МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Елабужский институт (филиал)

Инженерно-технологический факультет

Кафедра общей инженерной подготовки

Фаляхов Ирек Ильхамович

Казаков Александр Николаевич

ТЕОРИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

Практикум

Елабуга – 2016

УДК 656.02

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Елабужского института (филиала) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (протокол № 9 от 30 июня 2016 г.),

заседания кафедры общей инженерной подготовки (протокол № 11 от 31 мая 2016 г.)

Авторы:

Ассистент кафедры общей инженерной подготовки И.И. Фаляхов

Старший преподаватель кафедры общей инженерной подготовки А.Н. Казаков

Рецензенты:

Кандидат педагогических наук, доцент кафедры общей инженерной подготовки Елабужского института Казанского (Приволжского) федерального университета С.А. Седов

Кандидат технических наук, М.Г. Левашов

Фаляхов И.И., Казаков А.Н.

Теория транспортных процессов и систем: Практикум / А.Н. Казаков., И.И. Фаляхов. – Елабуга: Изд-во ЕИ(Ф) К(П)ФУ, 2016. – 51 с.

В практикум включены такие темы как: «Разработка технологического процесса перевозок грузов», «Сравнительный анализ влияния эксплуатационных факторов на производительность подвижного состава», «Маршрутизация перевозок при помашинных отправках грузов», «Планирование маятниковых маршрутов» и «Расчет рационального плана назначения груженных ездок при перевозках однородных грузов однотипным подвижным составом».

Практикум предназначен для проведения практических занятий со студентами обучающихся по направлению подготовки «Технология транспортных процессов» по профилю «Эксплуатация транспортных средств».

© Елабужский институт К(П)ФУ, 2016

© Фаляхов И.И., Казаков А.Н., 2016

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильный транспорт имеет ярко выраженные особенности, существенно влияющие на формы и методы управления. Основной производственный процесс (перевозки) на автомобильном транспорте протекает за пределами автотранспортного предприятия. В результате в его организации участвуют не только автотранспортные, но и обслуживаемые ими предприятия. Так, при централизованных перевозках грузов загрузку автомобилей осуществляет своими силами и средствами предприятие – отправитель, а выгрузку – предприятие-получатель.

Производственные связи автомобильного транспорта шире и многообразнее, чем в других отраслях. Автотранспортное предприятие связано со всеми предприятиями обслуживаемой им территории. Таким образом, автомобильный транспорт представляет собой сложную динамическую систему, управление которой связано с большими трудностями. Преодолеть эти трудности возможно только с помощью современных математических методов. При неупорядоченном перемещении автомобилей вместе с грузами невозможно минимизировать пробеги (в том числе и холостые), так как водитель едет так, как ему нравится, и в то время, которое он считает правильным. Для создания оптимальной работы транспортных средств они обязательно должны быть организованы в централизованную систему управления. Одним из направлений на автомобильном транспорте является проектирование и организация автотранспортных систем доставки грузов с помощью экономико- математических методов линейного программирования.

Выполняя перечень работ которые включены в данный практикум, у студентов формируются определенные умения и навыки по оцениванию состояния транспортной обеспеченности предприятий, по осуществлению выбора вида транспорта и транспортных средств для эффективного транспортного обслуживания предприятий, а так же по составлению оптимальной схемы перевозок грузов.

ТЕМА 1. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

Под технологией транспортного процесса понимается порядок выполнения операций по перемещению грузов от грузоотправителя к грузополучателю с указанием их последовательности, продолжительности, используемого оборудования и средств транспорта, затрат материалов и труда.

При всем разнообразии условий доставки грузов, содержание технологических процессов можно привести к единой структуре (рисунок 1).

Рисунок 1 - Содержание производственного процесса перевозки грузов

Четкая, без сбоев организация транспортного обслуживания может быть обеспечена в результате грамотной разработки и качественного выполнения технологического процесса доставки грузов.

Последовательность разработки технологии транспортного процесса показана на рисунке 2.

Рисунок 2 - Алгоритм разработки технологии транспортного процесса

Набор технологической документации, отражающей технологию производственного процесса на автотранспорте, может содержать следующие материалы и документы:

- карту технологического процесса (транспортно-технологическую карту) доставки груза;
- технологический график доставки груза;
- обоснование выбора средств для перевозки;
- расчеты по согласованию технологических процессов складов, погрузочно-разгрузочных пунктов и подвижного состава;
- анализ технико-эксплуатационных показателей разных вариантов организации перевозок;
- экономическое обоснование проекта;
- нормы и нормативы, регламентирующие транспортный процесс, расход материальных и трудовых ресурсов;
- графики работы подвижного состава, маршрутные задания водителям.

Основным технологическим документом является ***карта технологического процесса доставки грузов.*** В ней отражается набор возможных технологических операций, согласованных по месту и времени, последовательность их выполнения, основные показатели процесса, оснащение постов и другие характеристики транспортного процесса.

На основании приведенной в транспортно-технологической карте последовательности технологического процесса разрабатывается ***технологический график.*** Данный график разрабатывается после согласования с грузоотправителями и грузополучателями вопросов организации погрузки и разгрузки грузов и оформления их передачи при перевозке. При этом устанавливается время обслуживания подвижного состава у грузоотправителя, у грузополучателя, время движения, сроки подготовки груза к отправке и обработки на складе грузополучателя.

Для согласования работы подвижного состава и погрузочно-разгрузочных пунктов разрабатывается ***совмещенные графики их работы.***

Рассмотрим один из вариантов разработки технологического процесса на примере.

Исходные данные: годовой объем перевозок *Qгод* -13 тыс. т, длина ездки с грузом *Lег* = 40 км, нулевой пробег *Lн* = 5 км, груз в ящике с габаритами 1000Х900Х300 массой 600 кг. Схема перевозок представлена на рисунке 3.

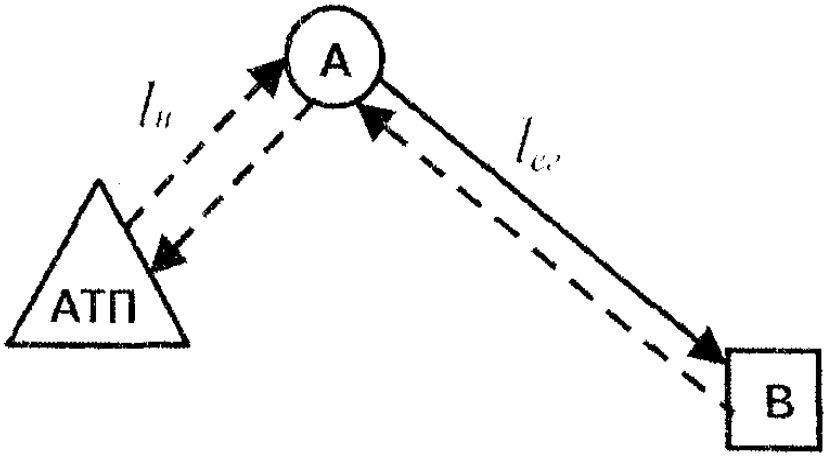


Рисунок 3 - Схема перевозок: А — грузоотправитель, В - грузополучатель, АТП - автотранспортное предприятие

На первом этапе производится выбор подвижного состава для перевозок, критерием выбора может быть его производительность.

Производительность подвижного состава за рабочий день определяется по следующей формуле:

$$W = NeQн\gamma$$

где *Ne* - число ездок (оборотов) с грузом,

Qн- номинальная грузоподъемность автомобиля,

γ - коэффициент использования грузоподъемности.

Число ездок (оборотов) за рабочий день определяется последующей формуле:

$$Ne = \frac{\text{Тн} - t\text{н}}{t\text{е}}$$

где $Тн$ - время наряда (без учета перерыва на обед и ежедневное обслуживание автомобиля),

$tн$ - время нулевого пробега, $tн = 2lн/v_m$

te - время на одну ездку (оборот)

$$t\text{е} = \frac{l\text{ег} + l\text{х}}{V\text{т}} + t\text{пр}$$

tпр - время простоя в пункте погрузки-разгрузки, которая определяется по следующей формуле:

$$t\text{пр} = ((t\text{п} + t\text{р})\xi + (t\text{оф} + t\text{доп}))/60$$

Здесь ξ - неравномерность подачи ПС под погрузку-разгрузку;

tп, tр - соответственно время простоя на погрузке, разгрузке (определяется умножением нормы времени, установленную на 1 т, на грузоподъемность автомобиля), ч;

tоф – время на оформление сопроводительной документации, в данной задаче принимается 5 мин;

tдоп- время на дополнительные работы (взвешивание груза, пересчет грузовых мест, закрепление груза и т.д.). Время на пересчет грузовых мест - 4 мин.

Техническую скорость автомобиля можно принимать

$$V\text{тех} = (0{,}5 - 0{,}6)*V\text{max},$$

где Vmax - максимальная скорость автомобиля.

Техническая скорость может быть уменьшена при перевозке грузов, требующих особой осторожности (хрупкие изделия, опасные грузы, электроника) до 15 %; при длине груженой ездки до 1 км, в карьерах и в условиях бездорожья - до 40 %; при длине ездки свыше 1 до 3 км - до 20%; в других случаях, когда по дорожным условиям или в зависимости от характеристик груза или в соответствии с тягово-скоростными характеристиками эта скорость не может быть достигнута.

Используя приведенные формулы, определяем суточную производительность автомобилей.

Количество автомобилей необходимых для обеспечения транспортного процесса определяется по следующей формуле:

$$Aэ = Q год / (W - Д_P).$$

Списочное количество автомобилей определяется по следующей формуле:

$$Aсп – Aэ/a_в$$

где $a_в$ - коэффициент выпуска автомобилей на линию, $a_в$ = 0,65/0,75.

