



## Задание № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ СТРУКТУРЫ ПАРКА АВТОМОБИЛЕЙ

#### 5.1 Цель работы

Изучить методику определения оптимальной по грузоподъемности структуры парка автомобилей

#### 5.2 Методика выполнения работы

Структура парка автомобилей по грузоподъемности должна соответствовать распределению размера партий грузов.

Для определения оптимальной по грузоподъемности структуры парка автомобилей должна быть установлена плотность вероятности распределения  $f(m)$  от размера партии грузов  $m$  (в графической форме представлена на рисунке 5.1); задан ряд значений грузоподъемности автомобилей, применяемых для перевозок  $q_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) или рекомендуемых на основе технико-экономических расчетов.

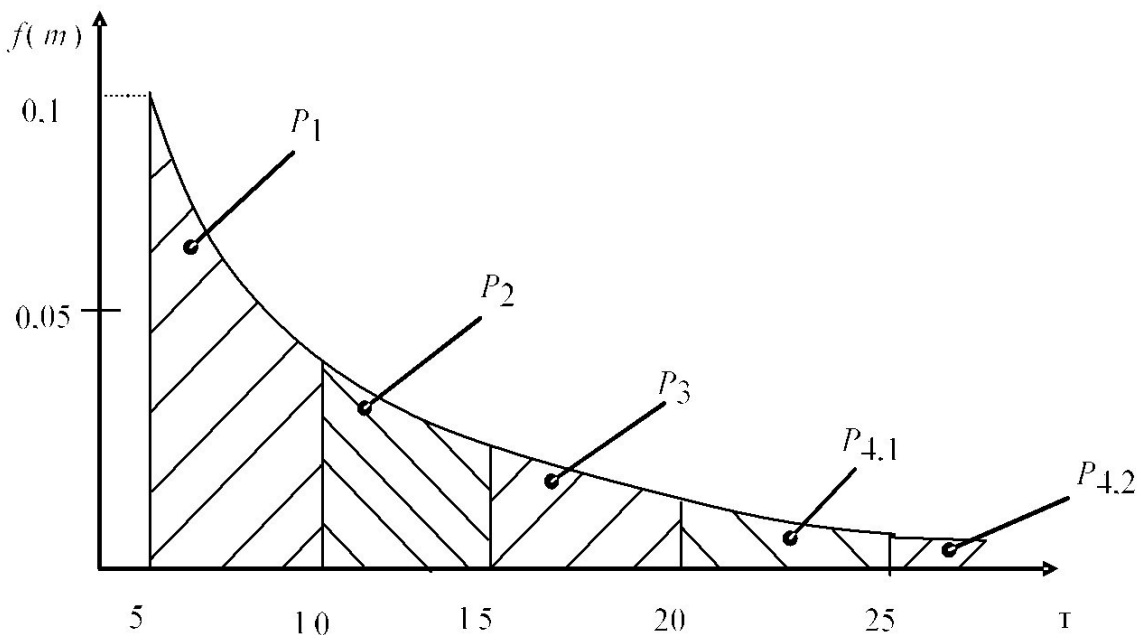


Рисунок 5.1 – Плотность вероятности распределения размера партий грузов

Исходя из известной плотности распределения  $f(m)$  вероятность предъявления отправок груза, для перевозки которого требуется автомобиль грузоподъемностью  $q_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n - 1$ ), определяется интегрированием  $f(m)$  по грузоподъемности с учетом коэффициента ее использования  $\gamma_{\text{ст}}$ :

$$P_j = \begin{cases} \binom{q\gamma_{\text{ст}}}{j} \int_0^j f(m) dm, & j = 1 \\ \binom{q\gamma_{\text{ст}}}{j-1} \int_0^j f(m) dm, & 1 < j \leq n - 1. \end{cases} \quad (5.1)$$

Вероятность  $P_{n,i}$  предъявления размеров партии груза, для освоения которых необходимо выполнение  $i$  ездов автомобиля грузоподъемностью  $q_n$ , рассчитывается аналогично вероятностям  $P_j$

$$P_{n,i} = \begin{cases} \binom{q\gamma_{\text{ст}}}{n} \int_0^i f(m) dm, & i = 1 \\ \binom{q\gamma_{\text{ст}}}{n-1} i \binom{q\gamma_{\text{ст}}}{n} \int_0^i f(m) dm, & i > 1. \end{cases} \quad (5.2)$$

Число ездов с грузом  $Z_{ej}$ , подлежащих освоению автомобилем грузоподъемностью  $q_j$ , определяется по вероятностям  $P_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n - 1$ ) и  $P_{nj}$  из следующего выражения:

$$Z_{ej} = \begin{cases} NP_j, & \text{если } j \leq n - 1 \\ N \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,i}, & j = n, \end{cases} \quad (5.3)$$

где  $N$  – общее число отправок за рассматриваемый период.

Требуемое число автомобилей грузоподъемностью  $q_j$

$$A_j = Z_{ej} / (Z_{e,q} D), \quad (5.4)$$

где  $Z_{e,q}$  – число ездов с грузом, осваиваемых  $j$ -м автомобилем за день (сутки);

$D$  – длительность рассматриваемого периода в рабочих днях (сутках).

Размеры перевозимых партий грузов приводят в соответствие с грузоподъемностями автомобилей с целью повышения их использования. В этом случае средний размер партии груза



$$\bar{m} = \sum_{j=1}^{n-1} P_j (q_{\gamma c_j}) + (q_{\gamma c})_n \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,i} . \quad (5.5)$$

Средний объем груза  $\bar{q}_e$ , осваиваемый за одну езду автомобиля,

$$\bar{q}_e = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} P_j (q_{\gamma c})_j + (q_{\gamma c})_n \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,i}}{\underbrace{\sum_{j=1}^{n-1} P_j + \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,i}}_{\bar{m}}} = \frac{\bar{m}}{\underbrace{\sum_{j=1}^{n-1} P_j + \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,i}}_{\bar{m}}} . \quad (5.6)$$

Число ездов, приходящееся на одну партию груза.

Средняя грузоподъемность автомобиля по всем ездам

$$\bar{q} = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} P_j q_j + q_n \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,i}}{\sum_{j=1}^{n-1} P_j + \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,j}} . \quad (5.7)$$

Тогда общее число партий грузов, предъявляемых к перевозке,

$$N = Q/\bar{m} . \quad (5.8)$$

Соотношение между числом предъявляемых партий грузов  $N$  и ездов с грузом  $Z_e$  определяется коэффициентом

$$K = \frac{N}{Z_e} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n-1} P_j + \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,i}} . \quad (5.9)$$

Общее число ездов с грузом, которое требуется выполнить парком автомобилей за рассматриваемый период для освоения объема перевозок груза  $Q$

$$Z_e = Q/\bar{q}_e = Q/q_{\gamma c} . \quad (5.10)$$

Число ездов, которое требуется выполнить автомобилями  $j$ -й грузоподъемности, рассчитывается по формуле



$$Z_{ej} = \begin{cases} Z_e P_j K, & j \leq n - 1 \\ Z_e K \sum_{i=1}^{\infty} iP_{n,i}, & j = n. \end{cases} \quad (5.11)$$

Объем перевозок, подлежащий освоению автомобилями  $j$ -й грузоподъемности,

$$Q_j = Z_{ej} (q\gamma_{ст})_j. \quad (5.12)$$

Требуемое число автомобилей  $j$ -й грузоподъемности

$$A_j = Q_j / (D(q\gamma_{ст})_j Z_{e,cj}). \quad (5.13)$$

Общее списочное число автомобилей для освоения заданного объема перевозок

$$A_c = \sum_{j=1}^n A_j / \alpha_{вj}, \quad (5.14)$$

где  $\alpha_{вj}$  – коэффициент выпуска на линию автомобилей  $j$ -й грузоподъемности.

### 5.3 Варианты заданий

#### Исходные данные:

а) распределение размера отправок груза соответствует усеченному экспоненциальному закону с плотностью вероятностей

$$f(m) = \begin{cases} 0,1 e^{-0,1(m-5)}, & \text{при } m \geq 5; \\ 0, & \text{при } m \leq 5; \end{cases}$$

б) суточный объем перевозок выбирается из таблицы 5.1 по последней цифре номера зачетной книжки;

Таблица 5.1 – Суточные объемы перевозок

Последняя цифра номера зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Суточный объем перевозок, т	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	700	1800





в) грузоподъемность автомобилей  $q_j$ , применяемых для перевозок груза, выбирается из таблицы 5.2 по последней цифре суммы двух последних цифр номера зачетной книжки;

Таблица 5.2 – Грузоподъемность транспортных средств

Последняя цифра суммы двух последних цифр номера зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Грузоподъемность имеющихся автомобилей, т	5	9	2	6	4	8	3	5	12	5
	8	12	8	9	6	9	5	6	13	7
	15	11	12	15	9	12	7	10	16	9
	20	14	15	18	10	19	14	11	18	15

г) коэффициент использования грузоподъемности  $\gamma_{ст} = 1$ ;

д) коэффициент выпуска автомобилей на линию в рабочие дни  $\alpha_{вj} = 0,8$ ;

ж) автомобиль за сутки выполняет три ездки с грузом  $Z_{ej} = 3, j=1,2, \dots, n$ .

