признакам существования задачи линейного программирования?

- a. Ресурсы бесконечны
- b. Линейность
- c. Однородность ресурсов
- d. Имеются два и более критериев

8. При создании в программном пакете OPL проекта с именем Задача1 в каком файле должна описываться модель задачи?

9. При создании в программном пакете OPL проекта с именем Задача1 в каком файле должны описываться исходные данные?

10. Что задает в программном пакете OPL ключевое слово `ctype` при описании констант и переменных?

- a. Целый тип
- b. Вещественный тип
- c. Диапазон изменения
- d. Искомая (проектная) переменная
- e. Вещественный тип
- f. Логический тип

4 ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСТАВКИ РЕСУРСОВ НЕСКОЛЬКИХ ТИПОВ В ЦЕНТРЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

4.1 Постановка задачи, формирование математической модели

Рассмотрим следующую задачу материально-технического обеспечения процессов эксплуатации воздушного судна. В отличие от предыдущей задачи, где требовалось доставить только один тип материального ресурса, здесь предполагается, что таких ресурсов – несколько типов.

Имеется несколько *складов*, на которых хранятся ресурсы *нескольких* типов с заданными *объемами* их запасов.

Имеется несколько *аэропортов* (или Центров технического обслуживания и ремонта), в которые необходимо доставить *потребное количество* ресурса *каждого* типа.

Известна *стоимость* доставки единицы ресурса *каждого* типа с *каждого* склада в *каждый* аэропорт.

Необходимо составить такой план поставок, чтобы в каждый аэропорт потребное количество ресурса каждого типа было доставлено, а общая стоимость поставки была минимальна, т.е. необходимо определить, какое количество ресурса *каждого* типа от *каждого* поставщика доставляется в *каждый* аэропорт.

Введем следующие переменные для описания задачи:

I – количество складов;

J – количество аэропортов;

K – количество типов ресурсов;

A_{ik} – запас ресурса k -го типа на i -ом складе,

B_{jk} – потребность в ресурсе k -го типа в j -ом аэропорту,

C_{ijk} – стоимость доставки единицы ресурса k -го типа с i -го склада в j -й аэропорт,

X_{ijk} – количество ресурса k -го типа, доставляемого с i -го склада в j -й аэропорт.

Переменные A_{ik} , B_{jk} , C_{ijk} заданы; проектные переменные X_{ijk} необходимо определить в ходе решения задачи Линейного Программирования.

Предположим, что имеется два склада и три аэропорта, а материальных ресурсов четыре типа. Тогда $I = 2$, $J = 3$, $K = 4$.

Сформулируем необходимые условия, при которых данная задача будет иметь решение.

Суммарный запас ресурса каждого типа на всех складах должен быть не меньше суммы потребностей в этом ресурсе всех аэропортов:

$$\text{Условие для ресурса первого типа } A_{11} + A_{21} \geq B_{11} + B_{21} + B_{31}.$$

$$\text{Условие для ресурса второго типа } A_{12} + A_{22} \geq B_{12} + B_{22} + B_{32}.$$

$$\text{Условие для ресурса третьего типа } A_{13} + A_{23} \geq B_{13} + B_{23} + B_{33}.$$

$$\text{Условие для ресурса четвертого типа } A_{14} + A_{24} \geq B_{14} + B_{24} + B_{34}.$$

Необходимое условие в обобщенном виде

$$\sum_{i=1}^I A_{ik} \geq \sum_{j=1}^J B_{jk}, \quad k = [1, K].$$

Целевая функция (суммарная стоимость доставки) запишется как сумма произведений стоимостей доставки единицы ресурса каждого типа на количество перевезенных единиц ресурса данного типа от каждого склада в каждый аэропорт.

$$\begin{aligned} S = & C_{111}X_{111} + C_{112}X_{112} + C_{113}X_{113} + C_{114}X_{114} + C_{121}X_{121} + \\ & C_{122}X_{122} + C_{123}X_{123} + C_{124}X_{124} + \\ & + C_{131}X_{131} + C_{132}X_{132} + C_{133}X_{133} + C_{134}X_{134} + C_{211}X_{211} + C_{212}X_{212} + \\ & C_{213}X_{213} + C_{214}X_{214} + \\ & + C_{221}X_{221} + C_{222}X_{222} + C_{223}X_{223} + C_{224}X_{224} + C_{231}X_{231} + C_{232}X_{232} \\ & + C_{233}X_{233} + C_{234}X_{234} \rightarrow \min. \end{aligned}$$

В обобщенном виде

$$S = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ijk} \cdot X_{ijk} \rightarrow \min.$$

Сформулируем ограничения, накладываемые на проектные переменные. Они аналогичны тем, которые использовались в первой задаче, но здесь учитываются ресурсы нескольких типов.

Первое. Для того, чтобы потребности каждого аэропорта в ресурсе каждого типа были удовлетворены, суммарное количество ресурса каждого типа, доставляемого в каждый аэропорт со всех складов, должно быть равно потребности этого аэропорта в этом ресурсе.

Для ресурса первого типа

$$X_{111} + X_{211} = B_{11}, X_{121} + X_{221} = B_{21}, X_{131} + X_{231} = B_{31}.$$

Для ресурса второго типа

$$X_{112} + X_{212} = B_{12}, X_{122} + X_{222} = B_{22}, X_{132} + X_{232} = B_{32}.$$

Для ресурса третьего типа

$$X_{113} + X_{213} = B_{13}, X_{123} + X_{223} = B_{23}, X_{133} + X_{233} = B_{33}.$$

Для ресурса четвертого типа

$$X_{114} + X_{214} = B_{14}, X_{124} + X_{224} = B_{24}, X_{134} + X_{234} = B_{34}.$$

В обобщенном виде:

$$\sum_{i=1}^I X_{ijk} = B_{jk}, \quad j = [1, J], \quad k = [1, K].$$

Второе. Суммарное количество ресурса каждого типа, поставляемое с i -го склада во все аэропорты, не должно превышать его запас на этом складе:

Для ресурса первого типа

$$X_{111} + X_{121} + X_{131} \leq A_{11}, X_{211} + X_{221} + X_{231} \leq A_{21},$$

Для ресурса второго типа

$$X_{112} + X_{122} + X_{132} \leq A_{12}, X_{212} + X_{222} + X_{232} \leq A_{22},$$

Для ресурса третьего типа

$$X_{113} + X_{123} + X_{133} \leq A_{13}, \quad X_{213} + X_{223} + X_{233} \leq A_{23},$$

Для ресурса четвертого типа

$$X_{114} + X_{124} + X_{134} \leq A_{14}, \quad X_{214} + X_{224} + X_{234} \leq A_{24}.$$

Второе ограничение в обобщенном виде:

$$\sum_{j=1}^J X_{ijk} \leq A_{ik}, \quad i = [1, I], \quad k = [1, K].$$

Таким образом, нами составлена математическая модель задачи оптимальной поставки ресурсов нескольких типов с нескольких складов в несколько аэропортов.

4.2 Реализация модели задачи в MS Excel

Рассмотрим, как сформулированную задачу можно решить с использованием табличного процессора Microsoft Excel.

Предполагается, что имеется два склада с материальными ресурсами и три аэропорта или Центра технического обслуживания и ремонта, для которых задана потребность в ресурсах четырех типов: подкачивающий топливный насос, топливная панель, фильтр-осушитель, датчик количества топлива.

В созданном ранее файле *ИЛП_МТО.xls* на чистом листе заполним таблицу с исходными данными. Переименуем лист в *Задача2*.

Заполним таблицу следующими исходными данными (рис. 34). В ячейках с D6 по F6 зададим потребность в насосах для каждого из трех аэропортов, в ячейках с G6 по I6 потребность в панелях для каждого из трех аэропортов, в ячейках с J6 по L6 потребность в фильтрах для каждого из трех аэропортов и в ячейках с M6 по O6 потребность в датчиках для каждого из трех аэропортов.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Потребности V_k		Итого			
Тип ресурса	Склад 1	Склад 2	Склад 3	Склад 4	Итого
1	6	4	5	5	20
2	4	3	4	4	15
3	7	7	7	7	28
4	9	11	15	14	49

Стоимость C_{kl}		Итого			
Тип ресурса	Склад 1	Склад 2	Склад 3	Склад 4	Итого
1	23	34	121	28	186
2	46	58	145	50	300
3	32	43	146	40	261
4	52	66	166	55	339

Параметры X_{kl}		Итого			
Тип ресурса	Склад 1	Склад 2	Склад 3	Склад 4	Итого
1	2	2	2	2	8
2	3	3	3	3	12
3	4	4	4	4	16
4	7	7	7	7	28

Запасы A_k		Итого			
Тип ресурса	Склад 1	Склад 2	Склад 3	Склад 4	Итого
1	8	40	20	28	96
2	10	32	21	27	90
3	3	31	2	3	39
4	1	28	1	0	30

Рисунок 34

В ячейках F7, I7, L7, O7 подсчитаем суммарную потребность в каждом ресурсе для всех аэропортов.

Запасы A_{ik} каждого из четырех ресурсов на складах зададим в следующих ячейках: для первого склада в ячейках P9:S9, для второго в ячейках P10:S10.

В ячейках P11, Q11, R11, S11 подсчитаем сумму запасов ресурса каждого типа на обоих складах.

Для проверки выполнения необходимого условия решения задачи в ячейке R6 запишем формулу разности между суммой запасов первого ресурса (ячейка P11) и суммой потребностей в этом ресурсе (ячейка F7), формула $=P11-F7$ – в рассматриваемой ситуации запас превышает потребность на 1 единицу. Для ресурсов остальных трех типов в ячейках Q6, R6, S6 формулы аналогичны.

В ячейки с D9 по O10 введем значения стоимости доставки единицы ресурса каждого типа с каждого склада в каждый аэропорт.

Например, стоимость доставки одного фильтра ($k = 3$) с первого склада во второй аэропорт составляет 43 денежных единицы, а со второго склада в этот же аэропорт – 66 единиц.

В ячейки D13:O14 занесем значения количества единиц ресурса, перевозимого от i -го склада до j -го аэропорта по ресурсу каждого типа, эти значения необходимо определить в результате решения задачи.

В настоящий момент они неизвестны, и сюда предварительно заносятся приведенные на рисунке 34 значения. Например, насосов с первого склада во все аэропорты отправляется по 2 единицы, со второго – по три, панелей с первого склада по 3 единицы, со второго по четыре, фильтров с первого склада по шесть единиц, со второго по 7, и датчиков с первого склада по 8 единиц, со второго по 9.

В ячейки D15:O15 занесем формулы суммирования количества единиц ресурса каждого типа, отправленных с двух складов. Для ячейки D15 это будет сумма ячеек D13:D14, формула =СУММ(D13:D14), т.е. количество насосов, отправляемых с двух складов в первый аэропорт. В остальных ячейках формулы аналогичные.

В ячейки P13:S14 занесем формулы суммирования количества единиц ресурса каждого типа, отправленных с каждого склада во все аэропорты. Для ячейки P13 это будет сумма ячеек D13:F13, формула =СУММ(D13:F13), т.е. количество насосов, отправляемых с первого склада во аэропорты. В остальных ячейках формулы аналогичные.