Предварительно выбираем автомобили КамАЗ-5360 (Qн=8,6т) и ЗИЛ-431510 (Qн = 6,0 т), в ходе оценки необходимо закрепить за перевозками наиболее эффективную из них.

При решении приведенной задачи сначала необходимо определить режим работы подвижного состава: дни работы в году принимается $Д_P$ = 305 дней (согласно режиму работы грузоотправителя и грузополучателя), время в наряде - 9 ч, в том числе 1 час на обед, 30 мин на ежедневное обслуживание автомобиля.

Определяем массу груза, которую можно поместить на кузове автомобиля. Внутренние габариты кузова автомобиля ЗИЛ-431510 - 4686х2326х575, где можно расположить 10 упаковок общей массой 6 т (рисунок 4); γ = 6/6 = 1,0. Габариты кузова автомобиля КамАЗ-5360 - 7260 х 2420 х 730 мм, можно перевезти 14 упаковок общей массой 8,4 т; γ = 8.4 /8,6 = 0,98.

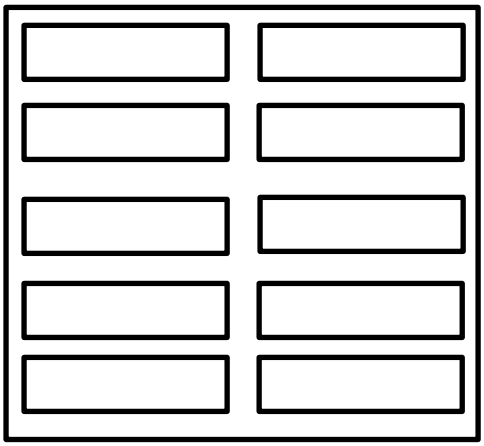


Рисунок 4 - Схема расположения груза на кузове автомобиля ЗИЛ-431510

Загрузка подвижного состава производится электропогрузчиком, разгрузка автокраном. Норма времени простоя при погрузке и разгрузке для автомобиля ЗИЛ-431510 составляет 6,5 мин на 1 т. Коэффициент ξ, принимается равным 1,1.

Число погрузочных (разгрузочных) средств определяется исходя из провозных возможностей подвижного состава по следующей формуле:

$$N\text{п(р)} = \frac{Q\text{ч}K\text{н}\xi}{W\text{п(р)}n}$$

где Qч - часовой грузопоток, т/ч;

Kн - коэффициент перегрузки;

Wп(р) - техническая производительность погрузочного (разгрузочного) средства, т/ч;

n - коэффициент использования погрузочного (разгрузочного) средства во времени. В данном случае принимается Kн = 1; n = 0,85/0,9.

Часовой грузопоток определяется по следующей формуле:

$$Q\text{ч} = \frac{A\text{э}Q\text{н}\gamma}{t\text{е}}$$

Часовую производительность погрузочного (разгрузочного) средства можно определить по следующей формуле:

$$W\text{п(р)} = 60/t\text{нор}$$

где tнор - норматив простоя автомобиля на погрузке (разгрузке), мин/т.

Технико-экономические показатели работы автомобилей представлены в таблице1.

Таблица 1 - Технико-экономические показатели работы автомобилей КамАЗ – 5360 и ЗИЛ - 431510

Подвижной состав	Vт	tн	tпр, ч	tе, ч	Nе	W, т/сут	Lег, км	Aэ, ед.	Nп	Nр
КамАЗ - 5360	60	0,17	2,15	3,45	2	16,8	170	3	1	1
ЗИЛ - 431510	54	0,18	1,58	3,06	2	12	170	4	1	1

Как видно из таблицы, суточная производительность автомобиля КамАЗ-5360 больше, поэтому на данных перевозках эффективно использовать этот автомобиль.

Можно производить выбор, не ограничиваясь только суточной производительностью ПС. Необходимо сравнить по основным статьям затрат, например, по затратам на топливо. Для этого нужно рассчитывать среднесуточный пробег, годовой пробег потребного количества автомобилей, и транспортную работу, далее используя нормативы найти общий годовой расход топлива.

После того как ПС выбран, переходим к разработке технологических документов. Карта технологического процесса доставки грузов представлена в таблицах 2-7.

Таблица 2 - Карта технологического процесса доставки грузов

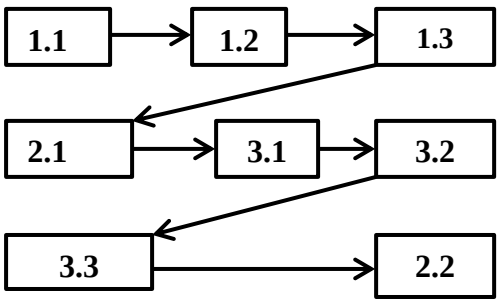
Наименование предприятия	**Груз**			**Алгоритм выполнения технологического процесса**
	Наимено-вание	**Класс**	**Код**	
ГАТП - 500	**Груз в ящиках**	**2**	**11**	

Таблица 3 - Коды операций превозочного процесса

Код	Содержание операции
1	Загрузка подвижного состава
1.1	Подача подвижного состава в пункте отправления
1.2	Загрузка подвижного состава
1.3	Оформление передачи груза
2	Движение подвижного состава
2.1	Движение с грузом
2.2	Движение без груза

3.	Выгрузка груза
3.1	Подача подвижного соства на погрузочно-разгрузочный пост в пункте назначения
3.2	Выгрузка груза
3.3	Оформление перевозки груза

Таблица 4 - Характеристика груза и подвижного состава

Вид (код) груза	Характеристика грузовогоместа		Подвижной состав		
	Масса, кг	Габариты, мм	Наименование, марка	Грузоподъемность, т	Размеры кузова (длина ширина), мм
Груз в ящиках	600	1000Х900Х300	КамАЗ-5360	8,6	7260Х2420

Технологический график перевозки грузов приведен на рисунке 5. Совмещенные графики работы подвижного состава и погрузочно-разгрузочных пунктов представлены на рисунке 6. Когда потребное количество погрузочных (разгрузочных) средств больше одного, необходимо распределить подвижной состав по погрузочно- разгрузочным средствам. Например, когда необходимое количество автомобилей 10 ед., количество погрузочных средств N =2, то на каждое погрузочное средство приходится по 5 автомобилей, и совмещенные графики строятся для 5-ти автомобилей.

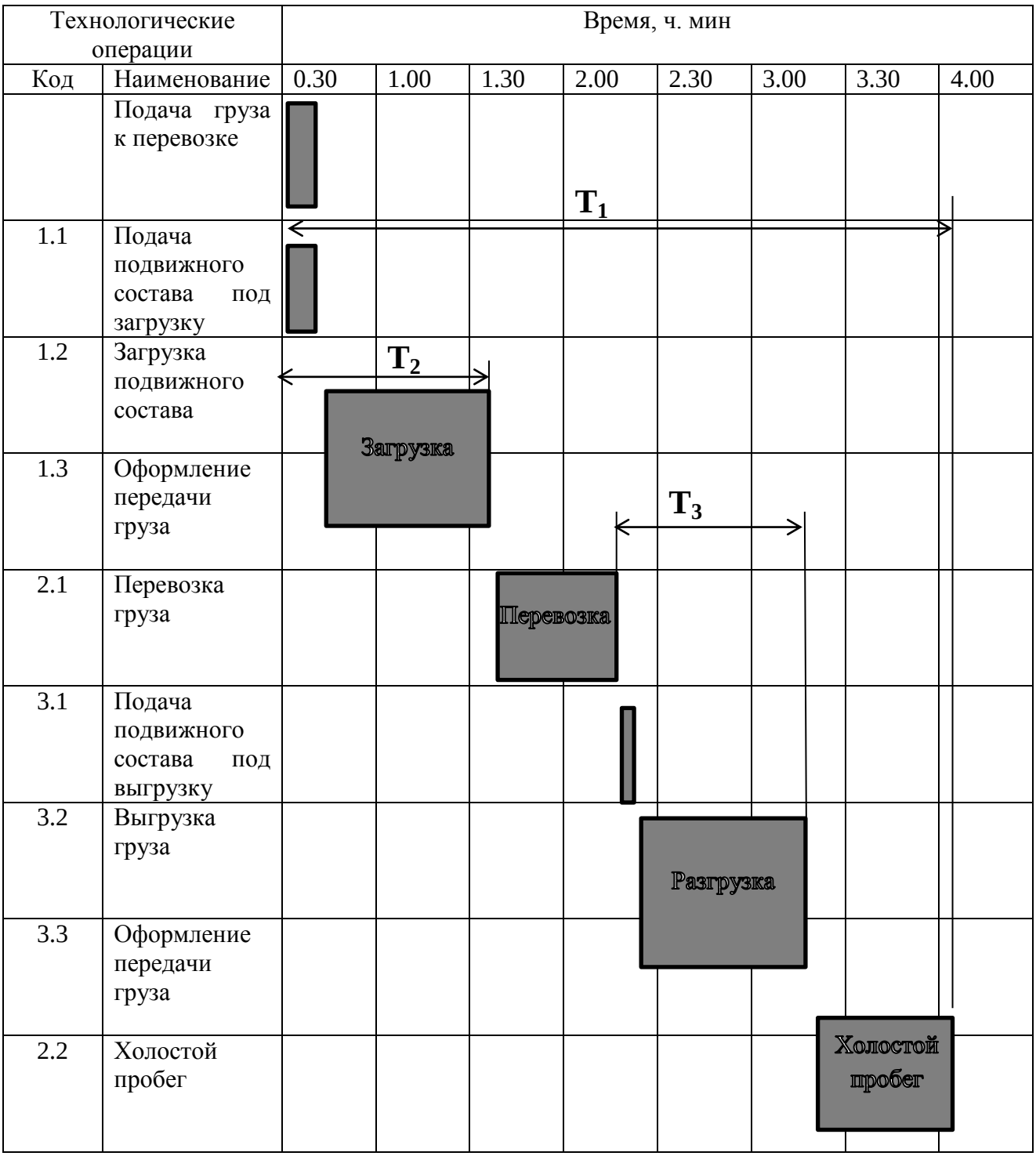


Рисунок 5 - Технологический график перевозки грузов: T_1 - время использования подвижного состава в перевозке; T_2 - время обслуживания подвижного состава у грузоотправителя; T_3-время обслуживания подвижного состава у грузополучателя