**Требуется:**

а) рассчитать вероятность предъявления отправок груза, для перевозки которых требуются автомобили  $j$ -й грузоподъемности;

б) определить количество ездок автомобилей  $j$ -й грузоподъемности;

в) определить оптимальную по грузоподъемности структуру парка автомобилей.

**5.4 Пример выполнения задания**

*Исходные данные:*

а) распределение размера отправок груза соответствует усеченному экспоненциальному закону с плотностью вероятностей

$$f(m) = \begin{cases} 0,1 e^{-0,1(m-5)}, & \text{при } m \geq 5; \\ 0, & \text{при } m \leq 5; \end{cases}$$

б) суточный объем перевозок  $Q_c = 1200$  т;

в) грузоподъемности автомобилей  $q_j$ , применяемых для перевозок груза,  $q_1 = 7,5$  т;  $q_2 = 14$  т;  $q_3 = 20$  т;  $q_4 = 28$  т;

г) коэффициент использования грузоподъемности  $\gamma_{ст} = 1$ ;

д) коэффициент выпуска автомобилей на линию в рабочие дни  $\alpha_{вj} = 0,8$ ;

ж) автомобиль за сутки выполняет три ездки с грузом  $Z_{ej}=3, j = 1, 2, \dots, n$ .

*Выполнение работы*

Определение вероятностей  $P_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n - 1$ ) и  $P_{ni}$ :



$$P_1 = \int_5^{7,5} 0,1e^{-0,1(m-5)} dm = 0,221;$$

$$P_2 = \int_{7,5}^{14} 0,1e^{-0,1(m-5)} dm = 0,372;$$

$$P_3 = \int_{14}^{20} 0,1e^{-0,1(m-5)} dm = 0,184;$$

$$P_{4,1} = \int_{20}^{28} 0,1e^{-0,1(m-5)} dm = 0,123;$$

$$P_{4,2} = \int_{28}^{56} 0,1e^{-0,1(m-5)} dm = 0,094;$$

$$P_{4,3} = \int_{56}^{84} 0,1e^{-0,1(m-5)} dm = 0,006;$$

$$P_{4,4} = \int_{84}^{112} 0,1e^{-0,1(m-5)} dm = 0,0004 \approx 0.$$

Учитывая, что размеры партий грузов приводятся в соответствии с грузоподъемностями автомобилей, находят:

$$\begin{aligned} \bar{m} &= \text{средний размер партий груза} \\ \bar{m} &= 0,221 \cdot 7,5 + 0,372 \cdot 14 + 0,184 \cdot 20 + 0,123 \cdot 28 + 0,094 \cdot 2 \cdot 28 + \\ &+ 0,006 \cdot 3 \cdot 28 = 19,76 \text{ т}; \end{aligned}$$

средний объем груза, перевозимого за одну езду,

$$\bar{q}_e = mK = \frac{19,76}{0,221 + 0,372 + 0,184 + 0,123 + 0,094 \cdot 2 + 0,006 \cdot 3} = \frac{19,76}{1,106} = 17,87 \text{ т};$$

грузоподъемность автомобиля по всем ездам  $\bar{q} = m_e = 17,87 \text{ т}$ , так как  $\gamma_{cj} = 1$ ;

$$\text{общее число партий груза } N = Q/\bar{m} = 1200 : 19,76 = 60,73 ;$$

общее число ездов с грузом

$$Z_e = Q/\bar{q}_e = NK = 1200 : 17,87 = 60,73 \cdot 1,106 = 67,16.$$

Число ездов с грузом автомобилей  $j$ -й грузоподъемности  $Z_{ej}$ :

$$Z_{e1} = 60,73 \cdot 0,221 = 13,42;$$

$$Z_{e2} = 60,73 \cdot 0,372 = 22,59;$$



$$Z_{e3} = 60,73 \cdot 0,184 = 11,17;$$

$$Z_{e4} = 60,73(0,123 + 2 \cdot 0,094 + 3 \cdot 0,006) = 19,98.$$

Требуемое списочное число автомобилей  $j$ -й грузоподъемности составляет ( $D = 1$ )

$$A_{cj} = \frac{Q_j}{\alpha_{Bj} D (q\gamma_{CT})_j Z_{ej}} = \frac{Z_{ej} (q\gamma_{CT})_j}{\alpha_{Bj} D (q\gamma_{CT})_j Z_{ej}} = \frac{Z_{ej}}{\alpha_{Bj} Z_{ej}}.$$

$$A_{c1} = 13,42 : (0,8 \cdot 3) = 5,6 ;$$

$$A_{c2} = 22,59 : (0,8 \cdot 3) = 9,4 ;$$

$$A_{c3} = 11,17 : (0,8 \cdot 3) = 4,7 ;$$

$$A_{c4} = 19,98 : (0,8 \cdot 3) = 8,3 .$$

Требуемое общее списочное число автомобилей для выполнения заданного объема перевозок

$$A_c = \frac{Q_c}{\alpha_B Z_{e,cj} q_e} = 5,6 + 9,4 + 4,7 + 8,3 = 28,0 : (0,8 \cdot 3 \cdot 17,87) = 28,0.$$

### Контрольные вопросы

1 Что больше: средний размер партии груза или средний размер отправки, перевозимой автомобилями?

2 Сколько параметров имеет показательный закон распределения плотности вероятности?

3 Записать формулу для определения вероятности предъявления партий грузов для освоения автомобилями заданной грузоподъемности.

4 Как связаны между собой средняя грузоподъемность автомобиля и средний размер партии груза?



## З а д а н и е № 6

### МАРШРУТИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК МЕЛКОПАРТИОННЫХ ГРУЗОВ

#### 6.1 Цель работы

Изучить методику разработки рациональных маршрутов при перевозке грузов мелкими партиями

#### 6.2 Методика выполнения работы

Задача маршрутизации перевозок мелких партий ресурсов состоит в том, чтобы найти такое множество маршрутов, на которых достигались бы минимальные издержки на транспортирование (общее минимальное расстояние перевозок, минимальное время доставки). Наиболее часто в качестве критерия оптимальности решения задачи принимается общий пробег транспортных средств

$$\sum_{j=1}^n l_{oj} = \min, \quad (6.1)$$

где  $n$  – общее число маршрутов для освоения заданных объемов перевозок ресурсов;

$l_{oj}$  – длина оборота транспортного средства на  $j$ -м маршруте, км.

При этом могут быть поставлены ограничения, зависящие от конкретных условий перевозок: число пунктов заезда, длина оборота на маршруте, время доставки ресурса с момента погрузки и др.

Решение задачи маршрутизации перевозок мелких партий ресурсов, обеспечивающей абсолютный минимум вышеуказанной целевой функции, возможно только при переборе всех возможных вариантов маршрутов. Точное решение задачи по оптимальному варианту объезда пунктов дает метод ветвей и границ, реализация которого возможна только при малом числе пунктов. Поэтому разработаны приближенные, более быстрые методы формирования маршрутов, позволяющие получать результаты, близкие к оптимальным. Наиболее распространенным из них является метод составления сборных (развозочных) маршрутов – метод Кларка-Райта. Метод ветвей и границ можно применять в качестве уточняющего метода Кларка-Райта.

Метод Кларка-Райта предусматривает совмещенное решение задачи маршрутизации перевозок по сборочным или развозочным маршрутам,

осуществляемых в общем случае парком транспортных средств различной вместимости.

Основой решения являются следующие исходные данные:

– число транспортных средств по вместимости ( $q_k, k = 1, 2, \dots, K$ , где  $K$  – общее число транспортных средств различной вместимости);

– число промежуточных пунктов ( $m$ ), в которые доставляется или из которых собирается ресурс;

– количество ресурса ( $Q_{pi}, i = 1, 2, \dots, m$ ), подлежащего завозу (вывозу) по промежуточным пунктам;

– стоимость перевозок ресурса (расстояния, время перевозок) между пунктами транспортной сети ( $c_{ij}, i = 0, 1, \dots, m; j = 0, 1, \dots, m$ ), включающими исходный и промежуточные пункты;

– различного рода ограничения: по числу промежуточных пунктов ( $n_{п}$ ), использованию вместимости транспортных средств, длине маршрута, времени оборота на маршруте и т. п.

Алгоритм одной из реализаций метода следующий:

1 Строится система маятниковых маршрутов, на каждом из которых предполагается обслуживать один пункт. Для каждого такого  $i$ -го маршрута назначается объем перевозок  $Q_i = Q_{pi}$ , число пунктов заезда  $n_i = 1$  и транспортное средство возможно минимальной вместимости, но не менее  $Q_i$ .

2 Рассчитывается выигрыш для всех возможных вариантов попарного объединения маршрутов, образованных согласно п. 1.