Для удобства просмотра результатов в ячейку D16 введем формулу разности между количеством доставленных с двух складов в первый аэропорт насосов (ячейка D15) и потребностью в насосах первого аэропорта (ячейка D6), формула =D15-D6. Если разность отрицательна, то необходимого количества ресурса не доставлено. После решения задачи эта разность должна быть нулевой. Аналогичные формулы для остальных аэропортов и типов ресурсов записаны в ячейках E16:O16.

В ячейку P15 введем формулу вычисления остатка запаса первого ресурса (насосов) на первом складе – разность между запасом (ячейка P9) и количеством насосов, отправленных во все аэропорты с этого склада (ячейка P13), формула $=P9-P13$. В начальный момент эта разность равна нулю, значит с этого склада планируется отправить весь запас насосов. После решения задачи в этой ячейке остаток должен быть неотрицательный. Аналогичные формулы для ресурсов остальных типов, отправляемых с первого склада, записаны в ячейки Q15:S15; для каждого ресурса, отправляемого со второго склада, в ячейках P16:S16.

Для определения целевой функции (суммарной стоимости поставки) в ячейке T14 рассчитаем стоимость доставки ресурса всех типов со всех складов во все аэропорты как сумму произведений стоимости доставки одной единицы в ячейках с D9:O10 и количества доставляемых единиц в ячейках D13:O14: формула $=СУММПРОИЗВ(D9:O10;D13:O14)$.

Таким образом, мы создали модель поставки ресурсов четырех типов с двух складов в три аэропорта.

4.3 Решение задачи оптимальной поставки в MS Excel

Рассмотрим, как с использованием этой модели получить оптимальный план поставок ресурсов четырех типов с двух складов в три аэропорта. Воспользуемся средством «Поиск Решения» табличного процессора Microsoft Excel.

Для этого откроем вкладку «Данные», выберем команду «Поиск Решения». В открывшемся окне «Параметры поиска решения» укажем следующее. В поле «Оптимизировать целевую функцию» введем адрес ячейки T14 (можно щелкнуть мышью по ячейке). Выберем кнопку *Минимум*.

Убедимся, что флажок «Сделать переменные без ограничений неотрицательными» включен, в качестве метода решения выберем

«Поиск решения лин.задач симплекс-методом». В поле «изменяя ячейки переменных» укажем адрес диапазона ячеек D13:O14. Для этого можно обвести их мышью. Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решения*.

После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK*.

Как и следовало ожидать, в случае отсутствия ограничений на переменные оптимальным результатом является нулевое значение переменных и целевой функции.

Добавим первое ограничение – на количество ресурсов каждого типа, привезенных в каждый аэропорт. Разности между потребностями аэропортов и количеством привезенного ресурса, вычисляемые в ячейках D16:O16, должны быть равны нулю.

На вкладке «Данные» выбираем команду «Поиск решения», в окне «Параметры поиска решения» нажимаем на кнопку *Добавить*.

В поле «Ссылка на ячейки» указываем диапазон ячеек D16:O16, в среднем окне выбираем знак равенства, в поле «Ограничение» вводим ноль, нажимаем кнопку *OK*. В центральном поле «В соответствии с ограничениями» появляется введенное ограничение.

Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решения*. После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK*.

Теперь потребности всех аэропортов в ресурсах каждого типа удовлетворены. Значение целевой функции составляет 9923 денежных единиц. При этом ресурсы всех типов в каждый из трех аэропортов доставлены с первого склада, в результате имеющиеся там запасы насосов, фильтров и датчиков превышены на 7, 20, 26 единиц, соответственно, в то же время на втором складе остались нетронутыми все ресурсы.

Добавим второе ограничение – на запасы на складах. Разности между запасами на складах и количеством отправленного ресурса в них, вычисляемые в ячейках P15:S16, должны быть неотрицательными.

На вкладке «Данные» выбираем команду «Поиск решения», в окне «Параметры поиска решения» нажимаем на кнопку *Добавить*.

В поле «Ссылка на ячейки» указываем диапазон ячеек P15:S16, в среднем окне выбираем символы «больше равно», в поле «Ограничение» вводим ноль, нажимаем кнопку *OK*. В центральном поле «В соответствии с ограничениями» появляется второе ограничение. Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решения*. После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK* (рис. 35).

		Аэропорты									Итого							
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
		Насос k=1			Платель k=2			Фильтр k=3			Датчик k=4							
Потребности В _{jk}		V ₁₁	V ₁₂	V ₁₃	V ₂₁	V ₂₂	V ₂₃	V ₃₁	V ₃₂	V ₃₃	V ₁₄	V ₂₄	V ₃₄	Условно				
		6	4	5	5	7	9	11	15	14	16	18	20	1				
Итого		15			21			40			54			Запасы А _{jk}				
Стоимость С _{jk}		C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₁₄	C ₂₄	C ₃₄	A ₀₁	A ₀₂	A ₀₃	A ₀₄	
1	C ₁₀	23	34	121	28	39	130	32	43	140	40	48	150	8	40	20	28	
2	C ₂₀	46	58	145	50	61	151	52	66	160	55	69	161	8	40	20	27	
														16	80	40	55	
Перевезено X _{jk}		X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₁₄	X ₂₄	X ₃₄	Итого				
	X ₁₀	3	3	3	7	0	0	15	3	10	18	0	0	0	8	21	20	28
	X ₂₀	5	2	0	0	0	0	11	9	6	20	0	0	0	7	20	26	10 795
Итого		6	4	5	5	7	9	11	15	14	16	18	20	0	19	0	0	
Огранич.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	40	0	1	

Рисунок 35

Все потребности аэропортов удовлетворены. Значение целевой функции выросло и составляет 10795 денежных единиц. При этом с первого склада отправлены все имевшиеся там запасы насосов, фильтров и датчиков.

В первый аэропорт все насосы доставлены со второго склада, панели с первого склада, часть фильтров и часть датчиков доставлены с первого и второго складов.

Во второй аэропорт все ресурсы (4 насоса, 7 панелей, 15 фильтров, 18 датчиков) доставлены с первого склада.

В третий аэропорт все панели доставлены с первого склада, все фильтры и датчики – со второго склада, часть насосов с первого, часть со второго.

Таким образом, с использованием разработанной модели нами получен оптимальный план поставок ресурса четырех типов с двух складов в три аэропорта. Потребности всех аэропортов в ресурсах всех типов удовлетворены. Значение целевой функции – суммарной стоимости поставки – является минимальным.

4.4 Задача оптимальной поставки ресурсов нескольких типов в Центры технического обслуживания и ремонта

В предыдущих разделах разработана и реализована модель оптимальной поставки ресурсов нескольких типов в Центр технического обслуживания и ремонта с использованием средства «Поиск решения» табличного процессора Microsoft Excel. Рассмотрим, как данную задачу можно решить с использованием OPL.

Запустим программу, после появления окна программы, видим, что в окне *OPL Project* присутствует название нашего предыдущего проекта. Создадим новый проект. Для этого выберем пункт Меню *File*, далее пункт *New*, далее *OPL Project*. В результате появляется окно *New Project*. В поле *Project name* введем имя проекта, назовём наш проект именем *ИПП_МТО_2*.

В поле *Project Location* (размещение проекта) автоматически предлагается путь к папке. Можно выбрать свою папку, оставляем путь, предлагаемый по умолчанию.

В поле *Description* (описание) введем «Задача 2», включим все флажки создания файлов модели. В результате в окне *OPL Projects* в списке проектов появляется имя нашего проекта, в скобках его описание Задача два.

В центральном окне появляется три вкладки с именами файлов. Напомним, что в первом файле *.mod* будет описываться непосредственно математическая модель, во втором *.dat* исходные данные, *.ops* в третьем файле заданы параметры метода решения. Закроем вкладку с файлом *.ops*. В окне *OPL Project* щелкнем мышью, развернув список файлов проекта и перейдем на вкладку файла *.mod* (рис. 36).

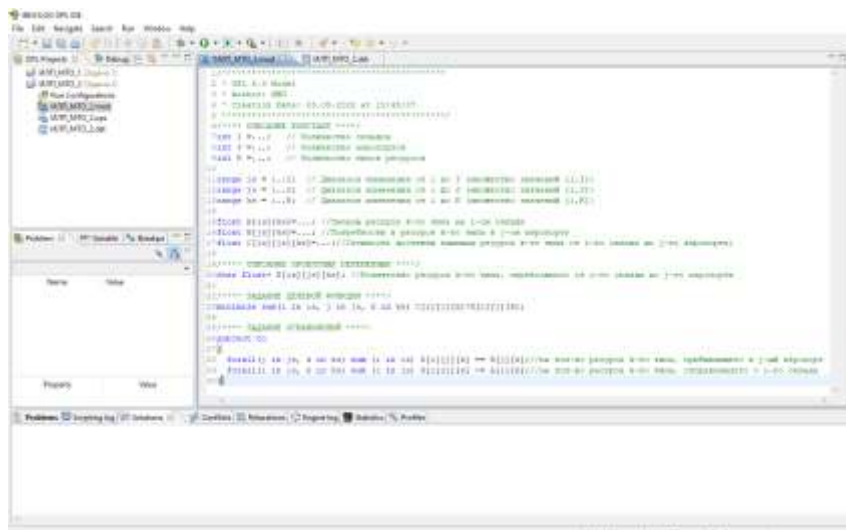


Рисунок 36

Введём новый комментарий `«/**Описание констант**/»`.

Начнем вводить код программы. Напомним, что каждая строка кода заканчивается точкой с запятой. Комментарий, который умещается на одной строке, начинается с двух слешей подряд.

Начиная с седьмой строки вводится описание переменных: I – количество складов, J – количество аэропортов, K – количество типов ресурсов.

Напомним, что ключевое слово **int** означает, что эти переменные целого типа, то есть могут принимать только целые значения.

Три точки после равенства означают, что значение переменной должно считываться из файла *.dat*, т.е. значения I , J , K считываются из этого файла (рис. 36).

Необходимо напомнить, что в OPL заглавные и строчные буквы различаются, то есть I и i – это разные переменные.

В следующих трех строках с использованием ключевого слова **Range** задаются диапазоны изменения переменных: то есть множества значений целых чисел от 1 до I , от 1 до J , от 1 до K .

В следующей строке описывается переменная A_{ik} – запас ресурса k -го типа на i -ом складе с двумя индексами, далее переменная B_{jk} – потребность в ресурсе k -го типа в j -ом аэропорту с двумя индексами.

Переменная C_{ijk} – стоимость доставки единицы ресурса k -го типа с i -го склада в j -й аэропорт имеет три индекса.

Индексы изменяются от 1 до I , от 1 до J , от 1 до K , поскольку is , js и ks – это переменные типа **Range**, то есть диапазоны, описанный выше.

Ключевое слово **float** указывает на то, что эти переменные вещественного типа.