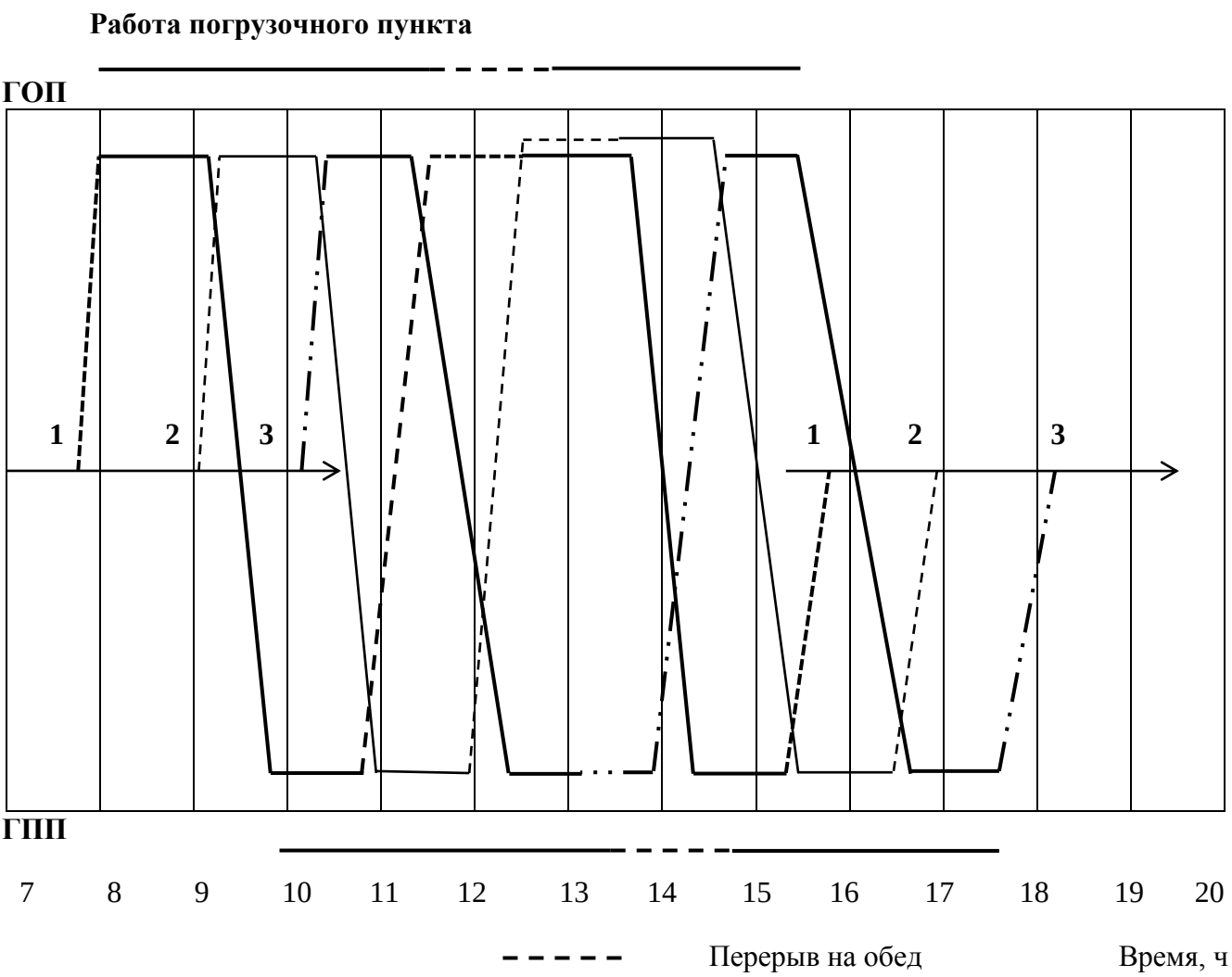


Рисунок 6 - Совмещенный график работы транспортных средств и погрузочно-разгрузочных пунктов

Задание

Разработать технологический процесс перевозки грузов при следующих исходных данных:

Вариант	Qгод, т	Lег, км	Lн, км
1	10000	40	10
2	11000	50	15
3	6000	45	12
4	5000	75	14
5	9000	60	17
6	8000	35	7
7	11500	30	9
8	12000	55	4
9	7500	60	18
10	8000	65	20

ТЕМА 2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

На практике часто возникает необходимость в повышении производительности подвижного состава. На производительность влияют многие факторы, и при разработке мероприятий по его повышению необходимо установить влияние каждого из показателей.

Для анализа зависимости производительности подвижного состава от основных эксплуатационных факторов используется известная формула часовой производительности

$$W = \frac{q_{\text{н}}\,\gamma_{\text{с}}\,V_{\text{т}}\,\beta}{l_{\text{ег}}+V_{\text{т}}\,\beta\,t_{\text{п-р}}}\ (\text{т})$$

$$W = \frac{q_{\text{н}}\,\gamma_{\text{с}}\,V_{\text{т}}\,\beta\,l_{\text{ге}}}{l_{\text{ег}}+V_{\text{т}}\,\beta\,t_{\text{п-р}}}\ (\text{ткм})$$

Для того чтобы понять характер влияния каждого из показателей на производительность: показатель, влияние которого необходимо установить, считается переменной величиной, другие показатели в этот момент считают постоянными.

Задание

Используя следующие исходные данные: *qн, γ, Vm, β, lег, tп-р,* исследовать зависимость часовой производительности автомобиля (т/ч) от каждого показателя.

Порядок выполнения задания следующий.

1. Изменяя величину соответствующего показателя и оставив без изменения значения остальных, рассчитать не менее 8-10 значений производительности.
2. После окончания расчетов свести полученные данные в таблицу.
3. Построить характеристические графики.

4. Указать мероприятия по повышению производительности на требуемую долю процентов (указаны в исходных данных) по сравнению с производительностью при заданных в исходных данных значениях технико-эксплуатационных показателей.

При выполнения задания диапазон изменения технико-эксплуатационных показателей принимать из таблицы 8.

Таблица 8 - Диапазон изменения технико-эксплуатационных показателей

Показатель	Диапазон
1. Коэффициент использования грузоподъемности	0.3÷1.0
2. Коэффициент использования пробега	0,4÷1.0
3. Техническая скорость, км/ч	20÷70
4. Время простоя под погрузкой-разгрузкой, ч	0,3÷3
5. Средняя длина ездка с грузом, км	10÷200

ТЕМА 3. МАРШРУТИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ПРИ ПОМАШИННЫХ ОТПРАВКАХ ГРУЗОВ

Повышение эффективности грузовых автомобильных перевозок связано с применением математических методов для решения прикладных задач. Одним из таких оптимизационных задач является составление рациональных маршрутов перевозок.

Маршрутизацией перевозок называют составление рациональных маршрутов движения автомобилей, обеспечивающих сокращение непроизводительных холостых и нулевых пробегов в целом по подвижному составу.

При составлении маршрутов возможны разные подходы к закреплению автомобилей на маршрутах:

- группы автомобилей закрепляются за поставщиками; в этом случае работа организуется по маятниковым маршрутам (Lг = Lх), значение коэффициента использования пробега, как правило, не может быть больше, чем 0,5.

- автомобили не закрепляются за поставщиками, маршрут планируется через разные пункты погрузки и разгрузки; при рациональной организации перевозок имеется возможность сократить непроизводительные пробеги.

Задача составления рациональных маршрутов особенно актуальна при перевозках массовых грузов. Целевой функцией задачи является минимизация порожних пробегов.

Пусть заданы пункты отправления груза (ГОП) и пункты получения груза (ГПП), пункт размещения автомобилей (АТП), а также расстояния между этими пунктами. Известны груженые ездки, которые необходимо осуществить от конкретного ГОП к заданному ГПП. Рассмотрим пример решения такой задачи, исходные данные которого представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Исходные данные для решения задачи

ГОП	ГПП	Количество груза, т	Вид груза
A_1	B_2	22,5	Песок
A_2	B_2	13,5	Уголь
A_2	B_3	9	

A_2	B_4	22	
A_3	B_1	5	Опилки
A_3	B_3	9	
A_4	B_2	13,5	Щебень
A_4	B_4	21	
A_4	B_5	27	

Требуется так организовать процесс перевозок, чтобы был перевезен весь груз и при этом суммарный пробег автомобилей без груза был бы минимальным.

Оптимальный вариант перевозок можно получить, решая транспортную задачу на минимум холостых пробегов; удобнее эго сделать через количество ездок, для чего вначале, выбрав необходимый подвижной состав, определяют количество ездок по каждому маршруту.

Для перевозки всех грузов выбирается одна модель подвижного состава. Например, при использовании для перевозок автомобиля-самосвала ЗиЛ-4503 грузоподъемностью 4,5 т и учитывая значение коэффициента использования грузоподъемности для разных грузов (для опилок $\gamma = 0,5$. для остальных грузов $\gamma = 1$), задание на перевозки представим в виде таблицы 10. Количество ездок по каждому маршруту определяется по формуле

$$n\text{е} = \sum Q\text{г}ij/\gamma q\text{н}$$

где $\sum Q\text{г}ij$ - общее количество груза, которое необходимо перевезти от каждого поставщика к каждому потребителю.