Выигрыш рассчитывается по формуле

$$\Delta c_{ij} = c_{Ai} + c_{Aj} - c_{ij}, \quad (6.2)$$

где  $\Delta c_{ij}$  – величина сокращения пробега транспортного средства при объединении маршрутов  $A-B_i-A$  и  $A-B_j-A$ ;

$c_{Ai}, c_{Aj}$  – расстояние перемещения от исходного пункта  $A$  соответственно до пунктов  $B_i$  и  $B_j$ ;

$c_{ij}$  – расстояние между пунктами  $B_i$  и  $B_j$ , ед.

Вариантность попарного объединения пунктов описывается треугольной матрицей, и соответственно общее число вариантов определяется выражением  $(m(m-1))/2$ , где  $m$  – число промежуточных пунктов.

3 Последовательно производится объединение маршрутов следующим образом:

1) находится максимальный выигрыш от возможного попарного объединения исходных маршрутов  $\max_{i,j} \Delta c_{ij} = c_{rs}$ , где  $r$  и  $s$  – соответственно

пункты, по которым может быть рассмотрено объединение маршрутов. Если максимальный выигрыш нулевой или отрицательный, то решение закончено;





2) оценивается возможность объединения маршрутов с учетом наличия транспортных средств необходимой вместимости и выполнения других заданных ограничений. Для этого необходимо рассчитать общий объем перевозимого ресурса как сумму ресурсов объединяемых маршрутов  $Q_T = Q_r + Q_s$ , число пунктов заезда на объединенном маршруте  $n_T = n_r + n_s$  и др. Если такое объединение невозможно ( $Q_T > \max_k q_k$ ,  $n_T \geq n_{\text{п}}$  и т. п.), то переход к п. 3.4. Иначе

формируется новый объединенный маршрут, состоящий из двух объединяемых по пунктам с найденным максимальным выигрышем. Полученный маршрут имеет вид  $A-B_r \dots -B_r-B_s \dots -B_s-A$ . Для нового маршрута определяется и назначается транспортное средство соответствующей вместимости;

3) производится корректировка текущих значений параметров в связи с объединением маршрутов:

- маршруты  $r$  и  $s$ , вошедшие в сформированный маршрут, аннулируются ( $Q_r = 0$ ;  $Q_s = 0$ );

- формируется шифр маршрута, определяемый номерами крайних пунктов (пункты  $i$  и  $j$ );

- назначается объем перевозок  $Q_{i(j)} = Q_T$  и число промежуточных пунктов заезда  $n_{i(j)} = n_T$ ;

- назначается транспортное средство, удовлетворяющее условию  $q_{i(j)} = \min q_k$  (для  $q_k \geq Q_{i(j)}$ );

- на отрицательный, например,  $-1$ , заменяется выигрыш между конечными пунктами маршрута  $i$  и  $j$  ( $\Delta c_{ij} = -1$ );

- на отрицательные заменяются выигрыши всех других пунктов с пунктом  $r$ , если  $n_r > 1$  ( $\Delta c_{rp} = -1$ ,  $p = 1, m$ ) и с пунктом  $s$ , если  $n_s > 1$  ( $\Delta c_{sp} = -1$ ,  $p = 1, m$ ), где  $m$  – число промежуточных пунктов завоза или вывоза ресурса;

- реальное значение выигрыша  $c_{rs}$  заменяется отрицательным ( $\Delta c_{rs} = -1$ ) независимо от того, состоялось формирование нового маршрута или нет;

4) перейти к п. 1).

При реализации алгоритма возможно повторное присвоение отрицательных значений одному и тому же выигрышу, что не влияет на конечный результат.

Алгоритм Кларка-Райта, как и метод маршрутизации по кратчайшей связывающей сети, не гарантирует получения оптимального варианта. Поэтому может быть рекомендовано проверять целесообразность перестановок пунктов, входящих в маршруты. При небольшом числе пунктов представляется возможным выполнить перебор всех вариантов перестановок, что может снизить значение целевой функции. Такое решение гарантирует метод ветвей и границ.

Осуществляя маршрутизацию мелкопартионных перевозок, следует сгруппировать ресурсы с учетом одновременности доставки в течение суток, недели, месяца и допустимости совместной перевозки.



Для оптимизация решений, полученных методом Кларка-Райта, можно использовать метод ветвей и границ. Алгоритм простейшей реализации метода ветвей и границ следующий:

1) принимается один из пунктов за начальный пункт ветвления, например, один из пунктов, принадлежащих звену с наибольшей длиной. Стоимость (длина) ветви у начального пункта принимается равной нулю;

2) из пункта с минимальной стоимостью ветви (текущей оценкой границы ветвления) рассматриваются возможные пути ветвления, не дающие замкнутого цикла (в ветви отсутствуют пункты с одинаковыми номерами, кроме последнего  $n$ -го шага ветвления по каждой ветви), и рассчитывается стоимость (длина) ветви; каждая ветвь на  $n$ -м шаге должна заканчиваться начальным пунктом. Стоимость ветви рассчитывается по формуле  $Z_{ji} = Z_{j,i-1} + c_i$ , где  $Z_{ji}$  и  $Z_{j,i-1}$  – соответственно оценка стоимости  $j$ -й ветви на шаге  $i$  и  $i-1$ ;  $c_i$  – стоимость звена, включаемого в путь на  $i$ -м шаге;

3) находится минимальное значение из всех рассчитанных длин ветвей дерева ветвления. Если какая-то ветвь имеет число звеньев  $n$  и минимальное значение стоимости ветви, то оптимальное решение получено, а иначе необходимо продолжать ветвление (перейти к п. 2).

Полученная ветвь с минимальным значением стоимости ветви дает решение. Длина пути определяется стоимостью ветви.

### 6.3 Варианты заданий

#### Исходные данные:

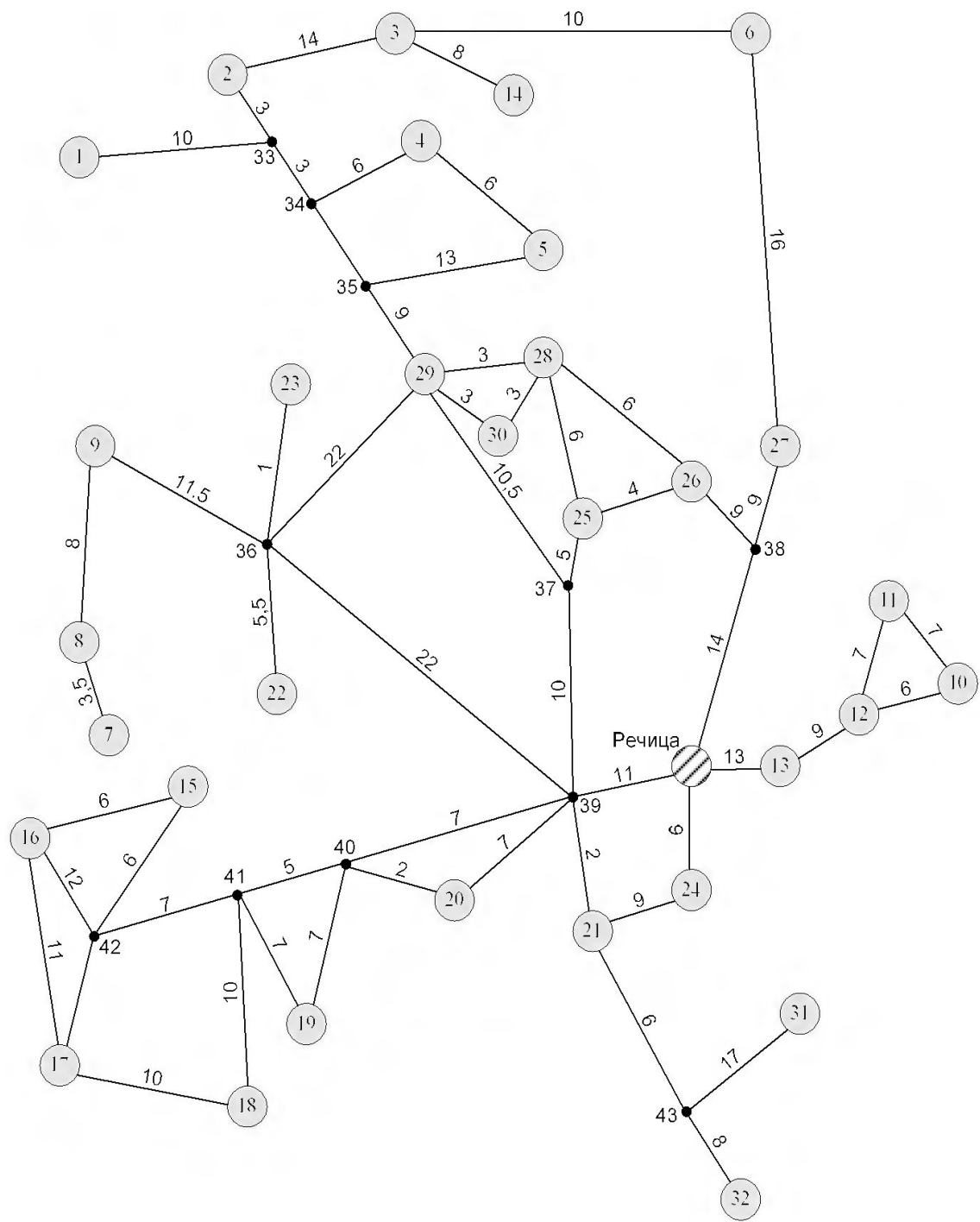
- а) транспортная сеть региона (рисунок 6.1);
- б) существующий парк автомобильных транспортных средств (таблица 6.1). Вариант выбирается по последней цифре номера зачетной книжки;