Введём комментарий «**/****Описание проектных переменных***/**». Далее введем описание проектных переменных X_{ijk} – количество ресурса k -го типа, доставляемого от i -го склада до j -го аэропорта. В соответствии с математической постановкой задачи переменные X_{ijk} имеют индексы i , j , k . Ключевое слово **dvar** указывает на то, что это искомая переменная. Эта переменная ве-

ществленного типа, на что указывает ключевое слово **float** и не-отрицательна, на это указывает плюсики после слова **float**.

Ведём комментарий «*****Задание целевой функции*****»/. Запишем выражение для целевой функции на языке OPL. Ключевое слово **minimize** означает, что функцию надо минимизировать. Ключевое слово **sum** означает суммирование. В скобках указаны пределы суммирования по i в диапазоне is , то есть от 1 до I , суммирование по j в диапазоне js , то есть от 1 до J , суммирование по k в диапазоне ks , то есть от 1 до K .

Выражение $C_{ijk} * X_{ijk}$ – это слагаемое целевой функции.

Ведём следующее комментарий «*****Задание ограничений******/» и сами ограничения.

Ключевое слово **subject to** (при условии) и открывающая и закрывающая фигурные скобки говорят о том, что между этими скобками будут записаны выражения для ограничений.

Первое ограничение – на количество ресурса, прибывающего в каждой аэропорт. Слово **forall** (для всех) и **скобки** после него означают, что индекс j изменяется в диапазоне js , т.е. от 1 до J , индекс k изменяется в диапазоне ks , т.е. от 1 до K . Пределы суммирования находятся в диапазоне is , т.е. от 1 до I , X_{ij} должна быть равно B_{jk} . В OPL равенство обозначается двумя знаками равенства, идущими подряд.

Второе ограничение – на количество ресурса, прибывающего в каждой аэропорт. Слово **forall** (для всех) и **скобки** после него означают, что индекс i изменяется в диапазоне is , т.е. от 1 до I , индекс k изменяется в диапазоне ks , т.е. от 1 до K . Пределы суммирования находятся в диапазоне js , то есть от одного до J , сумма X_{ij} должна быть не больше A_{ik} . В OPL это обозначается символами $<$ и $=$, идущими подряд.

Таким образом, файл модели *.mod* заполнен. Далее необходимо заполнить файл *.dat* – файл с исходными данными (рис. 37).

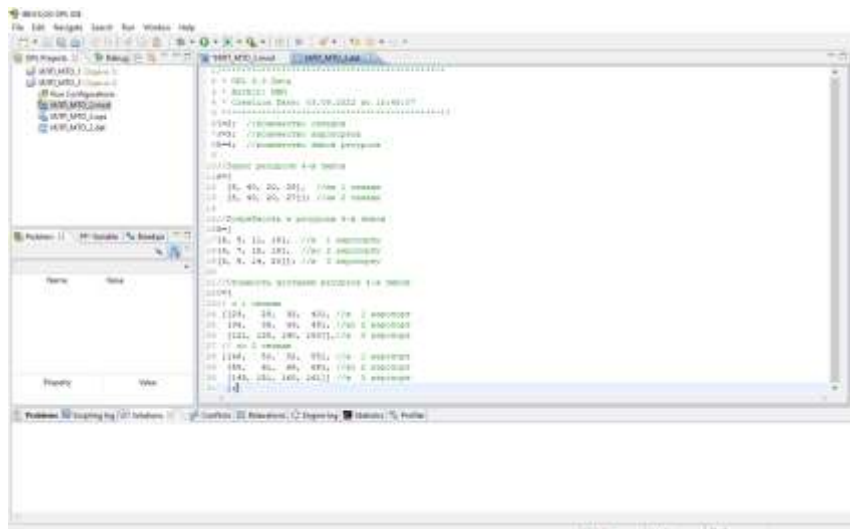


Рисунок 37

Начинаем последовательно указывать те переменные, описания которых в файле *.mod* заканчивались троеточием, т.е. $I = 2$ (количество складов), $J = 3$ (количество аэропортов), $K = 4$ (количество типов ресурсов).

Далее вводятся значения массивов A_{ik} , B_{jk} , C_{ijk} .

В OPL одномерный массив заключается в квадратные скобки, внутри которых значения элементов перечисляются через запятую. Двумерный массив представляется как несколько одномерных массивов, заключенных в квадратные скобки, и перечисляемых через запятую.

Переменная A_{ik} (значения запасов ресурсов четырех типов на двух складах) – двумерный массив, состоящий из двух строк по четыре элемента в каждой. Каждая строка, выделенная квадратными скобками, соответствует одному складу, каждый элемент в строке – одному типу ресурса. Элементы и строки разделяются запятыми.

Переменная B_{jk} (значения потребностей трех аэропортов в ресурсах четырех типов) – двумерный массив из трех строк по четыре элемента в каждой. Каждая строка, выделенная квадратными скобками, соответствует одному аэропорту, каждый элемент в строке – одному типу ресурса. Элементы и строки разделяются запятыми.

Переменная C_{ijk} (значения стоимости доставки единицы груза) – трехмерный массив.

Его можно представить как несколько двумерных массивов, заключенных в квадратные скобки и перечисляемых через запятую. В нашем случае таких двумерных массивов будет два по количеству складов (значению переменной $I = 2$). В первом из них для первого склада внутри первой пары квадратных скобок перечисляются значения стоимостей доставки ресурсов четырех типов в первый аэропорт, во второй строке (паре скобок) аналогичные значения во второй аэропорт, в третьей строке – в третий аэропорт.

Во втором массиве для второго склада внутри первой пары квадратных скобок перечисляются значения стоимостей доставки ресурсов четырех типов в первый аэропорт, во второй строке (паре скобок) аналогичные значения во второй аэропорт, в третьей строке – в третий аэропорт.

Для запуска задачи на решение щелкаем правой кнопкой мыши по имени любого файла проекта в окне *OPL Project*, выбираем пункт *Run*, далее выбираем *default Run Configurations*. Задача запускается на выполнение.

Наш пример достаточно простой, поэтому время решения составляет всего 0,16 с. После окончания решения в окне *Problem browser* появляется сообщение *Solution* (решение) со значением целевой функции, которое составляет 10795 денежных единиц (рис. 38).

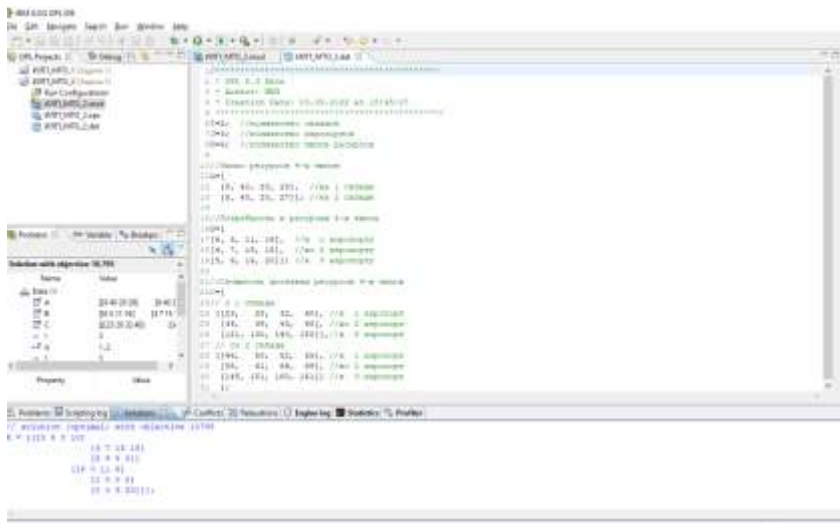


Рисунок 38

На вкладке *Solutions* также выводится значение целевой функции и трехмерный массив значений проектных переменных в том же порядке, как вводились значения стоимостей доставки единиц груза. Первым выводится двумерный массив отправок с первого склада построчно в первый аэропорт, во второй и в третий.

Аналогично выводятся результаты для отправок со второго склада. Построчно в первый аэропорт, во второй и в третий.

Итак, в этом и предыдущих разделах разработаны и реализованы две модели оптимальной поставки ресурсов нескольких типов с нескольких складов в несколько Центров технического обслуживания и ремонта или аэропортов. Для решения задачи использовались два различных программных средства: табличный процессор Microsoft Excel и оптимизационный пакет IBM ILOG OPL IDE. Результаты решения оказались идентичными, что является свидетельством достоверности разработанных моделей.

Задача к модулю 4

Имеется два склада, на которых хранятся ресурсы четырех типов с заданными объемами их запасов, приведенными в таблице 3.

Таблица 3

Ресурсы \ Склады	1	2	3	4
1	8	8	5	35
2	2	8	17	35

Имеется три аэропорта (центра технического обслуживания и ремонта), в которые необходимо доставить потребное количество ресурса каждого типа, приведенное в таблице 4.

Таблица 4

Ресурсы \ Аэропорты	1	2	3	4
1	4	5	6	21
2	3	5	7	22
3	2	5	8	25

Значения стоимости доставки единицы ресурса каждого типа с каждого склада в каждый аэропорт приведены в таблице 5.

Таблица 5

Ресурсы \ Аэропорты \ Склады	1			2			3			4		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	51	30	12	50	32	18	48	28	20	49	29	19
2	65	60	15	61	65	22	66	69	23	70	72	24

Составить такой план поставок, чтобы в каждый аэропорт потребное количество ресурса было доставлено, а стоимость поставки была минимальна, т.е. определить, какое количество ресурса каждого типа с каждого склада доставляется в каждый аэропорт.

5 ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПО ВИДАМ ТРАНСПОРТА

5.1 Постановка задачи, формирование математической модели

Рассмотрим задачу выбора вида транспортного средства при доставке нескольких типов материальных ресурсов одному потребителю (аэропорту).

Для доставки заданных объемов материальных ресурсов нескольких типов используется подвижной состав нескольких различных видов транспорта.

Для подвижного состава каждого вида заданы количество единиц, грузоподъемность единицы, стоимость выполнения рейса единицей.

Необходимо выбрать такое распределение ресурсов по видам подвижного состава, чтобы заданный объем перевозок был выполнен, а общая стоимость доставки была минимальна. т.е. необходимо определить, какое количество какого типа ресурса необходимо доставить каждым видом подвижного состава, чтобы стоимость поставки была минимальна и потребное количество ресурса каждого типа было доставлено.

Введем переменные для описания задачи:

I – количество видов подвижного состава;

J – количество типов ресурсов;

A_i – количество единиц подвижного состава i -го вида, $i = [1, I]$;

P_i – грузоподъемность единицы подвижного состава i -го вида, $i = [1, I]$;

C_i – стоимость выполнения рейса единицы подвижного состава i -го вида, ден.ед., $i = [1, I]$;

B_j – заданный объем поставки ресурса j -го типа, ед. $j = [1, J]$;

X_{ij} – количество единиц подвижного состава i -го вида, доставляющего ресурс j -го типа (целочисленная переменная), $i = [1, I]$, $j = [1, J]$.

Переменные A_i , P_i , C_i , B_j заданы; проектные переменные X_{ij} необходимо определить в ходе решения задачи Линейного Программирования.

Пусть имеются четыре вида подвижного состава и три типа материальных ресурсов. Тогда $I = 4$, $J = 3$.