Таблица 10 - Задание на перевозку по количеству ездок

ГОП	ГПП	Вид груза	Количество ездок
A_1	B_2	Песок	5
A_2	B_2	Уголь	3
A_2	B_3		2
A_2	B_4		5
A_3	B_1	Опилки	2
A_3	B_3		4
A_4	B_2	Щебень	3
A_4	B_4		5
A_4	B_5		6

Для решения задачи маршрутизации используем ***метод совмещенных матриц,*** который заключается в том, что вначале выявляют перевозки, которые целесообразно выполнять по маятниковым маршрутам, остальные объединяют в кольцевые.

Представим исходные данные в виде таблицы (таблицы 11). Расстояния между пунктами записываем в правый верхний угол ячейки матрицы. Расстояние от АТП до грузоотправителя и грузополучателя запишем в скобках рядом с обозначением пункта. Занесем в таблицу суммарное количество ездок для каждого поставщика и потребителя.

Решим задачу составления оптимального плана подачи порожнего ПС под загрузку (см. таблицу 11). Для этого находим ячейки с наименьшим расстоянием между грузоотправителем и грузополучателем в каждом столбце и ставим туда максимальное возможное количество ездок, учитывая возможности грузоотправителя и спрос грузополучателя. Начинаем с первого столбца, здесь такая ячейка A_4B_1 (расстояние 6 км), ставим максимально возможное количество ездок (2), которое ограничено грузополучателем B_1. После исчерпания возможности грузополучателя переходим на следующий столбец. Таким образом, распределяем холостые ездки. Сумма холостых ездок по ячейкам строки должна быть равна общему числу ездок по вывозу соответствующего грузоотправителя.

Таблица 11 - Оптимальный план холостых ездок

Грузо-отправители	Грузополучатели					Итого по вывозу, ед
	B_1(25)	B_2(10)	B_3(9)	B_4(5)	B_5(8)	
A_1(5)	40	36 (5)	67	61	73	5
A_2(7)	10	64	37	39 (10)	69	10
A_3(7)	38	36 (6)	56	45	73	6
A_4(5)	6 (2)	78	23 (6)	45	65 (6)	14
Итого по ввозу, ед	2	11	6	10	6	35

Затем заносим в таблицу груженые ездки, которые необходимо выполнить согласно поставленной задаче (с таблицы 10). Груженые ездки занесены в таблицу курсивом. Таким образом, получается совмещенная матрица холостых и груженых ездок (таблица 12).

Таблица 12 - Совмещенная матрица холостых и груженых ездок

Грузо-отправители	Грузополучатели					Итого по вывозу, ед
	B_1(25)	B_2(10)	B_3(9)	B_4(5)	B_5(8)	
A_1(5)	40	36 ***5*** (5)	67	61	73	5
A_2(7)	10	64 ***3***	37 ***2***	39 ***5*** (10)	69	10
A_3(7)	38 ***2***	36 (6)	56 ***4***	45	73	6
A_4(5)	6 (2)	78 ***3***	23 (6)	45 ***5***	65 ***6*** (6)	14
Итого по ввозу, ед	2	11	6	10	6	35

Наличие в одной ячейке холостых и груженых ездок свидетельствует, что данную перевозку целесообразно выполнять по маятниковому маршруту. Количество ездок на маятниковых маршрутах соответствует меньшему из значений числа груженых и холостых ездок. В данном примере можно сформировать следующие маятниковые маршруты:

- маршрут №1: A_1 – B_2 – A_1 – 5 оборотов;

- маршрут №2: A_2 – B_4 – A_2 – 5 оборотов;

- маршрут №3: A_4 – B_5 – A_4 – 6 оборотов.

Количество перевозок но маятниковым маршрутам вычитают из загрузок соответствующих клеток и составляют новую матрицу для продолжения решения задачи (таблица 13).

Для составления кольцевых маршрутов строят замкнутые контуры. Вершины контура должны находиться в загруженных ячейках матрицы, при этом значения загрузок в вершинах контура должны чередоваться:

сначала идет ячейка, содержащая груженые ездки, затем ячейка, содержащая холостые ездки и т.д.

Таблица 13 - Матрица для составления кольцевых маршрутов

Грузо-отправители	Грузополучатели					Итого по вывозу, ед
	$B_1(25)$	$B_2(10)$	$B_3(9)$	$B_4(5)$	$B_5(8)$	
$A_1(5)$	40	36	67	61	73	5
$A_2(7)$	10	64 ***3***	37 ***2***	39 (5)	69	10
$A_3(7)$	38 ***2***	36 (6)	56 ***4***	45	73	6
$A_4(5)$	6 (2)	78 ***3***	23 (6)	45 ***5***	65	14
Итого по ввозу, ед	2	11	6	10	6	35

Каждый построенный контур соответствует кольцевому маршруту. Количество ездок на маршруте соответствует наименьшему из числа холостых и груженых ездок по вершинам контура.

Строим контур A_3B_1 – A_3B_2 – A_2B_2 – A_2B_4 – A_4B_4 – A_4B_1 – A_3 B_1. В матрице горизонтальные линии соответствуют перевозке груза. Вертикальные линии соответствуют подаче порожнего подвижного состава. Минимальная загрузка по этому контуру составляет две ездки.

Строим кольцевой маршрут №4: A_3 – B_1 – A_4 – B_4 – A_2 – B_2 – A_3 - 2 оборота.

Общий пробег ПС при перевозке грузов по рациональным маршрутам зависит от выбора начального пункта маршрута. На маятниковых маршрутах начальный пункт определен однозначно пунктом погрузки. На кольцевых маршрутах число возможных вариантов начального пункта соответствует числу пунктов погрузки на маршруте. Поэтому для определения начального пункта кольцевого маршрута необходимо рассмотреть все возможные сочетания пунктов первой погрузки и

пунктов последней разгрузки. Для каждого варианта надо просчитать суммарный порожний пробег от АТП до пункта первой загрузки и от пункта последней разгрузки до АТП. За начальный пункт погрузки целесообразно принять тот пункт, при котором суммарный пробег минимален.

Для маршрута №4 возможно три варианта начального пункта:

- начало в пункте A_3, конец в пункте B_2, нулевой пробег 17 км;
- начало в пункте A_2, конец в пункте B_4, нулевой пробег 12 км;
- начало в пункте A_4, конец в пункте B_1 нулевой пробег 30 км.

В качестве начального пункта на кольцевом маршруте №4 принимаем пункт A_2, маршрут при атом будет заканчиваться в пункте B_4. Таким образом, **маршрут №4:** $A_2 – B_2 – A_3 – B_1 – A_4 – B_4 – A_2$ – 2 оборота.

Количество ездок, включенное в маршрут, вычитается из загрузки в вершинах контура. Затем переходят к построению следующего кольцевого маршрута. Строим следующий контур: $A_4B_2 – A_3B_2 – A_3B_3 – A_4B_3 – A_4B_2$ (таблица 14).

Для этого маршрута возможно два варианта выбора начального пункта:

- начало в пункте A_4, конец в пункте B_3, нулевой пробег 14 км;
- начало в пункте A_3, конец в пункте B_2, нулевой пробег 17 км.

За начальный пункт маршрута принимаем пункт A_4. По этому контуру организуем **маршрут №5:** $A_4 – B_2 – A_3 – B_3 – A_4$ – 3 оборота.

Вычитаем количество ездок, включенных в маршрут, из загрузки соответствующих клеток и выбираем следующий кольцевой маршрут по контуру: $A_3B_3 – A_3B_2 – A_2B_2 – A_2B_4 – A_4B_4 – A_4B_3 – A_3 B_3$ (таблица 15).

Таблица 14

Грузо-отправители	Грузополучатели					Итого по вывозу, ед
	$B_1(25)$	$B_2(10)$	$B_3(9)$	$B_4(5)$	$B_5(8)$	
$A_1(5)$	40	36	67	61	73	5
$A_2(7)$	10	64 ***1***	37 ***2***	39 (3)	69	10
$A_3(7)$	38	36 (4)	56 ***4***	45	73	6
$A_4(5)$	6	78 ***3***	23 (6)	45 ***3***	65	14
Итого по ввозу, ед	2	11	6	10	6	35

Таблица 15

Грузо-отправители	Грузополучатели					Итого по вывозу, ед
	$B_1(25)$	$B_2(10)$	$B_3(9)$	$B_4(5)$	$B_5(8)$	
$A_1(5)$	40	36	67	61	73	5
$A_2(7)$	10	64 ***1***	37 ***2***	39 (3)	69	10
$A_3(7)$	38	36 (1)	56 ***1***	45	73	6
$A_4(5)$	6	78	23 (3)	45 ***3***	65	14
Итого по ввозу, ед	2	11	6	10	6	35

Для этого маршрута возможно три варианта выбора начального пункта:

- начато в пункте A_2, конец в пункте B_4, нулевой пробег 12 км;
- начало в пункте A_4, конец в пункте B_3, нулевой пробег 14 км;
- начало в пункте A_3, конец в пункте B_2, нулевой пробег 17 км.

За начальный пункт данного маршрута принимаем A_2 и задаем **маршрут №6:** A_2 - B_2- A_3 – B_3 – A_4 – B_4 – A_2 – 1 оборот.

Строим последний контур A_2B_3 – A_2B_4 – A_4B_4 – A_4B_3 – A_2B_3 (таблица 16). Для этого маршрута возможно два варианта выбора начального пункта:

- начало в пункте A_2, конец в пункте B_4, нулевой пробег 12 км;

- начало в пункте A_4, конец в пункте B_3, нулевой пробег 14 км.

За начальный пункт принимаем A_2 и строим **маршрут № 7:** A_2 - B_3 - A_4 - B_4 - A_2 – 2 оборота.