Таблица 6.1 – Грузоподъемность транспортных средств

Последняя цифра номера зачетной книжки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Грузоподъемность имеющихся автомобилей, т	5	2	1,5	0,9	1,3	2,0	1,0	0,8	1	0,7
	2	3	2,2	0,5	1,6	3,0	1,5	1,4	1,3	1,4
	1	4	3,8	1,3	2,0	4,0	2,0	2,2	1,8	2,6
	3	1	6,0	4,0	3,0	0,9	2,5	4,0	2,0	3,0

в) объемы завоза груза в пункты выгрузки (таблица 6.2). Исходные данные выбираются путем умножения приведенных в таблице 6.2 значений массы перевозимого груза на  $1, N$ , где  $N$  – последняя цифра номера зачетной книжки. Полученные значения следует округлить до десятых.





- ⊘ – пункт погрузки;
- ⊙ – пункт выгрузки;
- 5 – длина звена транспортной сети;
- – звено транспортной сети.

Рисунок 6.1 – Схема транспортной сети региона



Таблица 6.2 – Объем завозимого в пункты выгрузки груза

Пункт выгрузки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Объем груза, т	0,29	0,36	0,32	0,619	0,572	3,487	1,197	1,473	1,23	0,736	0,971
Пункт выгрузки	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Объем груза, т	0,395	0,628	3,23	0,711	0,243	0,275	0,507	0,139	0,826	0,344	1,815
Пункт выгрузки	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Объем груза, т	1,23	0,127	0,702	0,365	0,549	0,745	1,328	0,964	0,507	0,396	

**Требуется:**

- разработать маршруты доставки грузов методом Кларка-Райта;
- рассчитать технико-эксплуатационные показатели работы на одном из полученных маршрутов (маршрут задается преподавателем).

**6.4 Пример выполнения расчетов**

*Исходные данные:*

- транспортная сеть региона, представленная на рисунке 6.1;
- существующий парк автомобильных транспортных средств 4; 3; 3,7; 7,75; 11,5 т;
- объемы завоза груза в пункты выгрузки (см. таблицу 6.2).

*Выполнение работы*

Строим систему маятниковых маршрутов (таблица 6.3), на каждом из которых обслуживается один пункт.

Таблица 6.3 – Система маятниковых маршрутов

Шифр маршрута $i$	Схема $P-i-P$	Объем груза $Q_i$ , т	Число промежуточных пунктов $n_i$	Вместимость транспортного средства $q_i$ , т
1	P-1-P	0,287	1	3
2	P-2-P	0,356	1	3
3	P-3-P	0,32	1	3
4	P-4-P	0,619	1	3
5	P-5-P	0,572	1	3





Окончание таблицы 6.3

Шифр маршрута $i$	Схема Р- $i$ -Р	Объем груза $Q_i$ , т	Число промежуточных пунктов $n_i$	Вместимость транспортного средства $q_i$ , т
6	Р-6-Р	3,487	1	3,7
7	Р-7-Р	1,197	1	3
8	Р-8-Р	1,473	1	3
9	Р-9-Р	1,230	1	3
10	Р-10-Р	0,736	1	3
11	Р-11-Р	0,971	1	3
12	Р-12-Р	0,395	1	3
13	Р-13-Р	0,628	1	3
14	Р-14-Р	3,230	1	3,7
15	Р-15-Р	0,711	1	3
16	Р-16-Р	0,243	1	3
17	Р-17-Р	0,275	1	3
18	Р-18-Р	0,507	1	3
19	Р-19-Р	0,139	1	3
20	Р-20-Р	0,826	1	3
21	Р-21-Р	0,344	1	3
22	Р-22-Р	1,815	1	3
23	Р-23-Р	1,230	1	3
24	Р-24-Р	0,127	1	3
25	Р-25-Р	0,702	1	3
26	Р-26-Р	0,365	1	3
27	Р-27-Р	0,549	1	3
28	Р-28-Р	0,745	1	3
29	Р-29-Р	1,328	1	3
30	Р-30-Р	0,964	1	3
31	Р-31-Р	0,504	1	3
32	Р-32-Р	0,396	1	3



Расчёт выигрыша (таблица 6.4) для всех возможных вариантов попарного объединения маршрутов будем выполнять по формуле (6.2). Пример расчёта выигрыша приведём для пункта 1:

$$\Delta c_{12} = 63,5 + 55,5 - 12 = 107 \text{ км};$$

$$\Delta c_{13} = 63,5 + 49 - 26 = 86,5 \text{ км};$$

$$\Delta c_{14} = 63,5 + 56,5 - 19 = 101 \text{ км};$$

$$\Delta c_{15} = 63,5 + 53,5 - 25 = 92 \text{ км};$$

$$\Delta c_{16} = 63,5 + 39 - 36 = 66,5 \text{ км};$$

$$\Delta c_{17} = 63,5 + 56 - 77 = 42,5 \text{ км};$$

$$\Delta c_{18} = 63,5 + 52,5 - 73,5 = 42,5 \text{ км};$$

$$\Delta c_{19} = 63,5 + 44,5 - 65,5 = 42,5 \text{ км};$$

$$\Delta c_{110} = 63,5 + 28 - 91,5 = 0 \text{ км};$$

$$\Delta c_{111} = 63,5 + 29 - 92,5 = 0 \text{ км};$$

$$\Delta c_{112} = 63,5 + 22 - 85,5 = 0 \text{ км};$$

$$\Delta c_{113} = 63,5 + 13 - 76,5 = 0 \text{ км};$$

$$\Delta c_{114} = 63,5 + 57 - 34 = 86,5 \text{ км}.$$

Остальные расчёты выигрыша выполняются аналогично, результаты сведены в таблицу 6.4.

После расчёта выигрышей при объединении маятниковых маршрутов выполняем последовательные объединения маршрутов. Из таблицы 6.4 определяются максимальный выигрыш от возможного попарного объединения исходных маршрутов (см. таблицу 6.3) и соответственно пункты, по которым может быть рассмотрено объединение маршрутов. Таковыми являются пункты 1 и 2 ( $r = 1$  и  $s = 2$ ) с выигрышем при объединении, равным 107 (выигрыш  $\Delta c_{ij} = 107$  ненулевой). Затем оценивается возможность объединения маршрутов с учетом наличия транспортных средств необходимой грузоподъемности. Общий объем перевозимого груза в сумме составил 0,643 тонны ( $Q_T = Q_r + Q_s = Q_1 + Q_2 = 0,287 + 0,356 = 0,643$ ), число пунктов заезда на объединенном маршруте  $n_T = n_r + n_s = n_1 + n_2 = 1 + 1 = 2$ . Так как такое объединение маршрутов возможно, формируется новый объединенный маршрут P-1-2-P с найденным максимальным выигрышем. Принимаем, что значение коэффициента равно 0,99.



Таблица 6.4 – Выигрыш при объединении маятниковых маршрутов Р-і-Р и Р-ј-Р

Номер пункта транспортной сети	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
3	90,5																														
4	101	80,5																													
5	92	71,5	104																												
6	70,5	78	60,5	51,5																											
7	42,5	22	42,5	42,5	7																										
8	42,5	22	42,5	42,5	7	105																									
9	42,5	22	42,5	42,5	7	89	89																								
10	0	0	0	0	0	0	0	0																							
11	0	0	0	0	0	0	0	0	5																						
12	0	0	0	0	0	0	0	0	44	44																					
13	0	0	0	0	0	0	0	0	26	26	26																				
14	90,5	98	80,5	71,5	78	22	22	22	0	0	0	0																			
15	22	1,5	22	22	0	22	22	22	0	0	0	0	1,5																		
16	22	1,5	22	22	0	22	22	22	0	0	0	0	1,5	72																	
17	22	1,5	22	22	0	22	22	22	0	0	0	0	1,5	60	68																
18	22	1,5	22	22	0	22	22	22	0	0	0	0	1,5	46	54	60															
19	22	1,5	22	22	0	22	22	22	0	0	0	0	1,5	41	41	41	41														