Сформулируем необходимое условие, при котором данная задача будет иметь решение.

Суммарная грузоподъемность подвижного состава всех видов должна быть не меньше заданного объема доставки ресурсов всех типов. При четырех видах подвижного состава и трех типах ресурса это условие запишется в следующем виде:

$$P_1 A_1 + P_2 A_2 + P_3 A_3 + P_4 A_4 \geq B_1 + B_2 + B_3.$$

В обобщенном виде:

$$\sum_{i=1}^I P_i \cdot A_i \geq \sum_{j=1}^J B_j.$$

Целевая функция (суммарная стоимость доставки) запишется как сумма произведений стоимостей выполнения рейса единицей каждого вида подвижного состава на количество выполненных им рейсов:

$$\begin{aligned} S &= C_1 X_{11} + C_1 X_{12} + C_1 X_{13} + C_2 X_{21} + C_2 X_{22} + C_2 X_{23} = \\ &= C_3 X_{31} + C_3 X_{32} + C_3 X_{33} + C_4 X_{41} + C_4 X_{42} + C_4 X_{43} = \\ &= C_1 (X_{11} + X_{12} + X_{13}) + C_2 (X_{21} + X_{22} + X_{23}) = \\ &= C_3 (X_{31} + X_{32} + X_{33}) + C_4 (X_{41} + X_{42} + X_{43}) \rightarrow \min \end{aligned}$$

В обобщенном виде:

$$S = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_i \cdot X_{ij} \rightarrow \min.$$

Первое ограничение: суммарная грузоподъемность подвижного состава всех видов, используемых для доставки ресурса j -го типа, должна быть не меньше заданного объема перевозок ресурсов этого типа:

$$P_1 X_{11} + P_2 X_{21} + P_3 X_{31} + P_4 X_{41} \geq B_1,$$

$$P_1 X_{12} + P_2 X_{22} + P_3 X_{32} + P_4 X_{42} \geq B_2,$$

$$P_1 X_{13} + P_2 X_{23} + P_3 X_{33} + P_4 X_{43} \geq B_3.$$

В обобщенном виде:

$$\sum_{i=1}^I P_i \cdot X_{ij} \geq B_j, \quad j = [1, J].$$

Второе ограничение: суммарное количество единиц подвижного состава i -го вида, используемых для перевозки ресурсов всех типов, не должно превышать их наличия:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} \leq A_1; \quad X_{21} + X_{22} + X_{23} \leq A_2;$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} \leq A_3; \quad X_{41} + X_{42} + X_{43} \leq A_4.$$

В обобщенном виде:

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} \leq A_i, \quad i = [1, I].$$

Таким образом, нами составлена математическая модель задачи оптимальной поставки в аэропорт ресурсов нескольких типов с использованием нескольких видов транспортных средств.

5.2 Реализация модели задачи в MS Excel

В предыдущем разделе была сформулирована задача оптимального распределения по транспортным средствам материальных ресурсов нескольких типов при их доставке в Центр технического обслуживания и ремонта. Рассмотрим, как эту задачу можно решить с использованием табличного процессора Microsoft Excel. В созданном ранее файле *ИПП_МТО.xls* на листе *Задача3* (рис. 39)

заполним таблицу с исходными данными (выделены заливкой голубого цвета).

Задача 3. Распределение ресурсов по видам подвижного состава						
Виды ТС	P _i	A _i	C _i	Ресурсы B _j		
				1	2	3
Газель	1,5	7	3	17	19	29
ЗИЛ-5301 Бычок	3	4	5	Итого: 65		
ГАЗ-3307	4,5	4	7	Условие		
КамАЗ-5308	8,2	4	12	8,3		
Итого: 73,3				Рейсы A _j		
				A _j	C _j	Всего
				1	2	3
				4	3	3
				6	-2	6
				3	1	3
				6	-2	6
				Грузоподъемность P _i * X _{ij}		
				1	1,5	1,5
				2	3	6
				3	4,5	4,5
				4	16,4	16,4
				Итого	25,4	28,4
				Огранич	8,4	9,4
						12,9
						ИРФ
						135

Рисунок 39

Предполагается, что имеется четыре вида транспортных средств: грузовые автомобили Газель, ЗИЛ-5301 Бычок, ГАЗ-3307, КамАЗ-5308 и три партии материальных ресурсов различных типов, которые надо доставить: шины, тормозные диски, машинное масло.

Значения грузоподъемности P_i транспортных средств задаются в ячейках C5:C8 (1,5 т для Газели, 3 т для ЗИЛа, 4,5 т для ГАЗа и 8,2 т для КамАЗа), значения A_i количества единиц транспортных средств в ячейках D5:D8 (7 для Газели и по 4 для остальных автомобилей), значения C_i стоимости выполнения рейса каждым транспортным средством в ячейках E5:E8 (3 денежных единицы для Газели, 5 для ЗИЛа, 7 для ГАЗа и 12 для КамАЗа). Масса пар-

тии материальных ресурсов каждого типа, которые надо доставить в Центр технического обслуживания и ремонта, задаются в ячейках F4:H4 (17, 19, 29 тонн). Для наглядности все исходные данные, кроме заливки голубым цветом, еще выделены жирным шрифтом.

Для проверки выполнения необходимого условия решения задачи в ячейку D9 введем формулу суммарной грузоподъемности всех транспортных средств как сумму произведений ячеек C5:C8 и D5:D8, т.е. сумму произведений грузоподъемности каждого транспортного средства на количество единиц этого транспортных средств. Она равна 73.3 тонны. В ячейку H5 введем формулу суммирования всех типов ресурсов – сумму ячеек F4:H4, которая равна 65 тоннам.

В ячейке H8 запишем формулу разности между суммарной грузоподъемностью всех транспортных средств (ячейка D9) и суммой всех типов ресурсов (ячейка H5), в рассматриваемой ситуации суммарная грузоподъемность превышает сумму всех ресурсов на 8.3 тонны.

В ячейки F10:H13 занесем количество рейсов, выполняемых транспортным средством i -го вида по доставке ресурса j -го типа, и выделим заливкой желтого цвета. Эти значения необходимо определить в результате решения задачи. В настоящий момент они неизвестны, и сюда предварительно заносятся приведенные на рисунке значения. Например, на транспортном средстве второго вида для доставки ресурса второго типа предполагается выполнить два рейса, а для доставки ресурса третьего типа – три.

В ячейках F15:H18 рассчитаем суммарную грузоподъемность рейсов, выполняемых транспортным средством i -го вида по доставке ресурса j -го вида, как произведение грузоподъемности транспортного средства и количества выполненных рейсов. Для ячейки F15 это произведение ячеек F10 и C5, равное полутора. В остальных ячейках формулы аналогичны.

В ячейках F19:H19 определим суммарную грузоподъемность рейсов, выполняемых транспортными средствами всех видов по доставке ресурса каждого типа: в ячейке F19 суммарная грузоподъемность транспортных средств всех видов по доставке ресурса первого типа – сумма ячеек F15:F18, равная 25,4 т, в ячейках G19 и H19 аналогичные формулы для ресурсов второго и третьего типов.

В ячейке I10 подсчитывается общее количество рейсов, выполняемых транспортным средством первого вида по доставке ресурсов всех типов – сумма ячеек F10:H10, равная четырем. В ячейках I11, I12, I13 – аналогичные формулы для транспортных средств второго, третьего и четвертого видов.

В ячейку J10 введем формулу вычисления остатка наличия транспортных средств первого вида – разность между имеющимся количеством транспортных средств этого вида (ячейка D5) и количеством выделенных для доставки ресурсов всех типов (ячейка I10). В начальный момент эта разность равна трем, значит три транспортных средства первого вида не используются (рис. 39). После решения задачи в этой ячейке остаток должен стать неотрицательным. Аналогичные формулы для транспортных средств второго, третьего и четвертого видов записаны в ячейку J11, J12, J13.

Значение целевой функции (суммарной стоимости поставки) определим в ячейке J18 как сумму произведений количества рейсов транспортных средств каждого вида (ячейки I10:I13) и стоимости выполнения одного рейса транспортного средства каждого вида (ячейки E5:E8), в настоящий момент равной 135 денежных единиц.

Таким образом, создана модель поставки ресурсов трех типов с использованием транспортных средств четырех видов.

5.3 Решение задачи в MS Excel

В предыдущем разделе построена модель распределения ресурсов трех типов по четырем видам транспортных средств при их доставке в Центр технического обслуживания и ремонта или аэропорт. Данная модель разработана на листе *Задача3* файла *ИПП_МПО.xls*.

Рассмотрим, как с использованием этой модели получить оптимальный план распределения ресурсов по видам транспортных средств. Воспользуемся средством «Поиск Решения» табличного процессора Microsoft Excel.

Для этого откроем вкладку «Данные», выберем команду «Поиск Решения». В открывшемся окне «Параметры поиска решения» укажем следующее. В поле «Оптимизировать целевую функцию» введем адрес ячейки J18 (можно щелкнуть мышью по ячейке). Выберем кнопку *Минимум*.

Убедимся, что флажок «Сделать переменные без ограничений неотрицательными» включен, в качестве метода решения выберем «Поиск решения лин.задач симплекс-методом».

В поле «Изменяя ячейки переменных» укажем адрес диапазона ячеек F10:H13. Для этого можно обвести их мышью. В поле «изменяя ячейки переменных» появился адрес диапазона.

Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решение*. После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK*.

Как и следовало ожидать, в случае отсутствия ограничений на переменные оптимальным результатом является нулевое значение переменных и целевой функции.

Добавим первое ограничение – на количество ресурсов каждого типа, привезенных в аэропорт. Разности между суммарной грузоподъемностью транспортных средств всех видов, направляе-

мых на перевозку ресурса каждого типа, и требуемым количеством привезенного ресурса каждого типа, вычисляемые в ячейках F20:H20, должны быть неотрицательны.

На вкладке «Данные» выбираем команду «Поиск решения», в окне «Параметры поиска решения» нажимаем на кнопку *Добавить*.

В поле «Ссылка на ячейки» указываем диапазон ячеек F20:H20, в среднем окне выбираем «Больше равно», в поле «Ограничение» вводим ноль, нажимаем кнопку *OK*. В центральном поле «В соответствии с ограничениями» появляется введенное ограничение. Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решения*.

После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK*.

Рассмотрим полученные результаты. В связи с тем, что целочисленность переменных не задана, количество рейсов получается дробным. Значение целевой функции составляет примерно 95.1 денежных единиц. Для доставки ресурса каждого типа грузоподъемности транспортных средств всех видов достаточно. При этом используются транспортные средства только четвертого вида, транспортные средства остальных видов не используются. Требуется выполнить более семи рейсов, хотя транспортных средств данного вида имеется всего четыре.

В качестве второго ограничения зададим ограничение на количество имеющихся транспортных средств каждого вида, предполагая, что количество транспортных средств может не быть целым. Разности между количеством имеющихся транспортных средств и количеством транспортных средств, выделенных для перевозки ресурсов, вычисляемые в ячейках J10:J13, должны быть неотрицательными.