Таким образом, план перевозок построен. Получены следующие маршруты:

- маятниковые

маршрут №1: A_1 – B_2 – A_2 – 5 оборотов;

маршрут №2: A_2 – B_4 – A_2 – 5 оборотов;

маршрут №3: A_4 – B_5 – A_4 – 6 оборотов;

- кольцевые

маршрут №4: A_2 – B_2 – A_3 – B_1 – A_4 – B_4 – A_2 – 2 оборота;

маршрут №5: A_4 – B_2 – A_3 – B_3 – A_4 – 3 оборота;

маршрут №6: A_2 – B_2 – A_3 – B_3 – A_4 – B_4 – A_2 – 1 оборот;

маршрут № 7: A_2 – B_3 – A_4 – B_4 – A_2 – 2 оборота.

Таблица 16

Грузо-отправители	Грузополучатели					Итого по вывозу, ед
	B_1(25)	B_2(10)	B_3(9)	B_4(5)	B_5(8)	
A_1(5)	40	36	67	61	73	5
A_2(7)	10	64	37 ***2***	39 (2)	69	10
A_3(7)	38	36	56	45	73	6
A_4(5)	6	78	23 (2)	45 ***2***	65	14
Итого по ввозу, ед	2	11	6	10	6	35

Разработанные схемы маршрутов являются основанием для планирования перевозок, заполнения маршрутных листов и путевой документации водителей.

Для предупреждения ошибок при составлении маршрутного листа необходимо на основе транспортной сети составить схему каждого маршрута, как эго показано для маршрута №7 на рисунке 6.

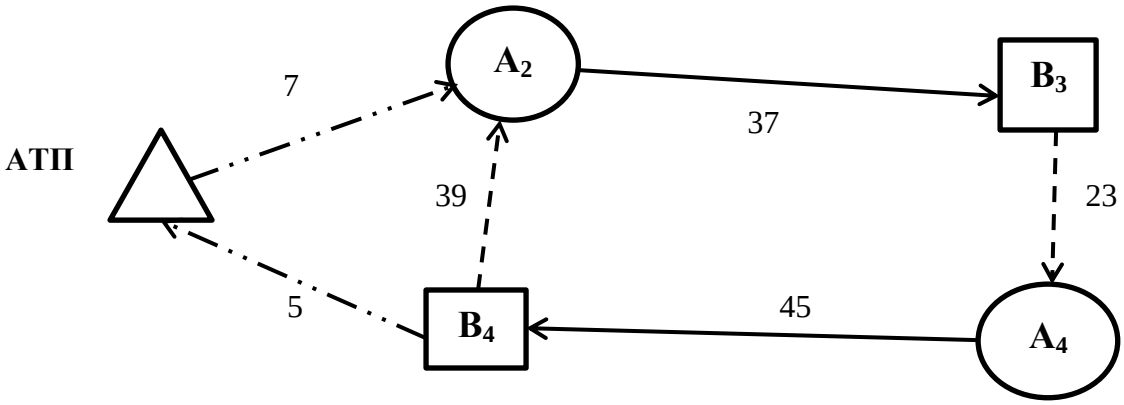


Рисунок 6 - Схема маршрута № 7

На каждый автомобиль заполняется маршрутный лист, на основании которого готовится путевая документация, для чего необходимо рассчитать технико-эксплуатационные показатели работы. Выполним их расчет для маршрута № 7.

Время одного оборота

$t_o = l_м/v_m + t_{п-р}$ = 144 / 49 + (2 - 4,5 × 1 × 1 + 2 × 4,5 × 0,5 × 10 / 60 = 3 + 0,22 = 3,22 ч.

Время работы на маршруте

$T_м = T_н - l_н/v_m$ = 10 - 12/49 = 9,75 ч.

Возможное число оборотов, которое может выполнить один автомобиль:

$n_o = T_м/t_o$ = 9,75/3,22 = 3 оборота.

По этому маршруту необходимо выполнить всего 2 оборота, таким образом, выделенный автомобиль имеет резерв свободною времени

$T_p = T_м - 2t_o + t_з$ = 9,75-2 × 3,22 + 39/49 = 4,11ч.

здесь $t_з$ - время движения от B_4 до A_2, которое не выполняется на последнем, втором обороте.

Резерв свободного времени необходимо фиксировать и после завершения расчета технико-эксплуатационных показателей для всех маршрутов использовать для планирования работы на других маршрутах.

На данном случае после завершения работы на маршруте №7 наиболее целесообразно будет задействовать автомобиль для работы на маятниковом маршруте №2.

Количество оборотов данного автомобиля по маршруту №2

$n = (T_p - t_{под})/t_o = (4{,}11 - 39/49)/1{,}67 = 1{,}95 = 1$ оборот,

здесь $t_{под}$ - время подъезда для переезда с точки завершения работы на маршруте №7.

Пример маршрутного листа для автомобиля, работающею на маршрутах №7 и №2, приведен в таблице 17.

При расчете времени следует производить разумное округление получаемых значений в большую сторону, что обеспечивает необходимый резерв на случай задержек в пути и при выполнении погрузочно-разгрузочных работ.

Таблица 17 Маршрутный лист

Пункт отправ-ления	Время отправ-ления	Пункт назна-чения	Время прибы-тия	Наимено-вание груза	$L_{ег}$, км	l_x, км	n_e	Q, т
АТП	8:00	A_2	8:10	-	-	7	1	-
A_2	8:20 13:30	B_3	9:30 14:30	Уголь	37	-	2	4,5
B_3	9:40 14:50	A_4	10:10 15:20	-	-	23	2	-
A_4	10:20 15:30	B_4	11:20 16:30	Щебень	45	-	2	9
B_4	11:30 16:40	A_2	12:20 17:30	-	-	39	2	-
Обед	12:20		13:20	-	-	-	-	
A_2	17:40	B_4	18:30	Уголь	39		1	2,25
B_4	18:40	АТП	18:50	-	-	5	1	-
Итого					203	136		15,75

Коэффициент использования пробега для этого автомобиля составит

$\beta = l_{ег}/(l_{ег} + l_x) = 203/(203 \times 136) = 0{,}6.$

Часовая производительность

$W_ч = Q/T_м$ =15,75/9,75 = 1,61 т/ч.

Задание

Используя задание на перевозки, составить рациональные маршруты перевозок, схему каждого маршрута, разработать маршрутные листы.

Вариант 1

ГОП	ГПП	Количество ездок
А1 (6)	В2 (30)	4
А1	В3 (25)	5
А1	В5 (15)	3
А2 (10)	В1 (20)	2
А2	В3	3
А2	В4 (22)	2
А3 (5)	В2	4
А3	В4	2
А3	В5	4
А4 (20)	В1	5
А4	В2	5
А4	В5	3
А5 (15)	В3	2
А5	В4	3
А5	В5	4

Вариант 2

ГОП	ГПП	Число ездок
А1 (15)	В1 (7)	3
А1	В2 (8)	4
А1	В3 (11)	2
А2 (13)	В3	4
А2	В4 (5)	5
А2	В5 (17)	2
А3 (14)	В1	3
А3	В3	3
А3	В5	5
А4 (16)	В2	2
А4	В4	4
А4	В5	5
А5 (9)	В1	3
А5	В4	4

A5	B5	3

Вариант 3

ГОП	ГПП	Число ездок
A1 (21)	B3 (17)	4
A1	B4 (14)	5
A1	B5 (13)	2
A2 (23)	B1 (27)	3
A2	B3	2
A2	B5	3
A3 (30)	B1	2
A3	B2 (25)	4
A3	B5	3
A4 (28)	B2	3
A4	B4	2
A4	B5	2
A5 (15)	B3	4
A5	B4	4
A5	B5	3

Вариант 4

ГОП	ГПП	Количество ездок
A1 (24)	B1 (19)	4
A1	B2 (15)	5
A1	B3 (9)	2
A2 (23)	B1	5
A2	B4 (16)	3
A2	B5 (18)	4
A3 (30)	B2	5
A3	B3	3
A3	B5	2
A4 (27)	B1	5
A4	B4	4
A4	B5	2
A5 (11)	B3	3
A5	B4	5
A5	B5	5

Вариант 5

ГОП	ГПП	Количество ездок
A1 (8)	B1 (17)	5

A1	B4 (15)	5
A1	B5 (9)	3
A2 (13)	B2 (11)	5
A2	B3 (19)	4
A2	B5	4
A3 (5)	B3	2
A3	B4	4
A3	B5	3
A4 (10)	B1	3
A4	B2	4
A4	B3	4
A5 (11)	B1	5
A5	B3	5
A5	B5	5

Вариант 6

ГОП	ГПП	Количество ездок
A1 (8)	B1 (13)	2
A1	B2 (15)	4
A1	B3 (11)	5
A2 (9)	B1	3
A2	B2	4
A2	B5 (18)	5
A3 (6)	B2	3
A3	B3	4
A3	B4 (23)	5
A4 (17)	B2	3
A4	B3	3
A4	B4	3
A5 (12)	B1	5
A5	B3	2
A5	B5	2

Вариант 7

ГОП	ГПП	Количество ездок
A1 (19)	B1 (5)	3
A1	B2 (9)	4
A1	B3 (15)	5
A2 (15)	B2	4
A2	B3	3
A2	B4 (20)	2
A3 (14)	B2	5

A3	B3	2
A3	B5 (18)	2
A4 (17)	B3	4
A4	B4	5
A4	B5	5
A5 (11)	B1	4
A5	B3	4
A5	B5	4

Вариант 8

ГОП	ГПП	Количество ездок
A1 (30)	B2 (12)	2
A1	B3 (16)	3
A1	B5 (26)	3
A2 (22)	B3	4
A2	B4 (9)	3
A2	B5	2
A3 (19)	B1 (4)	3
A3	B2	4
A3	B5	3
A4 (28)	B1	5
A4	B4	5
A4	B5	5
A5 (13)	B3	3
A5	B4	2
A5	B5	4

Вариант 9

ГОП	ГПП	Количество ездок
A1 (7)	B2 (25)	3
A1	B4 (13)	4
A1	B5 (11)	5
A2 (6)	B1 (17)	2
A2	B3 (22)	5
A2	B4	4
A3 (13)	B2	5
A3	B3	5
A3	B4	3
A4 (12)	B2	7
A4	B4	5
A4	B5	5
A5 (17)	B1	3

A5	B3	2
A5	B4	4

Вариант 10

ГОП	ГПП	Количество ездок
A1 (14)	B2 (12)	2
A1	B4 (9)	3
A1	B5 (14)	5
A2 (12)	B3 (7)	3
A2	B4	4
A2	B5	3
A3 (30)	B1 (8)	5
A3	B2	2
A3	B3	3
A4 (19)	B2	4
A4	B3	5
A4	B4	3
A5 (24)	B3	5
A5	B4	3
A5	B5	3

ТЕМА 4. ПЛАНИРОВАНИЕ МАЯТНИКОВЫХ МАРШРУТОВ. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

На планирование маятниковых маршрутов оказывают влияние следующие факторы:

- разная продолжительность рейсов на разных маршрутах;
- ограничение продолжительности работы подвижного состава рабочим временем водителя (временем наряда);
- ограничения по фронту и времени загрузки у грузовладельцев;
- требования грузовладельцев по регулярности, времени отправки и доставки грузов и др.