Окончание таблицы 6.4

Номер пункта транспортной сети	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32		
20	22	1,5	22	22	0	22	22	22	0	0	0	0	1,5	34	34	34	34	34															
21	22	1,5	22	22	0	2	22	22	0	0	0	0	1,5	22	22	22	22	22	22														
22	42,5	22	42,5	42,5	7	66	66	66	0	0	0	0	22	22	22	22	22	22	22	22													
23	42,5	22	42,5	42,5	7	66	66	66	0	0	0	0	22	22	22	22	22	22	22	22	66												
24	6	0	6	6	0	6	6	6	0	0	0	0	0	6	6	6	6	6	6	6	10	6	6										
25	48,5	28	48,5	48,5	27	28	28	28	0	0	0	0	28	22	22	22	22	22	22	22	22	28	28	6									
26	45,5	28	45,5	45,5	28	25	25	25	0	0	0	0	28	15	15	15	15	15	15	15	15	25	25	0	45								
27	38,5	46	28,5	27,5	46	7	7	7	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	27	28							
28	57,5	37	57,5	57,5	28	37	37	37	0	0	0	0	37	19	19	19	19	19	19	19	19	37	37	3	49	46	28						
29	63	42,5	63	63	27,5	42,5	42,5	42,5	0	0	0	0	42,5	22	22	22	22	22	22	22	22	42,5	42,5	6	48,5	45,5	27,5	57,5					
30	60,5	40	60,5	60,5	28	40	40	40	0	0	0	0	40	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	40	40	3,5	49	46	28	58	60,5				
31	22	1,5	22	22	0	22	22	22	0	0	0	0	1,5	22	22	22	22	22	22	22	26	22	22	10	22	15	0	19	22	19,5			
32	22	1,5	22	22	0	22	22	22	0	0	0	0	1,5	22	22	22	22	22	22	22	26	22	22	10	22	15	0	19	22	19,5	38		
1	107	86,5	101	92	66,5	42,5	42,5	42,5	0	0	0	0	86,5	22	22	22	22	22	22	22	22	42,5	42,5	6	48,5	45,5	34,5	57,5	63	60,5	22	22	

Значение коэффициента использования грузоподъемности берется из Постановления Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 1 ноября 2002 года № 35. После расчёта выигрышей при объединении маятниковых маршрутов выполняем последовательные объединения маршрутов. Из таблицы 6.4 определяются максимальный выигрыш от возможного попарного объединения исходных маршрутов (см. таблицу 6.3) и соответственно пункты, по которым может быть рассмотрено объединение маршрутов. Таковыми являются пункты 1 и 2 ( $r = 1$  и  $s = 2$ ) с выигрышем при объединении, равным 107 (выигрыш  $\Delta c_{ij} = 107$  ненулевой).

Затем оценивается возможность объединения маршрутов с учетом наличия транспортных средств необходимой грузоподъемности. Общий объем перевозимого молока в сумме составил 0,643 тонны ( $Q_T = Q_r + Q_s = Q_1 + Q_2 = 0,287 + 0,356 = 0,643$ ), число пунктов заезда на объединенном маршруте  $n_T = n_r + n_s = n_1 + n_2 = 1 + 1 = 2$ . Так как такое объединение маршрутов возможно, формируется новый объединенный маршрут P-1-2-P с найденным максимальным выигрышем. Принимаем, что значение коэффициента равно 0,99.

В процессе корректировки текущих значений параметров в связи с объединением маршрутов получаем, что маршруты 1 и 2, вошедшие в сформированный, аннулируются ( $Q_1 = 0$ ;  $Q_2 = 0$ ) и формируется новый шифр маршрута (1-2), определяемый номерами крайних пунктов. Назначается объем перевозок  $Q_{1(2)} = Q_T = 0,643$  тонны, число промежуточных пунктов заезда  $n_{1(2)} = n_T = 2$ , а также транспортное средство, удовлетворяющее условию  $q_{1(2)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 0,643) = 3$ . На отрицательный заменяется выигрыш между конечными пунктами маршрута (таблица 6.5).

Далее по аналогичному алгоритму составляется маршрут доставки груза:

- максимальный выигрыш, равный 101 для  $r = 2$  и  $s = 4$ ;
- общий объем перевозимого груза  $Q_T = Q_{1(2)} + Q_4 = 0,643 + 0,619 = 1,262$  т;
- число пунктов заезда  $n_T = n_{1(2)} + n_4 = 2 + 1 = 3$ ;
- $Q_{1(2)} = 0$ ,  $Q_4 = 0$ ;
- $Q_{1(4)} = Q_T = 1,262$  т;
- $n_{1(4)} = n_T = 3$ ;
- $q_{1(4)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 1,262) = 3$ ;  $\gamma_{ст} = 0,42 < 0,99$ ;

- на отрицательный заменяется выигрыш между пунктами 2 и 4; получили новый объединённый маршрут P-1-2-4-P.





Таблица 6.5 – Полученные отрицательные выигрыши при объединении маятниковых маршрутов Р-*i*-Р и Р-*j*-Р

Номер пункта транспортной сети	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
3	-1																															
4	-1	-1																														
5	-1	-1	-1																													
6	-1	-1	-1	-1																												
7	-1	-1	-1	-1	-1																											
8	-1	-1	-1	-1	-1	105																										
9	-1	-1	-1	-1	-1	89	89																									
10	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0																								
11	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	5																							
12	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	44	44																						
13	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	26	26	26																					
14	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1																				
15	-1	-1	-1	-1	-1	22	22	22	0	0	0	0	-1																			
16	-1	-1	-1	-1	-1	22	22	22	0	0	0	0	-1	72																		
17	-1	-1	-1	-1	-1	22	22	22	0	0	0	0	-1	60	68																	
18	-1	-1	-1	-1	-1	22	22	22	0	0	0	0	-1	46	54	60																



Далее:

- максимальный выигрыш, равный 104 для  $r = 4$  и  $s = 5$ ;
- общий объем перевозимого молока  $Q_T = Q_{1(4)} + Q_5 = 1,262 + 0,572 = 1,834$  т;
- число пунктов заезда  $n_T = n_{1(4)} + n_5 = 3 + 1 = 4$ ;
- $Q_{1(4)} = 0$ ,  $Q_5 = 0$ ;
- $Q_{1(5)} = Q_T = 1,834$  т;
- $n_{1(5)} = n_T = 4$ ;

$$q_{1(5)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 1,834) = 3; \gamma_{ст} = 0,61 < 0,99;$$

- на отрицательный заменяется выигрыш между пунктами 4 и 5;
- получили новый объединённый маршрут Р–1–2–4–5–Р.

Далее:

- максимальный выигрыш, равный 86,5 для  $r = 1$  и  $s = 3$ ;
- общий объем перевозимого молока  $Q_T = Q_{1(5)} + Q_3 = 1,834 + 0,32 = 2,154$  т;
- число пунктов заезда  $n_T = n_{1(5)} + n_3 = 4 + 1 = 5$ ;
- $Q_{1(5)} = 0$ ,  $Q_3 = 0$ ;
- $Q_{3(5)} = Q_T = 2,154$  т;
- $n_{3(5)} = n_T = 5$ ;

$$q_{3(5)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 2,154) = 3; \gamma_{ст} = 0,72 < 0,99;$$

- на отрицательный заменяется выигрыш между пунктами 1 и 3;
- получили новый объединённый маршрут Р–3–1–2–4–5–Р.

Далее:

- максимальный выигрыш, равный 98 для  $r = 3$  и  $s = 14$ ;
- общий объем перевозимого груза  $Q_T = Q_{3(5)} + Q_{14} = 2,154 + 3,23 = 5,384$  т;
- число пунктов заезда  $n_T = n_{3(5)} + n_{14} = 5 + 1 = 6$ ;
- $Q_{3(5)} = 0$ ,  $Q_{14} = 0$ ;
- $Q_{14(5)} = Q_T = 5,384$  т;
- $n_{14(5)} = n_T = 6$ ;

$$q_{14(5)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 5,384) = 7,75; \gamma_{ст} = 0,69 < 0,99;$$

- на отрицательный заменяется выигрыш между пунктами 3 и 14;
- получили новый объединённый маршрут Р–14–3–1–2–4–5–Р.

Далее:

- максимальный выигрыш, равный 78 для  $r = 6$  и  $s = 14$ ;
- общий объем перевозимого молока  $Q_m = Q_{14(5)} + Q_6 = 5,384 + 3,487 = 8,871$  т;
- число пунктов заезда  $n_T = n_{14(5)} + n_6 = 6 + 1 = 7$ ;
- $Q_{14(5)} = 0$ ,  $Q_6 = 0$ ;
- $Q_{6(5)} = Q_T = 8,871$  т;
- $n_{6(5)} = n_T = 7$ ;



$$- q_{6(5)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 8,871) = 11,5; \gamma_{ст} = 0,77 < 0,99;$$

– на отрицательный заменяется выигрыш между пунктами 6 и 14;

– получили новый объединённый маршрут Р–6–14–3–1–2–4–5–Р.