На вкладке «Данные» выбираем команду «Поиск решения», в окне «Параметры поиска решения» нажимаем на кнопку *Добавить*.

В поле «Ссылка на ячейки» указываем диапазон ячеек J10:J13, в среднем окне выбираем символы «Больше равно», в поле «Ограничение» вводим ноль, нажимаем кнопку *OK*. В центральном поле «В соответствии с ограничениями» появляется второе ограничение. Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решение*. После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK*.

В связи с тем, что целочисленность переменных не задана, количество транспортных средств дробное. Значение целевой функции выросло и составляет более 100 денежных единиц. Для доставки ресурса каждого типа грузоподъемности транспортных средств всех видов выделяется достаточно – ровно столько, сколько требуется доставить ресурса. При этом транспортные средства второго, третьего и четвертого видов использованы полностью, первый вид транспортных средств используется частично.

Добавим третье ограничение: на целочисленность переменных для того, чтобы исключить дробные значения рейсов.

На вкладке «Данные» выбираем команду «Поиск решения», в окне «Параметры поиска решения» нажимаем на кнопку *Добавить*.

В поле «Ссылка на ячейки» указываем диапазон ячеек F10:H13, в среднем окне выбираем символы «Цел», в поле «Ограничение» оставляем «Целое», нажимаем кнопку *OK*. В центральном поле «В соответствии с ограничениями» появляется новое ограничение. Выполним поиск решения нажатием на кнопку *Найти решение*.

После получения результата поиска решения сохраним его, нажав кнопку *OK* (рис. 40). Целевая функция составила 102 ден.ед.

Для доставки ресурса первого типа в количестве 17 т используется два транспортных средства третьего вида и одно транс-

портное средства четвертого вида. Их суммарная грузоподъемность составляет 17,2 т, что на 0,2 т больше, т.е. грузоподъемность использована не полностью.

Ресурсы Vj			
	1	2	3
1 Газель	17	19	29
2 ЗИЛ-5301 Бычок			
3 ГАЗ-3307			
4 КамАЗ-5308			
Итого	65		

Ресурсы Xij				Всего	Остаток 2
1	2	3			
1	0	2	0	2	5
2	0	4	0	4	0
3	2	1	1	4	0
4	1	0	3	4	0

Грузоподъемность Pj · Xij				Всего	ИФ
1	2	3			
1	0	3	0		
2	0	12	0		
3	9	4,5	4,5		
4	8,2	0	24,6		
Всего	17,2	19,5	29,1		
Остаток 1	0,2	0,5	0,1		102

Рисунок 40

Для доставки ресурса второго типа в количестве 19 т используются два транспортных средства первого вида, четыре транспортных средства второго вида и одно третьего вида суммарной грузоподъемностью 19,5 т, т.е. не используется 0,5 т грузоподъемности.

Для доставки ресурса третьего типа в количестве 29 т используются одно транспортное средство третьего вида и три транспортных средства четвертого суммарной грузоподъемностью 29,1 т, т.е. не используется 0,1 тонны грузоподъемности.

Транспортные средства второго вида, также как третьего и четвертого видов используются полностью, транспортные средства первого вида используются частично.

Таким образом, с использованием разработанной модели получен оптимальный план распределения ресурсов по видам подвижного состава. Значение целевой функция – суммарная стоимость поставки – является минимальным.

Может получиться так, что в результате поиска решения будет найден несколько иной план распределения, но целевая функция при этом должна иметь такое же значение, как в данном примере. Это говорит о том, что данная задача имеет несколько оптимальных решений.

Задача к модулю 5

Для доставки ресурсов пяти типов массой 11, 17, 19, 23 и 33 т каждый используются 15 единиц подвижного состава первого вида грузоподъемностью 2.5 т с себестоимостью рейса 5 ден.ед. и 5 единиц подвижного состава второго вида грузоподъемностью 15 т с себестоимостью рейса 24 ден.ед.

Выбрать такое распределение ресурсов по видам подвижного состава, чтобы все ресурсы были доставлены, а общая **стоимость доставки была минимальна**, т.е. определить, какое количество ресурса каждого типа необходимо доставить каждым видом подвижного состава, чтобы стоимость поставки была минимальна.

6 СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРОЕКТА В СРЕДЕ PROJECTLIBRE

6.1 Процедуры заказа авиационных компонентов (покупка, аренда, лизинг, обмен)

К системе снабжения предъявляется ряд требований. Доставка требуемых компонентов должна выполняться в минимальные сроки. На складах необходимо поддерживать заданный уровень складских запасов, при заказе следует учитывать срочность их исполнения, процесс обеспечения ресурсами должен быть экономичным и эффективным.

С целью достижения экономичности и эффективности процедур заказа авиационных запасных частей применяют методы управления проектами. В этом разделе рассмотрим формализацию процесса доставки ресурсов.

Ключевым понятием в теории планирования является проект – комплексное, не повторяющееся одномоментное мероприятие, ограниченное по времени, бюджету, ресурсам, с четкими указаниями по выполнению, разработанными под потребности заказчика. Можно сказать, что формализация процесса доставки – это некая проблема, которую необходимо решить. Данное решение связано с привлечением целого комплекса знаний, инструментов и методов, которые позволят структурировать процесс и управлять им в ходе исполнения. Успех реализации проекта зависит от соблюдения запланированных сроков завершения совокупности работ проекта. Очень важно рационально распределить материальные и трудовые ресурсы между работами и вовремя корректировать исходный план по реализации проекта на основе данных мониторинга.

На примере доставки заказа авиационных запчастей рассмотрим сетевой метод управления проектом. Сетевое планирование и управление – это комплекс графических и расчетных методов и организационных мероприятий. С их помощью моделируют сложный проект, выполняют анализ и при необходимости перестраивают план его выполнения. Сетевой график состоит из ряда элементарных работ, связанных между собой.

Вначале определяется структура проекта, выясняется, как работы проекта между собой связаны. Связь может быть окончание-начало, т.е. окончание одной работы означает начало следующей. Связь начало-начало – это когда две работы начинаются одновременно. Связь окончание-окончание означает, что две работы должны завершиться в одно и то же время. При этом некоторые работы выполняются в строгой последовательности, а некоторые могут выполняться параллельно.

Следующий этап составления плана проекта – определение длительности выполнения работ и «привязка» к ресурсам. В проекте используют трудовые ресурсы (специалисты и рабочие) и материальные ресурсы (машины, оборудование и материалы), а также финансовые затраты на связанные с получением необходимых для осуществления проекта услуг.

На третьем этапе планирования составляют график проекта. Из расписания выполнения работ становится понятно, в какой момент времени начинается выполнение запланированной работы, мониторинг и контроль проекта выявляет процент выполнения работ по проекту в любой момент времени. Наиболее удобный способ представления сетевого графика – это диаграмма Ганта. На временной шкале работы проекта представлены в виде линий, отмечено начало, окончание работ и степень их завершенности на текущий момент (рис. 41).

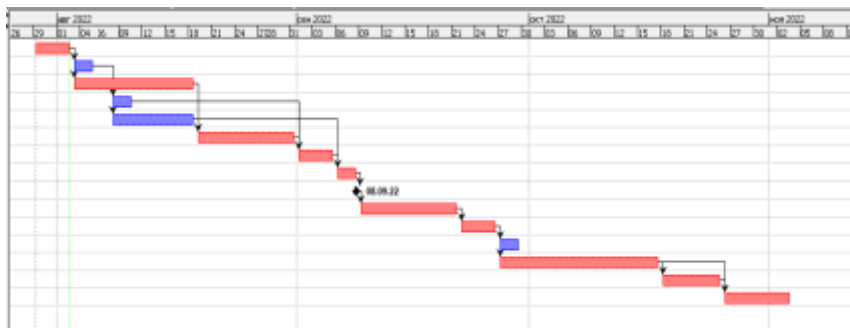


Рисунок 41

Представим в виде совокупности работ иерархическую структуру проекта процесса доставки ресурсов. Напомним, что в материально-техническом обеспечении применяются 3 стратегии пополнения запасов. Первая стратегия – создание своего собственного фонда с минимальным складским запасом изделий. По мере эксплуатации самолета формируется фонд ремонтпригодных и восстанавливаемых изделий, которые «оборачиваются» через ремонт. Вторая стратегия – получение необходимых изделий с помощью обменного фонда сторонних предприятий. По мере необходимости авиапредприятие обращается в обменный фонд за нужными изделиями. Третья стратегия совмещает оба подхода, часть изделий из собственного фонда авиапредприятия, их по мере необходимости ремонтируют и снова используют. Некоторые изделия берут в лизинг или аренду, а также получают благодаря обращению в обменные фонды. Таким образом, в рамках договора о материально-техническом обеспечении авиапредприятие может получить запасные части и комплектующие на условиях купли-продажи, путем обменных операций, а также в аренду или лизинг.

Создадим структуру процесса доставки изделий, получаемых по договору купли-продажи. В случае аренды или лизинга в структуру проекта добавятся работы, связанные с возвратом изделия его

владельцу, а в обменной операции проект будет содержать два материальных потока, отправка и оплата которых согласовывается между его участниками.

Итак, вначале формируется заявка на закупку и начинается поиск требуемого изделия. После этого заключается договор, и в соответствии с достигнутыми договоренностями стороны реализуют свои обязательства.

По договору купли-продажи авиапредприятие – это покупатель, или потребитель ресурса. Организация, которая продает ресурс – это продавец, или поставщик. В договоре участвуют также посредники, страховая компания, компания-перевозчик, банк. Договор с перевозчиком может заключать и поставщик, и покупатель – это зависит от того, как будут определены транспортные условия поставки по договору купли-продажи.

Поставщик готовит заказанные ресурсы к отправке в соответствии с номенклатурой, которая является приложением к договору.

Покупатель разрабатывает маршрут перевозки и находит компанию-перевозчика.

Ответственный за перевозку оформляет договор на перевозку груза с перевозчиком.

Покупатель заключает договор на страхование груза при перевозке; при этом указывается срок начала действия договора страхования.

Поставщик готовит сопроводительные документы на заказанные изделия.

Поставщик извещает авиапредприятие о готовности к перевозке груза.

Покупатель перечисляет авансовый платеж поставщику, документ, подтверждающий факт перечисления денежных средств отправляется согласованным способом.

Перевозчик начинает движение по установленному маршруту, поставщик информирует авиапредприятие об отправке груза.

Перевозчик доставляет заказ в согласованный пункт поставки, это может быть склад авиапредприятия или Центр технического обслуживания и ремонта.

Покупатель принимает груз и размещает на склад.

Покупатель проверяет поступившие изделия, документацию на них, качество поступивших изделий.

Покупатель извещает поставщика о получении груза.

Ответственный за перевозку оплачивает счет, выставленный перевозчиком.

Покупатель перечисляет оставшуюся стоимость груза поставщику.

Таким образом, получена структура проекта, описывающего процесс доставки заказанных изделий (рис. 42), в предположении, что авиапредприятие приобретает необходимые ресурсы у поставщика в рамках договора купли-продажи.