Планирование маятниковых маршрутов имеет ряд возможностей по их оптимизации, к ним относят:

- достижение максимальной производительности за счет полного использования рабочего времени;
- сокращение холостых и нулевых пробегов при увязке маятниковых маршрутов.

Для взаимной увязки маршрутов используют так называемый ***уровневый способ***, когда рациональный план составляется последовательным подбором маршрутов и проверкой их на минимум непроизводительных потерь рабочего времени.

Методику согласования маршрутов удобно пояснить непосредственно на примере. Исходные данные приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Задание на перевозку

Показатели	Заказчики перевозок (клиенты)				Всего
	1	2	3	4	
Число ездок	2	2	2	4	10
Время одной ездки, мин	120	222	240	180	1884

Исходя из лимита рабочего времени за смену в 480 мин (8 часов) на выполнение данных перевозок потребуется как минимум 4 автомобиля, причем запас времени

$$Тз = 4 \times 480 - 1884 = 36 \text{ мин.}$$

Выбор лучшего варианта проводят последовательным подбором маршрутов. Первый, наиболее простой, вариант можно составить методом северо-западного угла (таблица 19).

Таблица 19 - Распределение заданий на перевозки

Автомобили (уровень расчета)	Число ездок получателям				Время, мин.
	1	2	3	4	
1	2	1			2 × 120 + 222 = 462
2		1	1		222 + 240 = 462
3			1	1	240 + 180 = 420
4				2	2 × 180 = 360
5				1	1 × 180 = 180
Всего					1884

При таком сочетании маршрутов для выполнения заданного объема работы потребуется выделить 5 автомобилей с расходом рабочего времени

$$Тр = 5 \times 480 = 2400 \text{ мин,}$$

при полезном использовании Тп=1884 мин; из пяти выделяемых автомобилей один (№3) недогружен заданием на 60 мин, один (№ 4) на 120 мин, последний же из выделяемых автомобилей загружен менее чем на 40% рабочего времени.

Поиск рациональных вариантов производят последовательным перебором возможных вариантов совмещения маршрутов с таким расчетом, чтобы суммарное время совмещаемых маршрутов максимально соответствовало лимиту рабочего времени водителя или продолжительности смены.

В нашем примере целесообразно вначале попытаться совместить маршруты, время выполнения которых кратно продолжительности смены. Очевидно, что маршруты продолжительностью 240 и 222 мин. Совмещение таких маршрутов целесообразно также по той причине, что водителю удобнее выполнять задание одному заказчику.

Остаются маршруты продолжительностью 120 мин - 2 ездки и 180 мин - 4 ездки. Их целесообразно совмещать с расчетом:

$$Тн = 120 + 2 \times 180 = 480,$$

т.е. одна ездка продолжительностью 120 мин и две ездки продолжительностью 180 мин.

При таком совмещении маршрутов план выполнения заказов клиентов будет выглядеть, как показано в таблице 20.

Таблица 20 - Рациональный план распределения заданий

Автомобили	Число ездок получателям				Время, мин.
	1	2	3	4	
1		2			444
2			2		480
3	1			2	480
4	1			2	480

Таким образом, удалось получить план, который может быть выполнен четырьмя автомобилями, что соответствует условию

$$Аэ = 4 \rightarrow \min.$$

Задание

При известном значении необходимого числа ездок каждому потребителю и времени одной ездки, определить количество автомобилей и распределить их с учетом максимального использования рабочего времени.

Вариант 1

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	5	3	2	4	1
Время одной ездки, мин	180	260	120	60	90
Время в наряде, ч	8				

Вариант 2

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	3	2	5	2	1
Время одной ездки, мин	120	60	120	50	90
Время в наряде, ч	8				

Вариант 3

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5

Число ездок	1	2	2	3	2
Время одной ездки, мин	80	60	150	90	90
Время в наряде, ч	8				

Вариант 4

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	4	5	4	4	1
Время одной ездки, мин	70	80	120	60	60
Время в наряде, ч	8				

Вариант 5

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	1	1	5	4	3
Время одной ездки, мин	180	260	120	60	90
Время в наряде, ч	8				

Вариант 6

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	2	3	3	2	1
Время одной ездки, мин	80	60	50	60	40
Время в наряде, ч	8				

Вариант 7

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	5	3	2	4	1
Время одной ездки, мин	140	100	120	40	90
Время в наряде, ч	8				

Вариант 8

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	1	3	3	2	2
Время одной ездки, мин	80	130	80	70	90
Время в наряде, ч	8				

Вариант 9

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	5	5	6	2	1
Время одной	80	60	20	60	90

ездки, мин					
Время в наряде, ч	8				

Вариант 10

Показатели	Потребители				
	1	2	3	4	5
Число ездок	2	4	5	4	1
Время одной ездки, мин	80	20	100	60	90
Время в наряде, ч	8				

ТЕМА 5. РАСЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНА НАЗНАЧЕНИЯ ГРУЖЕНЫХ ЕЗДОК ПРИ ПЕРЕВОЗКАХ ОДНОРОДНЫХ ГРУЗОВ ОДНОТИПНЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ

Необходимость решения транспортных задач появляется, когда имеется несколько, иногда очень много, вариантов выполнения перевозок, а выбрать необходимо один, который при этом был бы оптимальным.

Такими задачами могут быть:

- закрепление грузополучателей за грузоотправителями при условии минимума транспортной работы на перевозки;

- закрепление АТП за маршрутами перевозок из условия минимума нулевых пробегов;

- выбор варианта организации перевозок с минимальными затратами времени на их выполнение;

- выбор вариантов транспортного процесса при условии минимальной стоимости перевозок и др.

Наиболее часто встречается задача минимизации пробега при выполнении перевозок. Такие задачи обычно решаются для однородных грузов, которые можно перевозить однотипным подвижным составом.

Рассмотрим формулировку транспортной задачи линейного программирования (рисунок 7).

Суть задачи такого вида состоит в следующем:

В пунктах отправления A_1, A_2, ... , A_n, имеется однородный груз в количестве a_1, a_2, … , a_n. Этот груз необходимо доставить в грузопоглощающие пункты B_1, B_2, ... , B_m в количестве b_1, b_1, ... , b_m. Кратчайшие расстояния между грузоотправителями и грузополучателями C_{ij}.

Необходимо разработать такой план:

- чтобы удовлетворить потребности всех получателей;

- вывезти весь груз от грузоотправителей;

- при этом обеспечить минимум транспортной работы по грузообороту.

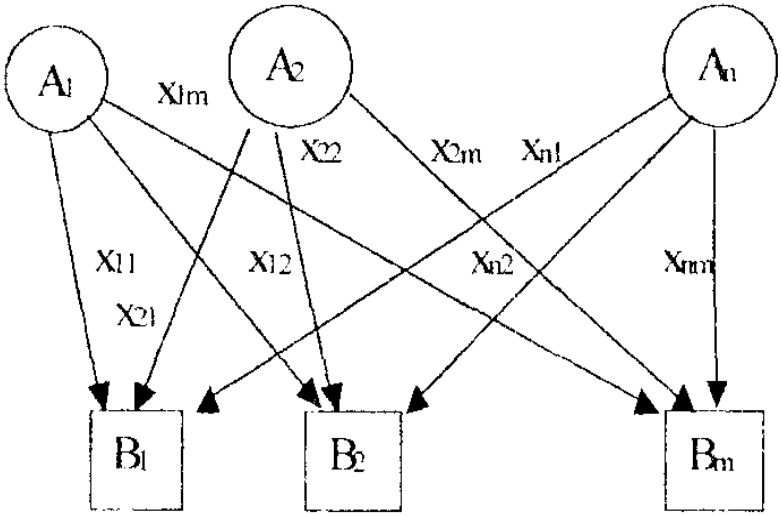


Рисунок 7 Схема перевозок (возможные варианты)

Рассмотрим пример решения задачи. Известно количество однородного груза, которое имеется у грузоотправителей, условно обозначенных A_1, A_2, A_3 и A_4. Этот груз необходимо доставить потребителям, обозначенным B_1, B_2, B_3, B_4, B_5. Известны также расстояния между всеми грузоотправителями и грузополучателями. Исходные данные задачи записаны в таблицу, называемую **матрицей** (таблица 21). В матрице в верхнем правом углу соответствующих клеток записаны расстояния в километрах. Кроме того, в этой матрице имеются вспомогательные строка и столбец, клетки которых пока остаются незаполненными. Необходимо закрепить потребителей за поставщиками так, чтобы среднее расстояние перевозок груза было наименьшим, т.е. найти минимум объема транспортной работы в тонно-километрах.