Далее:

– максимальный выигрыш, равный 63 для  $r = 5$  и  $s = 29$ ;

– общий объем перевозимого груза  $Q_T = Q_{6(5)} + Q_{29} = 8,871 + 1,328 = 10,199$  т;

– число пунктов заезда  $n_T = n_{6(5)} + n_{29} = 7 + 1 = 8$ ;

–  $Q_{6(5)} = 0, Q_{29} = 0$ ;

–  $Q_{6(29)} = Q_T = 10,199$  т;

–  $n_{6(29)} = n_T = 8$ ;

$$- q_{6(29)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 10,199) = 11,5; \gamma_{ст} = 0,89 < 0,99;$$

– на отрицательный заменяется выигрыш между пунктами 5 и 29;

– получили новый объединённый маршрут Р–6–14–3–1–2–4–5–29–Р.

Далее:

– максимальный выигрыш, равный 60,5 для  $r = 29$  и  $s = 30$ ;

– общий объем перевозимого груза  $Q_T = Q_{6(29)} + Q_{30} = 10,199 + 0,964 = 11,163$  т;

– число пунктов заезда  $n_T = n_{6(29)} + n_{30} = 8 + 1 = 9$ ;

–  $Q_{6(29)} = 0, Q_{30} = 0$ ;

–  $Q_{6(30)} = Q_T = 11,163$  т;

–  $n_{6(30)} = n_T = 9$ ;

$$- q_{6(30)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 11,163) = 11,5; \gamma_{ст} = 0,97 < 0,99;$$

– на отрицательный заменяется выигрыш между пунктами 29 и 30;

– получили новый объединённый маршрут Р–6–14–3–1–2–4–5–29–30–Р.

Далее:

– максимальный выигрыш, равный 58 для  $r = 28$  и  $s = 30$ ;

– общий объем перевозимого груза  $Q_T = Q_{6(30)} + Q_{28} = 11,163 + 0,745 = 11,908$  т;

– число пунктов заезда  $n_T = n_{6(30)} + n_{28} = 9 + 1 = 10$ ;

–  $Q_{6(30)} = 0, Q_{28} = 0$ ;

–  $Q_{6(28)} = Q_T = 11,908$  т;

–  $n_{6(28)} = n_T = 10$ ;

$$- q_{6(28)} = \min_k q_k (q_k \geq Q_{i(j)} = 11,908) = 11,5 - \underline{\text{условие не выполняется.}}$$

На этом создание объединённого маршрута прекращается, так как максимальная грузоподъемность автомобиля меньше общего объема перевозимого молока ( $11,5 < 11,9$ ). Следовательно, прошлая итерация была последней, а полученный маршрут имеет вид Р–6–14–3–1–2–4–5–29–30–Р с девятью пунктами заезда. Общий объем перевозимого груза  $Q_T = 11,163$  т, а длина полученного маршрута равна сумме кратчайших расстояний между пунктами транспортной сети, входящими в полученный маршрут:

$$\begin{aligned} L_{общ} &= l_{p-6} + l_{6-14} + l_{14-3} + l_{3-1} + l_{1-2} + l_{2-4} + l_{4-5} + l_{5-29} + l_{29-30} + l_{30-p} = \\ &= 39 + 18 + 8 + 26 + 12 + 11 + 6 + 22 + 3 + 32 = 177 \text{ км.} \end{aligned}$$



Остальные маршруты доставки груза, полученные при помощи метода Кларка-Райта, выполняются аналогично. Результаты приведены в таблице 6.6.

**Таблица 6.6 – Полученные маршруты доставки груза**

Номер маршрута	Шифр маршрута	Объем груза $Q_i$ , т	Число пунктов заезда	Длина маршрута, км	Грузо-подъемность автомобиля, т
1	P-30-29-5-4-2-1-3-14-6-P	11,163	9	177	11,5
2	P-27-26-28-25-22-8-7-9-23-P	9,306	9	176	11,5
3	P-10-12-11-13-P	2,73	4	70	3,7
4	P-20-18-17-16-15-19-21-31-32-24-P	4,072	10	202	7,75
Итого	4 маршрута	27,271	32	625	-

### **Контрольные вопросы**

1 Как определяется сокращение пробега автотранспортного средства при объединении двух маятниковых маршрутов в сборный или развозочный?

2 Указать возможные ограничения, которые могут иметь место при составлении сборно-развозочных маршрутов.





## З а д а н и е № 7

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПО ГРАФИКУ**

#### **7.1 Цель работы**

Изучить методику разработки графиков движения автомобилей.

#### **7.2 Методика выполнения работы**

Эффективность всего транспортного процесса зависит от согласования работ, выполняемых на объектах завоза и вывоза грузов. Поэтому необходимо заранее проектировать очередность выполнения входящих в него операций, начиная с момента заказа на перевозку груза, подлежащего дальнейшей перевозке автомобильным транспортом.

План выполнения работ удобно представлять в виде графика, который дает наглядное изображение технологической последовательности операций, определяет связи между участвующими в технологическом процессе исполнителями и позволяет установить оптимальную последовательность выполнения работ, обеспечивающую возможно наименьшие общие затраты времени. Графиком обеспечивается согласованная работа взаимодействующих транспортных и погрузо-разгрузочных средств. Подобные графики можно построить для любого числа автомобилей и использовать их для составления расписания движения.

Разработка графиков движения автомобилей является заключительным этапом в организации работы транспортных средств. Графики работы подвижного состава на маршрутах должны отражать все элементы процесса перемещения груза во времени и пространстве (груженный пробег, порожний пробег, нулевые пробеги, погрузку, выгрузку).

Организацией движения грузов автомобилями по расписанию и часовым графикам занимается служба оперативного управления. Она целесообразна при наличии устойчивого грузопотока и маршрутов на перевозку. Существует специальный раздел математики (теория расписания), в котором в общем виде ставится задача и предлагается аппарат для решения данной задачи.

Расписание движения транспортных средств представляет собой табличную форму описания пунктов на маршруте следования транспортных средств с указанием выделенных отметок в самом общем случае о времени прибытия и отправления транспортных средств на конкретный пункт следования.

В отличие от расписания график движения автомобилей представляет собой графическую форму представления организации движения транспортных средств на маршруте, при этом по оси абсцисс откладываются временные значения, по оси ординат – пункты, входящие в данный маршрут.

Графики строятся в соответствии со схемой маршрута и нормами на погрузочно-выгрузочные операции в соответствии с постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь № 35 от 1.10.2002 (приложение А). Движение изображается наклонными линиями, а простой – горизонтальными. Характер движения с грузом, без груза или простой отображается принятыми условными обозначениями.

Для построения графика первоначально определяют суммарную продолжительность подготовительных работ к выгрузке и заключительных операций. Кроме того, необходимо установить время, затрачиваемое на движение автомобиля до грузополучателя и обратно.

В реальных условиях движение автомобиля нередко отклоняется от графика, составленного по средним значениям технических скоростей и времени простоя, поскольку техническая скорость и время простоя под погрузкой и разгрузкой зависят от большого числа факторов. Поэтому при планировании перевозок важно заранее определить возможные отклонения и проанализировать факторы, их определяющие. Учет случайных факторов при разработке графиков и расписаний позволяет уменьшить потери вследствие несогласованной работы подвижного состава и погрузочно-разгрузочных средств, более обоснованно разрабатывать задания водителям и оценивать степень их выполнения.

Для составления технически обоснованного расписания используются:

- 1) контрольные поездки. Их цель:
  - выяснить продолжительность характерных для данного маршрута операций погрузки, выгрузки, подготовки документов и др.;
  - определить участковые и средние скорости по маршруту для данного вида подвижного состава;
- 2) аналитический расчет: принимается во внимание время свершения операций в пунктах на маршруте и выполненная последняя контрольная езда;
- 3) комбинированный способ;
- 4) корректировка: принимается во внимание пропускная способность конкретного пункта на маршруте, т.е. проверяется условие соответствия наличной пропускной способности промежуточного пункта по обслуживанию транспортных средств с полученной на основе графика или расписания.

На изолированных маятниковых и кольцевых маршрутах регулярность прибытия автомобилей на пункты погрузки и разгрузки обеспечивается в первую очередь ритмичностью работы погрузочно-разгрузочных пунктов. Графики должны предусматривать ритмичную подачу подвижного состава под погрузку и разгрузку с учетом перерывов в работе, кроме того, переры-



вы на обед, которые планируются в зависимости от продолжительности работы водителей и последовательности расположения пунктов совершения операций на маршруте.

Зная очередность выполнения езды каждым автомобилем и моменты погрузки, легко составить график их работы. Для удобства при построении графика целесообразно на оси времени отметить интервалы, кратные времени погрузки автомобилей. На заключительном этапе вместо нулевого пробега отмечают фактическое время прибытия автомобиля на погрузку и соответственно смещают ось времени. Кроме того, график корректируют с учетом перерывов в работе водителей и погрузочного пункта.

При помощи графиков могут быть определены как интервальные (временные) параметры, так и скоростные (участковая, техническая, ходовая скорости). При помощи графиков движения планируется интервал поступления подвижного состава под погрузку и выгрузку, который должен быть равен периоду работы погрузочно-разгрузочного пункта, т.е. интервал подачи подвижного состава под погрузку или выгрузку должен быть больше или равен времени погрузки или выгрузки.