Шифр работы	Работа
A	Заключение договора между поставщиком и покупателем ресурсов
B	Подготовка ресурсов к отправке
C	Разработка маршрута перевозки
D	Заключение договора перевозки
E	Страхование ресурсов
F	Подготовка документов на ресурсы
G	Извещение о готовности к перевозке
H	Перечисление авансового платежа поставщику
I	Отправка ресурсов по маршруту перевозки
J	Перевозка ресурсов по установленному маршруту в пункт назначения
K	Поступление ресурсов на склад
L	Извещение о поступлении ресурсов
M	Принемка ресурсов
N	Оплата услуг перевозчика
O	Перечисление оставшейся суммы сделки

Рисунок 42

После формирования структуры проекта определяются продолжительности выполнения работ и выполняется «привязка» к ресурсам. В следующем разделе определим продолжительность выполнения работ.

6.2 Описание структуры проекта заказа и доставки

После подготовки структуры проекта необходимо установить связи между работами и создать сетевой график.

Сетевой график проекта представляет собой связанный взвешенный граф, вершины которого называются событиями, а ребра – работами. В предыдущем разделе определен перечень работ проекта, т.е. ребра графа. Теперь зададим последовательность выполнения работ по доставке заказанных запчастей авиапредприятию. Работы могут выполняться последовательно, параллельно, начинаться в определенный момент времени или завершаться к определенной дате.

Связи между работами могут быть технологическими, такая связь определяет последовательность выполнения проекта, и организационными, в соответствии с которыми принимаются решения.

Рассмотрим структуру проекта. Работы по заключению договора купли-продажи, подготовке ресурсов к отправке могут выполняться последовательно. Достаточно большое количество работ выполняется одна за другой (рис. 43). После того как заказ будет подготовлен к отправке, оформлены необходимые транспортные и коммерческие документы, поставщик извещает покупателя о готовности заказа к отправке. Это сигнал для перечисления авансового платежа, после его выполнения партию ресурсов отправляют покупателю, транспортное средство будет следовать по согласованному маршруту, а затем ресурсы поступают на склад покупателя.

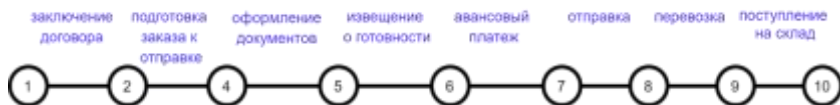


Рисунок 43

Работы по разработке маршрута перевозки и заключению договора перевозки можно выполнять параллельно подготовке ресурсов к отправке и подготовке документов на эту отправку. Подготовка заказа и разработка маршрута выполняются после заключения договора купли-продажи (рис. 44).



Рисунок 44

Параллельно приемке ресурсов по количеству и по качеству покупатель извещает поставщика о прибытии заказа, и выполняются взаиморасчеты перевозчиком (рис. 45).

Учитывая последовательность работ по доставке груза, запишем номера событий, с которых начинаются и завершаются работы проекта в таблицу, и после этого построим сетевой граф проекта. Получилось 13 вершин и 15 ребер, такая структура проекта облегчает контроль за выполнением работ и управление проектом. Граф проекта по доставке запчастей приведен на рис. 46.



Рисунок 45

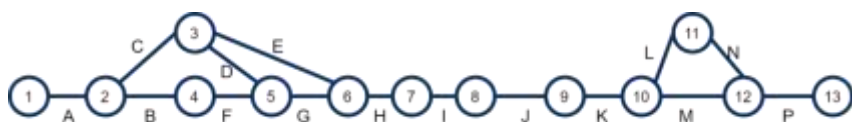


Рисунок 46

Теперь сформируем проект в специализированном программном обеспечении – в программе ProjectLibre. Системы управления проектами образуют отдельный сектор программного обеспечения, он достаточно широко представлен на рынке. Есть специальные стандарты, методы и технологии управления проектами.

Чтобы установить программу на свой компьютер, необходимо открыть ссылку источника [6], скачать загрузочный файл и установить программу на компьютер.

После установки программы откройте ее и создайте проект.

Нажмите на кнопку *Новый*, в открывшемся окне введите следующее.

Поле «Название проекта»: *Доставка изделий, получаемых по договору купли-продажи.*

Поле «Менеджер проекта»: *Фамилия И. О.*

Поле «Дата начала»: *текущая дата.*

Поставить галочку «Планирование вперед» (планировать проект также можно назад, задав дату окончания проекта).

В разделе «Замечания» оставим заметку к проекту: *доставка заказа от одного поставщика для одного авиаперевозчика*.

Итак, новый проект создан, назовем его *МТО_доставка* и сохраним на диске.

На панели инструментов имеется 4 вкладки «Файлы», «Задачи», «Ресурсы», «Просмотр», панель инструментов в каждой вкладке разная.

Создадим календарь проекта. На вкладке «Файл» на панели инструментов в разделе «Проект» нажмем на иконку «Календарь». В открывшемся меню внизу нажимаем на кнопку *Новый*, в поле «Название» запишем «МТО_доставка», отмечаем «Создать или скопировать календарь», выбираем 24 часа и нажимаем на кнопку *ОК*. Обратите внимание, что здесь можно задать ограничения на рабочее время, выбрать периоды рабочего и нерабочего времени.

Создание структуры проекта осуществляется на вкладке «Задачи». Рабочее поле поделено на две логические взаимосвязанные части: слева – структура проекта, справа – ее отображение в виде графика Ганта. Каждой строке соответствует одна работа.

Начинаем заполнять структуру проекта. Для этого в каждой строке запишем названия работ проекта, всего их у нас 15. Одновременно с этим зададим длительность выполнения работ, для этого во втором столбце запишем количество дней выполнения каждой работы проекта. Длительность можно задавать в днях, часах, минутах, неделях, месяцах. Если не указать единицы измерения, то длительность автоматически задается в днях.

1. *Заключение договора между поставщиком и покупателем ресурсов* – работа выполняется в течение 2 дней.

2. *Подготовка ресурсов к отправке* – выполняется в течение 6 дней.

3. *Разработка маршрута перевозки* – выполняется в течение 4 дней.

4. *Работа по заключению договора перевозки* – выполняется в течение 1 дня.

5. *Страхование ресурсов* – выполняется в течение 3 дней.

6. *Подготовка документов на груз* – выполняется в течение 3 дней.

7. *Извещение о готовности к перевозке* – выполняется в течение 1 дня.

8. *Перечисление авансового платежа поставщику* – выполняется в течение 1 дня.

9. *Отправка груза по маршруту перевозки* – время выполнения работы 0, это веха проекта. Всего есть три типа задач: сводные задачи, подзадачи и вехи. Сводная задача состоит из нескольких подзадач, веха не имеет длительности, но важна с точки зрения логики проекта.

10. *Перевозка заказа по установленному маршруту в согласованное место* – выполняется в течение 3 дней.

11. *Поступление ресурсов на склад* – выполняется в течение 1 дня.

12. *Извещение о поступлении ресурсов* – выполняется в течение 1 дня.

13. *Приемка ресурсов* – выполняется в течение 5 дней.

14. *Оплата услуг перевозчика* – выполняется в течение 2 дней.

15. *Перечисление оставшейся суммы сделки* – выполняется в течение 7 дней.

Структура проекта создана, теперь зададим связи между задачами. В правой части рабочего листа на диаграмме Ганта щелкнем по соответствующему прямоугольнику, и проведем мышью до работы, с которой выбранная работа имеет связь. Чтобы не ошибиться, смотрим на сетевой граф, который получен в предыдущей разделе. Зададим связь между первой и второй работами. Первая работа связана с третьей. После второй работы выполняется шестая

работа; после шестой – седьмая; после третьей – четвертая, затем пятая работа.

Добавим связи: между четвертой и шестой работами; между пятой и седьмой работами; между восьмой и девятой работами; между девятой и десятой; между десятой и одиннадцатой работами. После одиннадцатой работы выполняются двенадцатая и тринадцатая работы; после двенадцатой идет четырнадцатая. Четырнадцатая и пятнадцатая связаны. После тринадцатой идет пятнадцатая.

Посмотреть связи между задачами можно в окне «Информация», щелкните левой кнопкой мыши дважды по работе «Подготовка документов на груз», откроется окно «Информация», оно имеет несколько вкладок, на вкладке «Предшествующие» видны все работы, которые должны быть завершены до начала этой работы, а также тип связи с каждой из них. На вкладке «Последующие» перечислены все работы, которые связаны с данной работой и выполняются после ее окончания, а также тип связи между этими работами. После того как связи между работами будут заданы, посмотрим структуру проекта.

Для этого нажимаем на панели инструментов на кнопку *Сеть*, откроется сетевой график, который немного отличается от представления «событие-работа». Здесь сетевой граф представлен в виде «работа-работа». Сетевой граф можно отдалить и приблизить, нажимая соответствующие кнопки на панели инструментов. Обратите внимание, что у графа все работы должны быть связаны между собой, есть работа, с которой проект начинается, и работа, после выполнения которой проект завершается. В следующем разделе рассмотрим типы работ и ограничения на их выполнение, а также назначим ресурсы.

6.3 Назначение ресурсов на проект заказа и доставки

В предыдущем разделе создана структура проекта, заданы длительность и последовательность выполнения работ. Определим теперь тип работ проекта. Работа по-прежнему проводится на вкладке «Задачи». Тип работы задается в окне «Информация», вкладка «Дополнительно». Различают три типа задач:

«Фиксированная длительность» – назначается для работ, где применяется много ресурсов. Можно менять количество исполнителей или назначать больше материальных ресурсов, длительность останется прежней, также как и в случае изменения нормо-часов, необходимых для выполнения работ этого типа.

«Фиксированные единицы» – назначается для работ, где назначены одинаковые трудовые ресурсы. При изменении длительности работы или трудозатрат, количество единиц ресурсов не меняется.

«Фиксированная работа» – назначается для работ, где назначены одинаковые трудовые ресурсы. Трудозатраты остаются постоянными, если меняется длительность выполнения работы или ее объем.

Назначим типы задач для работ нашего проекта (рис. 47).

Тип «Фиксированная длительность» определим для работ:

Заключение договора с заводом изготовителем на поставку,

Заключение договора перевозки,

Страхование груза,

Извещение о готовности к перевозке,

Перечисление авансового платежа поставщику,

Извещение о поступлении груза,

Оплата услуг перевозчика,

Перечисление оставшейся суммы сделки.