Таблица 21 - Исходные данные

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		А1	А2	А3	А4	
	U / V					
В1		8	12	15	23	40
В2		7	10	14	11	40
В3		10	11	19	14	80
В4		16	14	16	18	40

B5		17	20	19	20	10
Итого наличие груза, т		15	85	40	70	210

Порядок решения задачи состоит из следующих этапов:

1. первоначальное закрепление (распределение);
2. анализ возможностей улучшения решения;
3. проверка оптимальности полученного решения;
4. оформление результата.

Первоначальное закрепление потребителей продукции за поставщиками можно выполнить разными методами.

Метод северо-западного угла наиболее прост: закрепление производится с левого верхнего угла таблицы (клетка B_1A_1), по мере удовлетворения потребности получателя или исчерпания ресурса поставщика заполняются последующие клетки, расположенные правее и ниже. Как правило, первый полученный результат далек от оптимального, и требуется многократно выполнять проверку на оптимальность и перерасчет.

1. При решении представленной задачи последовательно закрепляют грузополучателей за грузоотправителями, начиная с A_1. Для этого выбирают кратчайшее расстояние в столбце A_1 и в соответствующем клетке записывают потребность в грузе данного получателя, если она не превосходит наличия груза у отправителя A_1. Остаток груза у поставщика помещают в следующую по наименьшему расстоянию клетку этого столбца. После распределения всего груза грузоотправителя A_1 переходят к распределению груза следующего поставщика, что делается таким же путем. Если потребность в грузе у получателя больше, чем имеется груза у отправителя, в соответствующую клетку записывается количество груза, имеющегося у поставщика. Такое предварительное распределение сделано в таблице 22.

Для отправителя A_1 имеющего 15 т груза, ближайшим получателем будет B_2 потребность в грузе которого составляет 40 т. Записываем наименьшее из

этих чисел в клетку $A_1|B_2$. Так как весь груз поставщика A_1 уже распределен, переходим к распределению 85 т груза отправителя A_2. Ближайшим к нему будет получатель B_2, у которого осталось неудовлетворенная потребность в грузе - 25 т. Записываем эту цифру в клетку A_2B_2. Так как у A_2 еще остается 60 т неиспользованного груза, отыскиваем следующего ближайшего к этому отправителю потребителя. Им будет B_3 с потребностью в грузе 80 т. Так как меньшей цифрой является 60, то ее и помещаем в клетку A_2B_3.

Переходим к распределению груза отправителя A_3. Ближайшим к нему будет получатель B_2. Но его потребность уже полностью удовлетворена. Поэтому находим следующего ближайшею получателя, которым является B_1. Так как потребность в грузе и наличие груза в данном случае совпадают, то помещаем 40 в клетку A_3B_1. К последнему отправителю прикрепляют тех получателей, чья потребность в грузе осталось неудовлетворенной при закреплении за предыдущими отправителями.

Клетки, где проставлены количества груза, называются ***загруженными.*** Таким образом, в таблице 22 получено предварительное распределение. Количество транспортной работы по этому распределению составляет 2815 т-км. Однако, является ли такое распределение оптимальным, пока остается неясным.

Таблица 22 – Предварительный план

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V	6	3		0	
B1		8	12	15 **40**	23	40
B2	13	7 **15**	10 **25**	14	11	40
B3	14	10	11 **60**	19	14 **20**	80
B4	18	16	14	16	18 **40**	40
B5	20	17	20	19	20 **10**	10
Итого наличие груза, т		15	85	40	70	210

2. Для проверки оптимальности полученного первоначального распределения находятся специальные вспомогательные показатели для строк v и столбцов u, называемые потенциалами. Для каждой загруженной клетки разность между соответствующими этой клетке потенциалами должна быть равна расстоянию, указанному в этой клетке, т.е. $v - u = c$.

В соответствии с этим все потенциалы определяются по следующему правилу.

Для одного из столбцов (отправителей) принимают потенциал $\boldsymbol{u}$, равный нулю. При этом целесообразно нулю приравнивать потенциал того столбца, в котором имеется загруженная клетка с наибольшим расстоянием. Остальные потенциалы определяют по загруженным клеткам исходя из следующих формул:

для столбцов $u = v - c$;

для строк $v = u + c$.

Так, в таблице 22 загруженная клетка B_5A_4 с наибольшим расстоянием находится в столбце A_4. Поэтому принимаем потенциал для этого столбца $u_4 = 0$. По загруженным клеткам этого столбца определяем потенциалы строк B_3, B_4, B_5:

$$v_3 = 0 + 14 = 14;\ v_4, = 0 + 18 = 18;\ v_5 = 0 + 20 = 20.$$

По загруженной клетке B_3A_2 определяем потенциал столбца A_2:

$$u_2 = 14 - 11 = 3,$$

а по клеткам B_2A_2 и B_2A_1, соответственно потенциалы:

$$v_2, = 10 + 3 = 13 \text{ и } u_1 = 13 - 7 = 6.$$

Однако потенциалы u_3 и v_2, остались ненайденными. Для нахождения всех численных значений потенциалов необходимо, чтобы число загруженных клеток в матрице было равно

$$m + n - 1,$$

где m - число основных строк; n - число основных столбцов.

В таблице 22 загружено семь клеток, а нужно $5 + 4 - 1 = 8$, т.е. одной загруженной клетки не хватает. Такого положения быть не должно. Поэтому существует правило: если число загруженных клеток меньше числа $m + n - 1$, то необходимо искусственно загрузить недостающее количество клеток матрицы, для чего в них записывается 0. В последующих расчетах с этой клеткой оперируют как с загруженной.

Подстановка нулевой загрузки не повлияет на баланс наличия и потребности груза. Нуль следует ставить в ту клетку, которая лежит на пересечении строки или столбца, не имеющих потенциалов, со строкой или столбцом, для которых потенциалы уже определены.

В таблице 22 нуль можно поставить в любую клетку в строке В) или в столбце А3. Пусть такой клеткой будет клетка B_1A_1,. Туда записываем 0 и считаем эту клетку загруженной. Сделаем это в таблице 23. Теперь можно определись потенциалы v_1, и u_3,

$$v_1 = 6 + 8 = 14 \text{ и, } u_3 = 14 - 15 = -1.$$

3. После определения всех потенциалов рассматривают все незагруженные клетки и среди них отыскивают такие, для которых разность между соответствующими им потенциалами будет больше расстояния, указанного в этой клетке, т.е. $v - u > c$. Для каждой такой клетки определяется число $d = v - u - c$.

Таблица 23

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		А1	А2	А3	А4	
	U / V	6	3	-1	0	
В1	14	8 **0**	12	15 **40**	23	40
В2	13	7 **15**	10 **25**	14	***2*** 11	40
В3	14	10	11 **60**	19	14 **20**	80
В4	18	16	***1*** 14	***3*** 16	18 **40**	40
В5	20	17	20	***2*** 19	20 **10**	10
Итого наличие груза, т		15	85	40	70	210

Сделаем такие подсчеты для всех незагруженных клеток таблицы 23. Например, для клетки B_1A_2 d= 14 - 3 <12, т.е. здесь разность потенциалов меньше расстояния. Просматривая, таким образом, все незагруженные клетки, обнаружим, что в таблице 23 числа d можно определить для следующих клеток:

B_2A_4 $v_2 - u_4 = 13 - 0 > 11$; $d_{24} = 13-0-11=2$;

B_4A_2 $v_4 - u_2 = 18 - 3 > 14$; $d_{42} = 18-3-14=1$;

B_4A_3 $v_4 - u_3$, $=18-(-1) > 16$; $d_{43} = 18-(-1)-16 = 3$;

B_5A_3 $v_5 - u_3 = 20 - (1) > 19$; $d_{53} = 20 - (-1) - 19 = 2$.

Покажем полученные значения d непосредственно в левых углах соответствующих клеток табл.26 подчёркнутыми цифрами. Наличие таких клеток показывает, что это распределение не является оптимальным и его можно улучшить, т.е. можно найти лучший план перевозок.

Чтобы улучшить полученный план перевозок, находят клетку с максимальным подчеркнутым числом и для нее строят так называемый «контур» - замкнутую ломаную линию, состоящую из прямых горизонтальных

и вертикальных отрезков, все вершины которой лежат в загруженных клетках, не считая клетку, выбранную для начала построения «контура». Каждой выбранной клетке может соответствовать один и только один «контур».

«Контур» строят следующим образом. От выбранной незагруженной клетки проводят прямую линию по строке или столбцу до загруженной клетки, которой, в свою очередь, должна соответствовать еще одна загруженная клетка под прямым углом. И так до тех пор, пока линия не замкнется в исходной клетке. Движение при определении контура совершается строго под прямым углом, причем в каждой строке и столбце, которые находятся в замкнутой линии, в состав «контура» входят всегда по две клетки. Вид «контура» может быть весьма разнообразным (рисунок 8).

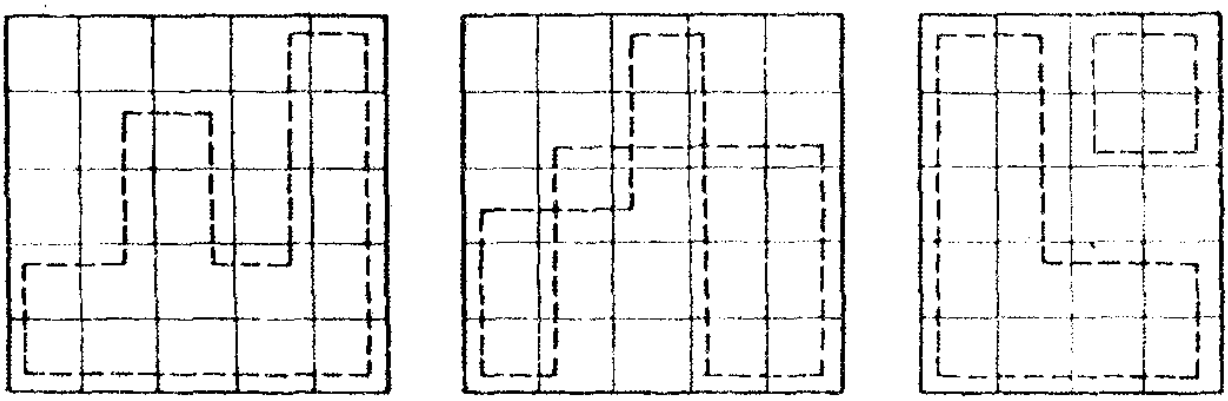


Рисунок 8 - Виды контуров

Следует иметь в виду, что число вершин «контура» всегда будет четным, при этом те клетки, где горизонтальные и вертикальные линии «контура» пересекаются, нельзя рассматривать как его вершины. Вершиной «контура» является лишь та загруженная клетка, где эти линии образуют один прямой угол.