Организация работы подвижного состава по графику в общем заключается в его прибытии в пункты погрузки-разгрузки в строго установленное время. Часовой график разрабатывается на автотранспортное предприятие и согласуется с отправителями и получателями груза.

Преимущества работы по часовому графику:

- организация равномерной работы погрузочно-разгрузочных механизмов;
- достигается своевременная подготовка к приему и выдаче грузов, кроме того, повышается производительность подвижного состава за счет уплотнения рабочего дня, сокращения простоя под погрузкой и разгрузкой.

Соблюдение графиков и расписаний движения автомобилей позволяет свести к минимуму простои автотранспортных средств и погрузочно-разгрузочных механизмов вследствие несогласованной их работы.

Часовые графики составляются, как правило, для однородных и мощных строительных грузопотоков.

### **7.3 Варианты заданий**

**Исходные данные:** в качестве исходных данных рекомендуется принять один из маршрутов, полученных в работе № 6.

**Требуется:**

- а) определить время на выполнение езды автомобилем;
- б) составить график работы автомобиля на маршруте (см. таблицу 6.6).

### **7.4 Пример выполнения задания**

*Исходные данные:*

- время простоя под погрузкой (приложение А);
- длина оборота автомобиля на каждом маршруте (таблица 6.6, рисунок 6.1);
- среднетехническая скорость движения автомобиля (таблица А.3, расчетная



норма пробега автомобиля, км/ч);

- количество груза, перевозимого за одну езду на маршруте (таблица 6.6);
- время разгрузки автомобилей (приложение А);
- количество груза, поставляемого потребителям (таблица 6.2).

#### *Выполнение работы*

Автомобиль грузоподъемностью 3,7 т (таблица 6.6) в 6:00 выезжает из п. Р. Расстояние от п. Р до п. 10 составляет 28 км (рисунок 6.1). Это расстояние по городским дорогам автомобиль пройдет за  $28 / 25 = 1,12$  ч. В п. 10 автомобиль прибудет в  $6 + 1,12 = 7,12$  ч. В п. 10 автомобиль пройдет два взвешивания, затратив на это (таблица А.2)  $2 \cdot 4 = 8$  мин. А также время на заезд 9 мин (таблица А.2). В данном пункте загружается 0,736 т груза (таблица 6.3). На это тратится (таблица А.1)  $29,4 \cdot 0,736 = 21,6$  мин. Тогда автомобиль выедет из п. 10 в  $7,12 + 8 / 60 + 9 / 60 + 21,6 / 60 = 7,76$  ч. После этого автомобиль направляется в п. 12 (таблица 6.6), пробег при этом равен 6 км (рисунок 6.1). Общий объем транспортной работы  $6 \cdot 0,736 = 4,4$  т·км. Норма времени на 1 т·км (выражение А.1)

$$H_{вр} = \frac{60}{25 \cdot 3,7 \cdot 1} = 0,7 \text{ мин.}$$

Тогда время, необходимое на выполнение этой ездки,  $0,7 \cdot 4,4 = 3,1$  мин, т.е. автомобиль прибудет в п. 12 в  $7,76 + 3,1 / 60 = 7,81$  ч. В п. 12 автомобиль пройдет два взвешивания, затратив на это (таблица А.2)  $2 \cdot 4 = 8$  мин, а также время на заезд 9 мин (таблица А.2). В данном пункте загружается 0,395 т груза (таблица 6.3). На это тратится (таблица А.1)  $29,4 \cdot 0,395 = 11,6$  мин. Тогда автомобиль выедет из п. 12 в  $7,81 + 8 / 60 + 9 / 60 + 11,6 / 60 = 8,3$  ч. После этого автомобиль направляется в п. 11 (таблица 6.6), пробег при этом равен 7 км (рисунок 6.1). Общий объем транспортной работы  $7 \cdot (0,736 + 0,395) = 7,9$  т·км. Тогда время, необходимое на выполнение этой ездки,  $0,7 \cdot 7,9 = 5,5$  мин, т.е. автомобиль прибудет в п. 12 в  $8,3 + 5,5 / 60 = 8,4$  ч. Аналогичные действия выполняются для всех пунктов, входящих в рассматриваемый маршрут.

Пример графика работы грузового автомобиля приведен на рисунке 7.1.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие преимущества имеет работа автомобилей по графику?
- 2 Приведите примеры графиков движения автомобиля на маятниковом и на кольцевом маршрутах.
- 3 Какому условию должна соответствовать согласованная работа автотранспортных средств и погрузочно-разгрузочных пунктов?
- 4 Какие факторы влияют на требуемое общее число автомобилей для перевозки грузов? Напишите формулу расчета числа автомобилей.





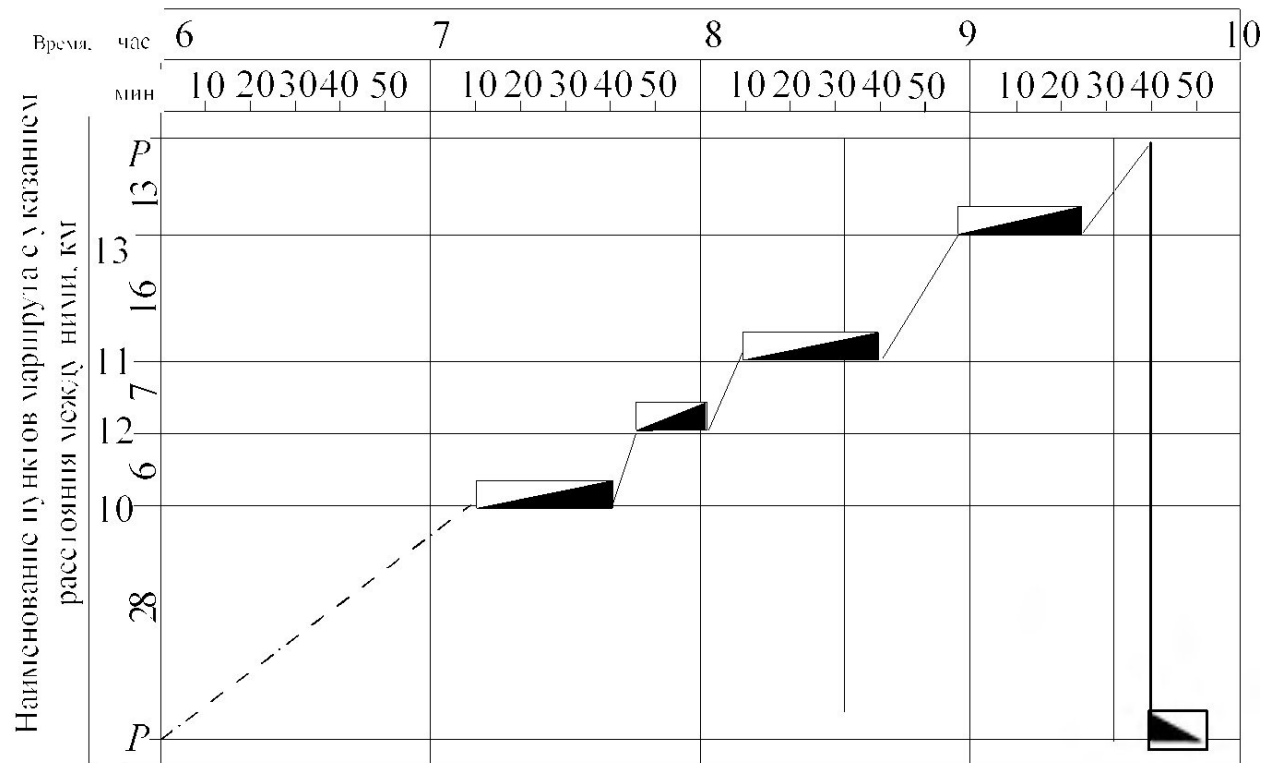






Рисунок 7.1 – Пример графика работы автомобилей на сборном маршруте:

-  – движение автомобиля с грузом;
-  – нулевой пробег;
-  – простой под погрузкой, заезд, взвешивание;
-  – простой под выгрузкой

## З а д а н и е № 8

### ВЫБОР АВТОМОБИЛЕЙ-ТЯГАЧЕЙ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ

#### 8.1 Цель работы

Изучить методику выбора автомобилей-тягачей для перевозки тяжеловесных грузов.

#### 8.2 Методика выполнения работы

Основным критерием выбора тягача для буксирования тяжеловесного прицепа является сила тяги на крюке, которая должна быть больше суммарного сопротивления движению тяжеловесного прицепа с грузом в тяжелых дорожных условиях (при движении на подъем).