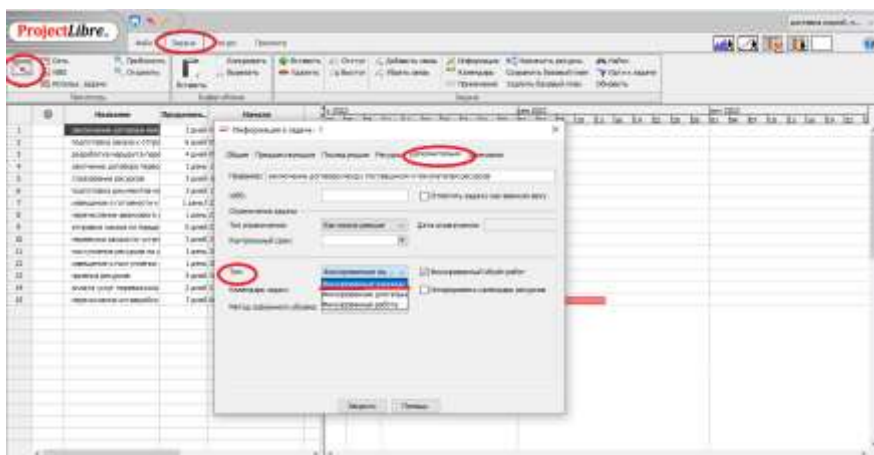


Рисунок 47

Тип «Фиксированные единицы» назначается для работ: *Отправка груза по маршруту перевозки* и *Перевозка груза по установленному маршруту в назначенное место*. Тип задачи «Фиксированная работа» для работ *Подготовка груза к отправке*, *Разработка маршрута перевозки*, *Подготовка документов на груз*, *Поступление груза на склад*, *Приемка груза*.

К каждой задаче прикрепим календарь, который был создан в самом начале работы с *МТО_доставка*. Для этого откроем окно «Информация», вкладка «Дополнительно» и выберем календарь задач *МТО_доставка*.

На выполняемые работы можно установить ограничения. Например, иногда необходимо, чтобы работа была начата или закончена к определенной дате. Ограничения влияют на длительность проекта. В окне «Информация», вкладка «Дополнительно» поле «Тип» могут быть выбраны следующие типы ограничений:

«Как можно позже». Если задана дата окончания проекта, то этот тип задается по умолчанию. При этом работа размещается в расписании как можно позднее с учетом других параметров плана.

Никаких дополнительных ограничений на работу не распространяется.

«Как можно раньше». Если проект планируется от какой-либо даты, то этот тип задан по умолчанию. Это ограничение означает, что работа размещается в расписании как можно раньше с учетом других параметров плана.

«Окончание не ранее». Таким образом будет задана наиболее ранняя дата, когда возможно завершить работу. Задача не может быть помещена в расписании так, чтобы заканчиваться ранее обозначенной даты.

«Окончание не позднее». Задается наиболее поздняя дата, когда работа должна быть завершена. При этом работа может быть завершена как в этот день, так и раньше него.

«Фиксированное начало» означает точную дату начала выполнения работы. При этом ни связи между работами, ни возможные резервы времени никак не повлияют на время начала ее выполнения.

«Фиксированное окончание». Ограничение определяет точную дату окончания выполнения работы. Расписание проекта будет сформировано таким образом, что работа с подобным ограничением будет завершена в указанный срок.

«Начало не ранее». Это более мягкое ограничение, оно означает, что в расписании проекта работа с таким ограничением должна быть начата на указанную дату либо позднее;

«Начало не позднее», это ограничение говорит о том, что работа должна быть начата в указанную дату или ранее.

Для работы-вехи «Отправка груза по маршруту перевозки» зададим тип ограничения «Начать не позже» и укажем дату, например, 1 сентября (рис. 48).

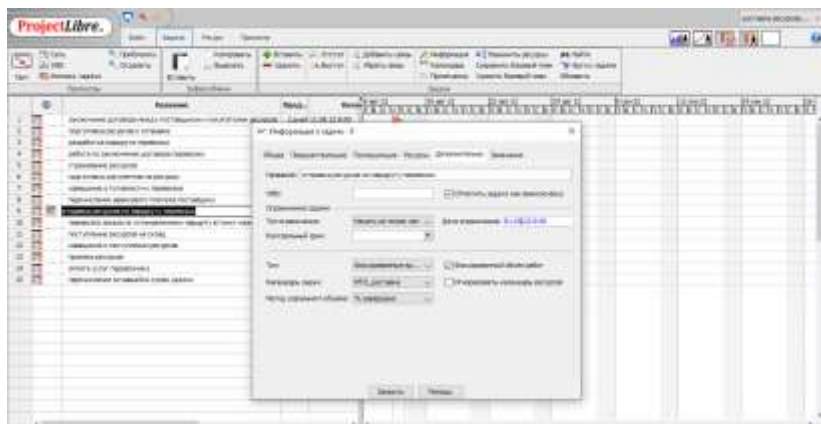


Рисунок 48

Далее выполняется так называемое «ресурсное» планирование, которое может быть выполнено следующим образом. Вначале составим перечень привлекаемых для выполнения проекта ресурсов. Затем определим календарь использования и способ их нормирования, а потом распределим их между работами проекта.

Описание ресурсов выполняется на вкладке «Ресурсы». На панели инструментов имеется пиктограмма «Использование ресурсов». Различают трудовые и материальные ресурсы. К трудовым ресурсам относят персонал, машины и оборудование. Материальные ресурсы – это материалы и единовременные затраты, необходимые для выполнения работ проекта.

Важнейшей характеристикой ресурсов является их стоимость и доступность. Стоимость ресурса переносится на стоимость выполнения работы, а доступность повлияет на график и объемы выполнения работы. В конечном итоге доступность ресурса влияет на сроки окончания проекта, а также его окончательную стоимость.

В таблицу нужно записать все используемые в проекте ресурсы (трудовые и материальные) и описать каждый ресурс, применяемый в данном проекте (Приложение А).

Щелкаем левой кнопкой мыши и попадаем в сводную таблицу. Впишем все ресурсы (трудовые и материальные), применяемые в осуществлении проекта.

Ресурс «Представитель авиапредприятия», укажем тут же его тип – работа. В этой программе и трудовые, и материальные ресурсы описываются как «работа», а денежные затраты описываются «материал».

Далее опишем каждый ресурс, применяемый в проекте. Дважды щелкнув по ячейке с названием ресурса, опишем его в выпадающей таблице в соответствии с описанием, которое дано в таблице А.1 Приложения А. Во вкладке «Общее» отметим *Основной календарь* использования этого ресурса. Во вкладке «Стоимость» укажем часовую тарифную ставку на ресурс, когда начислять стоимость ресурса: на начало; конец; пропорционально.

После описания применяемых ресурсов, назначим их на работы проекта.

На панели инструментов выбираем вкладку «Задачи», переходим туда, выбираем представление «Гант». Далее выбираем первую работу. На панели инструментов в разделе справа щелкаем мышью по пиктограмме «Назначить ресурсы». Из предложенного перечня ресурсов выбираем те, что определены в качестве исходных данных в таблице А.2 и задаем уровень использования. Если задать 50%, то работник будет работать половину рабочего времени. 100% означает полную занятость на данной работе. Если к выполнению работы привлекаются два работника, то указывается 200%.

Назначим ресурсу «Грузчики» 300% использования, а ресурсам «Страховщик страховой компании» и «Сотрудник банка» по 50%. Далее нажимаем на кнопку с зеленой галочкой, теперь осталось нажать на кнопку *Назначить*.

В следующем разделе проанализируем полученный проект и посмотрим, как с его помощью можно управлять процессом доставки.

6.4 Нормирование и определение стоимости проекта

В предыдущих разделах мы создали проект, сформулировали перечень его работ и определили последовательность осуществления доставки запчастей от одного поставщика для одного покупателя. Для работы по отправке заказа покупателю указали ограничение «Не позднее определенной даты». Составили перечень ресурсов, которые потребуются, чтобы доставка состоялась. Далее мы нормировали ресурсы, и для каждой работы назначили свой перечень ресурсов. Сформированная структура проекта способствует более качественному анализу плана и занятости ресурсов.

Теперь посмотрим на работы, которые составляют критический путь проекта. На графике Ганта часть прямоугольников окрашена красным, а часть – синим цветом. Задачи критического пути – это цепочка работ красного цвета, от их своевременного выполнения зависит срок окончания проекта (рис. 49).

Нажмем правой кнопкой мыши на поле с графиком Ганта и в выпавшем списке выберем «Стиль отрезков» – уберём точку с позиции «Некритичные задачи» (самая первая строка). Исчезнут прямоугольники, обозначающие длительность выполнения работ критического пути.

Снова щелкнем правой кнопкой мыши и выберем «Стиль отрезков» – «Общий временной резерв» (последняя строка). На графике отображаются прямоугольники, заштрихованные синим. Они обозначают наличие резервов времени на выполнение некритичных задач. Именно этими резервами можно управлять, добиваясь снижения стоимости затрат на выполнение проекта.

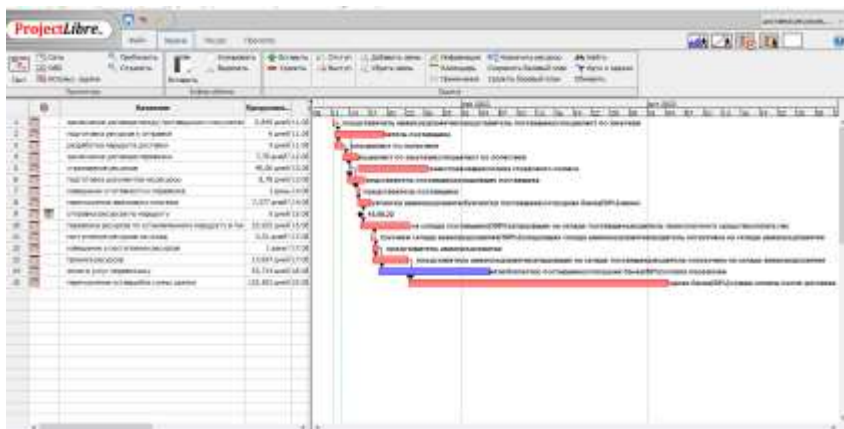


Рисунок 49

Щелкнем правой кнопкой мыши и уберём из списка некритичные задачи, на графике отображаются работы критического пути. Синей штриховой линией обозначена длительность работ суммарно с резервами времени некритических работ.

Посмотрим расписание выполнения работ проекта. Для этого найдем на панели инструментов пиктограмму «Использование задачи». В левой части окна выводится список работ проекта с перечислением назначенных ресурсов, в правой части календарь использования ресурса по работам проекта. Отмечена дата начала и завершения работы, общее количество часов, необходимых на ее выполнение. Для каждого назначенного ресурса выводится расписание его использования в исполнении работы.

Оставаясь на вкладке «Задача», вернемся в режим просмотра «Гант». Посмотрим список работ критического пути во вкладке «Просмотр» пиктограмма «Гант», в фильтре задач выберем «Критичные задачи». Именно этот список работ требует особого внимания. Руководитель проекта тщательно отслеживает начало или

окончание выполнения каждой из них, добиваясь завершения проекта в запланированные сроки.

Выбрав пиктограмму «Использование ресурса», увидим в виде графика длительность выполнения работ проекта и занятость ресурсов по каждой работе.

Включим гистограмму просмотра занятости ресурса (вкладка «Просмотр», пиктограмма «Гистограмма»). Внизу экрана появится окно, слева список ресурсов проекта (выбрав, например, специалиста по логистике, увидим его загруженность на проекте). Это удобный графический инструмент для анализа ресурсов проекта на предмет возможности привлечения на другие проекты.