В таблице 23 построен «контур» для клетки B_4A_3.

Затем всем вершинам «контура» попеременно присваивается знаки «-» и «+», начиная с выбранной для начала построения «контура» клетки, которой присваивается знак «-».

Теперь из всех клеток, обозначенных знаком «+», выбирают наименьшую цифру загрузки. В таблице 23 это загрузка 15 в клетке B_2A_1. Это количество

груза отнимают из загрузки, указанной в клетках со знаком «+», и прибавляют к загрузке тех клеток, которые не являлись вершинами «контура». Это сделано в таблице 24, которая является новым вариантом распределения. Теперь с этой таблицей производят все операции, которые описаны выше.

Определим потенциалы в таблице 23 и найдем клетку с максимальным значением d . Такими клетками будут клетки B_1A_2 и B_2A_4. Для дальнейших расчетов можно взять любую из них, например, B_1A_2. Для нее строим контур, вершины которого, начиная с клетки B_1A_2, попеременно обозначаем знаками «-» и «+». Выбираем наименьшую загрузку в клетках со знаком «+». Такой загрузкой будет цифра 25 в клетках B_1A_3 и B_4A_4. При переносе этой загрузки из клеток со знаком «+» в клетки со знаком «-» в матрице одновременно освободится не одна, а две клетки.

Таблица 24

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V	9	3	2	0	
B1	17	8 **15**	12 ***2*** −	15 **25** +	23	40
B2	13	7	10 **40**	14	11 ***2***	40
B3	14	10	11 **45** +	19	14 **35** −	80
B4	18	16	14 ***1***	16 **15** −	18 **25** +	40
B5	20	17	20	19	20 **10**	10
Итого наличие груза, т		15	85	40	70	210

В этих случаях необходимо в одной из освободившихся клеток после перестановки оставить нулевую загрузку. Это и сделано в таблице 24, где в клетке B_1A_3 стоит 0 и дано новое распределение.

Анализируем новое распределение и находим возможность его улучшения путем перемещения загрузки в клетку B_2A_4. Результат этого улучшения дан в таблице 25.

Таблица 24

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V	7	3	0	0	
B1	15	8 **15**	12 **25**	15 **0**	23	40
B2	13	7	10 **40** +	14	***2*** – 11	40
B3	14	10	11 **20** –	19	14 **60** +	80
B4	16	16	14	16 **40**	18	40
B5	20	17	20	***1*** 19	20 **10**	10
Итого наличие груза, т		15	85	40	70	210

Таблица 25

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V	7	3	0	0	
B1	15	8 **15**	12 **25** –	15 **0** +	23	40
B2	13	7	10	14	11 **40**	40
B3	14	10	11 **60** +	19	14 **20** –	80
B4	16	16	14	16 **40**	18	40
B5	20	17	20	***1*** – 19	20 **10** +	10

Итого наличие груза, т	15	85	40	70	210

Однако в таблице 25 анализ клетки B_5A_3, показывает, что оптимальный план еще не найден. Для этой клетки строим «контур» и на его вершинах с «+» выбираем клетку с наименьшей загрузкой. Такой клеткой оказывается клетка B_1A_3, где загрузка равна нулю. С нулем обращаются как с реальной загрузкой. Поэтому нуль надо перенести в клетку B_5A_3. а в остальных клетках от вычитания или прибавления нуля загрузка не изменится. Сделаем эго в таблица 26. Вновь находим потенциалы и оттаскиваем клетки с положительными значениями d. Но таких клеток в таблица 26 нет. Значит, полученное распределение улучшить больше нельзя и оно является оптимальным.

Таблица 26

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V	7	3	1	0	
B1	15	8 **15**	12 **25**	15 **0**	23	40
B2	11	7	10	14	11 **40**	40
B3	14	10	11 **60**	19	14 **20**	80
B4	17	16	14	16 **40**	18	40
B5	20	17	20	19	20 **10**	10
Итого наличие груза, т		15	85	40	70	210

Таким образом, вычисления последовательно ведут до тех пор, пока имеются клетки, где имеются положительные значения d. Их отсутствие показывает, что улучшить распределение нельзя, что оно является оптимальным.

Если в рассматриваемом примере сравнить объем транспортной работы и предварительном распределении (см. таблицу 22) с объемом в окончательном распределении (см. таблицу 26), равным 2640 т-км, то можно увидеть, что он сократился на 165 т-км, или на 6%.

Окончательный вариант расчета оформляют в виде таблицы с реальными наименованиями грузоотправителей и грузополучателей (табл. 27).

Таблица 27 – Окончательный вариант распределения груза

Поставщик	Условное обозначение	Потребитель	Условное обозначение	Количество груза
Завод ЖБИ № 2	A_1	ДСК № 1	B_1	15
Речной порт	A_2	ДСК № 1	B_1	25
		ОАЛ «Строймонтаж»	B_3	60
Склад стройматериалов № 20	A_3	ДСК № 2	B_4	40
Железнодорожная станция	A_4	Строительство завода	B_2	40
		ОАО «Строймонтаж»	B_3	20
		ОАО «Стройиндустрия»	B_5	10

Задание

Используя исходные данные закрепить грузополучателей за грузоотправителями.

Вариант 1

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V					
B1		7	5	9	9	50
B2		17	17	15	19	50
B3		8	13	6	27	30
B4		35	4	24	8	40
B5		10	8	3	12	30

Итого наличие груза, т	60	40	70	30	200

Вариант 2

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		А1	А2	А3	А4	
	U / V					
В1		4	5	9	8	80
В2		17	17	23	19	20
В3		9	12	6	27	100
В4		35	4	24	9	50
В5		12	8	3	12	50
Итого наличие груза, т		120	80	50	50	300

Вариант 3

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		А1	А2	А3	А4	
	U / V					
В1		7	5	9	7	40
В2		17	17	15	19	50
В3		5	13	10	27	60
В4		35	6	24	8	50
В5		10	8	11	12	50
Итого наличие груза, т		60	40	70	80	250

Вариант 4

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		А1	А2	А3	А4	
	U / V					
В1		10	8	9	8	80
В2		17	17	23	7	20
В3		9	12	6	27	100
В4		35	9	24	5	50
В5		12	13	3	12	50
Итого наличие груза, т		120	80	50	50	300

Вариант 5

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		А1	А2	А3	А4	
	U / V					
В1		20	10	9	9	50
В2		17	17	15	19	50
В3		15	13	6	27	30
В4		35	8	24	10	40
В5		10	7	11	12	30
Итого наличие груза, т		60	40	70	30	200

Вариант 6

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		А1	А2	А3	А4	
	U / V					

B1		4	5	9	8	30
B2		17	17	23	19	20
B3		9	12	6	27	60
B4		35	4	24	8	20
B5		12	8	3	12	20
Итого наличие груза, т		20	50	40	40	150

Вариант 7

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V					
B1		15	6	9	10	40
B2		5	17	15	19	40
B3		14	13	18	7	50
B4		35	9	24	11	60
B5		10	8	4	12	40
Итого наличие груза, т		60	40	70	60	230

Вариант 8

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V					
B1		12	19	24	9	70
B2		17	17	23	19	50
B3		9	12	9	27	60
B4		35	9	25	10	40

B5		10	8	8	12	60
Итого наличие груза, т		80	20	100	80	280

Вариант 9

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V					
B1		7	5	9	9	30
B2		17	17	15	19	50
B3		8	13	6	27	80
B4		35	4	24	8	70
B5		10	8	3	12	40
Итого наличие груза, т		80	40	50	100	270

Вариант 10

ГПП	Потенциалы	ГОП				Потребность в грузе, т
		A1	A2	A3	A4	
	U / V					
B1		4	5	9	8	80
B2		17	17	23	19	20
B3		9	12	6	27	40
B4		35	4	24	8	60
B5		12	8	3	12	20
Итого наличие груза, т		50	30	120	20	220

Список использованных источников

1. Домке, Э. Р. Пути сообщения, технологические сооружения: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Э. Р. Домке, Ю. М. Ситников, К. С. Подшивалова. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 400 с.
2. Единая транспортная система: Учеб. для вузов / В. Г. Галабурда, В. А. Персианов, А. А. Тимошин и др.; Под ред. В. Г. Галабурды. 2-е изд. с изменен. и дополн. – М. : Транспорт, 2001. – 303 с.
3. Рябчинский, А. И. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса: Учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / А. И. Рябчинский, В. А. Гудков, Е. А. Кравченко. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 256 с.
4. Горев, А. Э. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. Э Горев. Е. М. Олещенко. – 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 256 с.
5. Солодкий, А. И. Транспортная инфраструктура: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. И. Солодкий, А. Э. Горев, Э. Д. Бондарева; Под ред. А. И. Солодкого. – М. : Издательство Юрайт, 2015. – 290 с.
6. Пугачев И. Н. Организация и безопасность движения: Учебное пособие. – Хабаровск: Изд. ХГТУ, 2004. – 232 с.
7. Сильянов В. В., Домке Э. Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: Учебник. - М. : ИЦ «Академия», 2007. – 352 с.