Для мониторинга текущих операций добавим новую колонку в которой будем отслеживать выполнение работы. Вернемся на вкладку «Задачи», пиктограмма «Гант». В левой части рабочего окна щелкнем правой кнопкой мыши по названию колонки, выберем «Вставить колонку», из списка выберем «% завершения». По мере выполнения проекта здесь будет указан процент завершения работы.

Теперь с помощью структуры проекта оценим стоимость проекта. С этого момента ресурсное планирование превращается в стоимостной анализ проекта.

Вкладка «Задачи», пиктограмма «Гант». Для сравнения запланированной и действительной стоимости работ проекта добавим новую колонку в таблице-описании «Цена1», затем щелкнем по названию «Цена1» и переименуем в «Директивная цена». В поле укажем директивную цену выполнения работ проекта.

Проверим стоимость ресурсов, задействованных в выполнении работ проекта. На вкладке «Задача», пиктограмма «Гант» в левой части окна записаны названия работ проекта. Правой кнопкой мыши щелкнем по левой верхней ячейке в таблице, из выпавшего списка выберем вид «Стоимость». Появляется таблица с тре-

мя столбцами: «Наименование работ», «Стоимость» и «Фактические затраты».

Для анализа бюджета проекта выбираем «Использование задач», сравниваем стоимость в колонке «Директивная стоимость» и полученный график в правой части экрана.

После стоимостного анализа проекта выявляют риски, которые могут возникнуть при его реализации. План детализируют, рассматривают различные варианты его исполнения, сохраняя при этом первоначальную версию. После глубокой проработки план принимается в качестве базового, и с этого момента начинается фаза исполнения. Напомним, что процессы управления проектами состоят из фаз инициации проекта, планирования содержания, исполнения, мониторинга и управления, завершения. Исполнение сопровождается мониторингом и управлением, в ходе которых выявляют соответствие текущих операций проекта базовому плану исполнения проекта.

В результате был структурирован перечень работ, описаны их состав и характер. Составлен перечень трудовых и материальных ресурсов проекта. Получено расписание выполнения работ проекта с учетом всех заданных ограничений. Программа автоматически выделила критические работы, задержка начала и окончания выполнения которых приведет к увеличению сроков завершения проекта. Для работ, не лежащих на критическом пути, рассчитаны резервы времени.

Программные продукты, аналогичные ProjectLibre, рассчитывают бюджет проекта и распределяют запланированные затраты во времени. Также по расписанию можно отслеживать потребности проекта в основных материалах и оборудовании.

В проект можно вносить изменения, сохранять их в отдельном плане в процессе исполнения проекта.

Программное обеспечение по управлению проектами существенно упрощает учет выполнения работ и анализ отклонений при исполнении отдельных работ от первоначально запланированного графика.

Тест к модулю 6

1. Из предложенных вариантов выберите тот, что полностью описывает вид связи «Окончание-начало»:

- a. Окончание одной работы означает начало следующей
- b. Две работы начинаются одновременно
- c. Две работы завершаются в одно и то же время

2. Рядом с каждым этапом поставьте цифры от 1 до 4, означающие последовательность выполнения этапов

- a. _ Определить структуру проекта
- b. _ Задать связи между работами
- c. _ Назначить ресурсы для выполнения работ проекта
- d. _ Составить график выполнения проекта

3. Ниже дано описание обменной операции.

При возникновении у эксплуатанта (Авиакомпания) потребности в изделии, входящем в перечень фонда (Обменный Фонд), формируется заявка с указанием наименования, чертежного номера компонента, требуемых сроков поставки, места поставки. Далее выполняется поиск изделия на складе фонда и в ремонтных организациях. В случае отсутствия требуемого изделия оно закупается у производителя либо у поставщиков. После этого изделие отправляется эксплуатанту с учетом согласованного срока и места поставки. Получив изделие, эксплуатант устанавливает его на воздушное судно; снятое (неисправное) изделие отправляется в организацию, предоставляющую услуги из фонда. Эта организация направляет неисправное изделие в ремонт, и после получения отремонтированное изделие размещается на складе для хранения и последующего использования по запросу.

В списке ответов укажите номера таким образом, чтобы расположить этапы операции обмена в правильной последовательности.

- 1. Формирование заявки на изделие
- 2. Поиск изделия на складах в ремонтных организациях
- 3. Отправка изделия эксплуатанту

4. Снятие неисправного изделия с воздушного судна
5. Установка полученного изделия на воздушное судно
6. Отправка неисправного изделия в обменный фонд
7. Ремонт неисправного изделия
8. Размещение отремонтированного изделия на складе обменного фонда

4. Ниже дано описание обменной операции.

При возникновении у эксплуатанта (Авиакомпания) потребности в изделии, входящем в перечень фонда (Обменный Фонд), формируется заявка с указанием наименования, чертежного номера компонента, требуемых сроков поставки, места поставки. Далее выполняется поиск изделия на складе фонда и в ремонтных организациях. В случае отсутствия требуемого изделия оно закупается у производителя либо у поставщиков. После этого изделие отправляется эксплуатанту с учетом согласованного срока и места поставки. Получив изделие, эксплуатант устанавливает его на воздушное судно; снятое (неисправное) изделие отправляется в организацию, предоставляющую услуги из фонда. Эта организация направляет неисправное изделие в ремонт, и после получения отремонтированное изделие размещается на складе для хранения и последующего использования по запросу.

В списке ответов определите виды связи между работами проекта: «Снятие неисправного изделия с воздушного судна» – «Установка полученного изделия на воздушное судно»

- a. Окончание-начало
- b. Начало-начало
- c. Начало-окончание

5. Для работы этого типа могут меняться количество привлекаемых ресурсов и трудозатраты (нормо-часы)

- a. Фиксированная длительность
- b. Фиксированная работа
- c. Фиксированные единицы

6. Ограничения влияют на длительность проекта, различают гибкие и жесткие ограничения. Ограничение «Фиксированное начало» является

- a. Гибким ограничением
- b. Жестким ограничением

7. Из предложенных ниже вариантов выберите тип ограничения, которое описывается словами: «Это ограничение означает, что работа размещается в расписании как можно раньше с учетом других параметров плана»

- a. как можно позже
- b. окончание не позднее
- c. как можно раньше

8. Работа «Ремонт неисправного изделия» выполняется в соответствии с технологической картой, ее длительность, предположим» составляет 14 дней. Из предложенного списка выберите тип задачи, наиболее подходящий для этой работы

- a. Фиксированная длительность
- b. Фиксированная работа
- c. Фиксированные единицы

9. Условием начала выполнения работы «Ремонт неисправного изделия» является окончание работы «Получение изделия ремонтным заводом». Из предложенного списка выберите тип связи между работами:

- a. Окончание-начало
- b. Начало-начало
- c. Начало-окончание

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Махитько, В.П. Интегрированная информационно-технологическая система логистической поддержки технической эксплуатации воздушных судов: монография / В.П. Махитько. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2008. – 293 с.

2. Судов, Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки в процессах жизненного цикла авиационной техники: учебное пособие / Е.В. Судов, А.Н. Петров, А.В. Петров, А.Т. Осяев, С.А. Серебрянский. – М.: Эдитус, 2018. – 174 с.

3. Судов, Е.В. Технологии интегрированной логистической поддержки изделий машиностроения / Е.В. Судов, А.И. Левин, А.В. Петров, Е.В. Чубарова. – М.: ООО Издательский дом «ИнформБюро», 2006. – 232 с.

4. Толоконников, К.И. Способы оптимизации логистических потоков авиационных компонентов / К.И. Толоконников // Вестник СГЭУ. – 2014. – №4 (144) – С. 130-134.

5. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio [электронный ресурс]. – URL: <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio> / (дата обращения: 27.06.2024).

6. Projectlibre Cloud [электронный ресурс]. – URL: <https://www.projectlibre.com/> (дата обращения 27.06.2024).

Приложение А

Ресурсы проекта

Таблица А.1

№	Наименование ресурса	Тип ресурса	Календарь	Стандартная ставка
1.	Представитель авиапредприятия	работа	Пятидневка	250
2.	Представитель поставщика	работа	Пятидневка	250
3.	Специалист по закупкам	работа	Пятидневка	220
4.	Специалист по логистике	работа	МТО_доставка	200
5.	Бухгалтер авиапредприятия	работа	Пятидневка	190
6.	Страховщик страховой компании	работа	Пятидневка	180
7.	Кладовщик поставщика	работа	МТО_доставка	170
8.	Бухгалтер продавца	работа	Пятидневка	180
9.	Сотрудник банка	работа	Пятидневка	175
10.	Грузчики на складе поставщика	работа	МТО_доставка	165
11.	Грузчики на авиапредприятии	работа	МТО_доставка	165
12.	Кладовщик склада авиапредприятия	работа	МТО_доставка	160
13.	Водитель погрузчика на складе авиапредприятия	работа	МТО_доставка	160
14.	Оплата страхового полиса на груз	материал	МТО_доставка	1000 Затраты на одно исполнение
15.	Оплата перевозки	материал	МТО_доставка	10000
16.	Аванс	материал	МТО_доставка	50000
17.	Сумма оплаты после доставки	материал	МТО_доставка	50000

Назначение ресурсов на выполнение работ проекта

Таблица А.2

№	Работа	Ресурсы
1.	Заключение договора между поставщиком и покупателем ресурсов	Представитель авиапредприятия Представитель поставщика Специалист по закупкам
2.	Подготовка ресурсов к отправке	Представитель поставщика
3.	Разработка маршрута перевозки	Специалист по логистике
4.	Заключение договора перевозки	Специалист по закупкам Специалист по логистике
5.	Страхование ресурсов	Специалист по закупкам Страховщик страховой компании
6.	Подготовка документов на ресурсы	Представитель поставщика Кладовщик поставщика
7.	Извещение о готовности к перевозке	Представитель поставщика
8.	Перечисление авансового платежа поставщику	Бухгалтер авиапредприятия Бухгалтер продавца Сотрудник банка
9.	Отправка ресурсов по маршруту перевозки	-
10.	Перевозка ресурсов по установленному маршруту в пункт назначения	Грузчики на складе поставщика Кладовщик поставщика
11.	Поступление ресурсов на склад	Грузчики на авиапредприятии Кладовщик склада авиапредприятия Водитель погрузчика на складе авиапредприятия
12.	Извещение о поступлении ресурсов	Представитель авиапредприятия
13.	Приемка ресурсов	Представитель авиапредприятия Кладовщик склада авиапредприятия Водитель погрузчика на складе авиапредприятия
14.	Оплата услуг перевозчика	Бухгалтер авиапредприятия Бухгалтер продавца Сотрудник банка
15.	Перечисление оставшейся суммы сделки	Бухгалтер авиапредприятия Бухгалтер продавца Сотрудник банка

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

*Кропивенцева Светлана Анатольевна,
Потапов Иван Валентинович,
Потапов Валентин Иванович*

**ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССОВ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Учебное пособие

Редактор И.И. Спиридонова

Подписано в печать 25.12.2024. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 7,5. Тираж 120 экз. (1-й з-д 27 экз.).
Заказ . Арт. – 15(Р2УП)/2024.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.