Сила тяги на крюке из условия сцепления ведущих колес с поверхностью качения при установившемся движении (без учета силы сопротивления воздуха)

$$P_{\text{фкр}} = \varphi G_{\text{сц}} - \psi G_{\text{т}}, \quad (8.1)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления ведущих колес автомобиля-тягача с поверхностью качения;

$G_{\text{сц}}$  – сцепная масса автомобиля-тягача, т.е. масса, приходящаяся на ведущие колеса тягача в статическом положении;

$\psi$  – коэффициент суммарного сопротивления дороги;

$G_{\text{т}}$  – полная масса автомобиля-тягача (с полной загрузкой или балластом).

Если все колеса автомобиля-тягача являются ведущими, то

$$G_{\text{сц}} = G_{\text{т}}, \text{ а } P_{\text{фкр}} = (\varphi - \psi)G_{\text{т}}.$$

Таким образом, для выбора автомобиля-тягача по критерию силы тяги необходимо располагать достоверными данными о коэффициенте сцепления  $\varphi$  и суммарного сопротивления дороги  $\psi = f + i$ , где  $f$  – коэффициент сопротивления качению колеса по дороге;  $i$  – коэффициент сопротивления подъему).

Сила сопротивления дороги движению прицепа с грузом

$$P_{\psi\text{пр}} = \psi G_{\text{пр}}, \quad (8.2)$$

где  $G_{\text{пр}}$  – полный вес прицепа (полуприцепа).

Условие выбора тягача по силе тяги на крюке имеет вид:

а) для полноприводного автомобиля-тягача

$$G_{\text{т}} > G_{\text{пр}} \frac{\psi}{\varphi - \psi}; \quad (8.3)$$

б) для неполноприводного

$$G_{\text{т}} > G_{\text{пр}} \frac{\psi}{K_{\text{сц}}\varphi - \psi}, \quad (8.4)$$

где  $K_{\text{сц}}$  – коэффициент сцепной массы автомобиля-тягача,  $K_{\text{сц}} = \frac{G_{\text{сц}}}{G_{\text{т}}}$ .

При больших значениях коэффициента сцепления ведущих колес автомобиля с поверхностью качения (особенно если в качестве тягачей используются автомобили высокой проходимости) максимальная величина силы тяги на крюке может быть ограничена тяговыми возможностями двигателя и трансмиссией автомобиля. В этом случае необходимо проверить достаточность силы тяги по двигателю при установившемся движении исходя из условия

$$P_{\text{кр}} > \psi G_{\text{пр}}, \quad (8.5)$$

где  $P_{\text{кр}}$  – сила тяги на крюке автомобиля-тягача по двигателю;

$$P_{\text{кр}} = P_{\text{к}} - \psi G_{\text{т}}. \quad (8.6)$$

Полная сила тяги, подводимая к ведущим колесам автомобиля-тягача на каждой передаче,

$$P_{\text{к}} = \frac{M_{\text{е}} i_{\text{к}} i_{\text{д}} i_{\text{о}} \eta_{\text{тр}}}{r_{\text{д}}}, \quad (8.7)$$

где  $M_{\text{е}}$  – вращающий момент двигателя автомобиля-тягача;

$i_{\text{к}}, i_{\text{д}}, i_{\text{о}}$  – передаточные числа соответственно коробки передач, дополнительной коробки и главной передачи;

$\eta_{\text{тр}}$  – механический КПД трансмиссии автомобиля-тягача;

$r_{\text{д}}$  – динамический радиус колес.

С учетом формул (8.5) – (8.7) условия достаточности силы тяги записываются следующим образом:



$$P_k > \psi(G_T + G_{\text{пр}})g \text{ или } \frac{M_e i_{\text{к}} i_{\text{д}} i_{\text{о}} \eta_{\text{тр}}}{r_{\text{д}}} > \psi(G_T + G_{\text{пр}}), \quad (8.8)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения.

Другим критерием при выборе автомобилей-тягачей для буксирования прицепов-тяжеловозов является мощность двигателя  $N_e$ , необходимая для обеспечения требуемой скорости движения автопоезда в заданных дорожных условиях. Определить ее можно из мощностного баланса автопоезда для случая установившегося движения с максимальной скоростью (на участках дороги, где она допустима):

$$N_e = \frac{\psi(G_{\text{пр}} + G_T)v_{\text{max}} + kFv_{\text{max}}^3}{10^3 \eta_{\text{тр}}}, \quad (8.9)$$

где  $v_{\text{max}}$  – максимальная скорость движения автопоезда, м/с;

$k$  – фактор сопротивления воздуха, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;

$F$  – площадь лобового сопротивления автомобиля, м<sup>2</sup>.

Максимальная скорость движения автопоезда с прицепом-тяжеловозом ограничена конструктивными возможностями прицепа и имеет небольшую величину.

Найденное значение требуемой мощности необходимо проверить по условию движения автопоезда с минимально допустимой скоростью движения  $v_{\text{min}}$  на участках дороги с большим сопротивлением

$$N_e = \frac{\psi_{\text{max}}(G_{\text{пр}} + G_T)v_{\text{min}}}{10^3 \eta_{\text{тр}}}, \quad (8.10)$$

где  $\psi_{\text{max}}$  – коэффициент суммарного сопротивления участков дороги с наибольшим сопротивлением, на которых автопоезд будет двигаться с минимальной скоростью.

Из выражения (8.9) можно найти возможную при данной мощности максимальную скорость движения автопоезда на горизонтальных участках дороги.

При организации эксплуатации автопоездов необходимо принимать во внимание их маневренные свойства, характеристикой которых является форма и размеры габаритной полосы криволинейного движения.

### 8.3 Варианты заданий

#### Исходные данные:

а) масса прицепа с грузом и коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью (таблица 8.1). Вариант принимается по последней цифре номера зачетной книжки;



б) максимальное суммарное дорожное сопротивление (таблица 8.2). Вариант принимается по последней цифре суммы двух последних цифр номера зачетной книжки;

**Таблица 8.1 – Масса прицепа с грузом и коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью**

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Масса прицепа, т	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Коэффициент сцепления шин с дорогой	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,24	0,25	0,23	0,22	0,21

**Таблица 8.2 – Максимальное суммарное дорожное сопротивление**

Номер варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Суммарное дорожное сопротивление	0,055	0,057	0,059	0,061	0,063	0,065	0,067	0,069	0,071	0,073

в) механический коэффициент полезного действия трансмиссии принять предварительно равным 0,8;

г) фактор сопротивления воздуха –  $1,2 \text{ Нс}^2/\text{м}^4$ ;

д) минимально допустимая скорость движения автопоезда равна 10 км/ч;

е) максимально возможная скорость движения автопоезда 40 км/ч.

**Требуется:**

а) изучить методику выбора автомобиля-тягача для буксировки тяжеловесного прицепа;

б) выполнить подбор автомобиля-тягача для буксировки тяжеловесного прицепа исходя из достаточности мощности двигателя и силы тяги на крюке;

в) определить марку и модель транспортного средства для буксировки тяжеловесного прицепа.

**8.4 Пример выполнения задания**

*Исходные данные:*

а) масса прицепа с грузом равна 25 т, коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью равен 0,22;

б) максимальное суммарное дорожное сопротивление равно 0,055;

в) механический коэффициент полезного действия трансмиссии принять предварительно равным 0,8;

г) фактор сопротивления воздуха –  $1,2 \text{ Нс}^2/\text{м}^4$ ;

д) минимально допустимая скорость движения автопоезда равна 10 км/ч;





е) максимально возможная скорость движения автопоезда 45 км/ч.

*Выполнение работы.* Проверим автомобиль-тягач КрАЗ-255Б. Основные характеристики данного автомобиля приведены в приложении Б.

По условию достаточности мощности двигателя для движения с максимальной скоростью (выражение (8.10))

$$N_e = \frac{0,055 \cdot (25000 + 11950) \cdot 45 + 1,2 \cdot 45^3}{10^3 \cdot 0,8} = 251 \text{ кВт} < 270.$$

По условию достаточности мощности двигателя для движения с минимально допустимой скоростью движения на участках дороги с большим сопротивлением (на 10 % больше, чем при движении в нормальных условиях (выражение (8.10)):

$$N_e = \frac{0,055 \cdot 1,1 \cdot (25000 + 11950) \cdot 10}{10^3 \cdot 0,8} = 28 \text{ кВт} < 270.$$

Таким образом, мощности двигателя данного тягача достаточно для движения с необходимыми скоростями.

Проверим автомобиль-тягач КрАЗ-255Б по достаточности силы тяги на крюке (выражение (8.3)):

$$11950 > 25000 \cdot \frac{0,055}{0,22 - 0,055} \cdot 11950 > 8333.$$

Таким образом, силы тяги на крюке данного тягача достаточно для буксирования полуприцепа массой 25 т.

Проверим автомобиль-тягач КрАЗ-255Б по достаточности силы тяги (выражение (8.8)):

$$\frac{710 \cdot 5,26 \cdot 2,28 \cdot 1,6 \cdot 0,8}{0,7} > 0,055 \cdot (11950 + 25000) \cdot 15570 > 2032.$$

Таким образом, силы тяги данного тягача достаточно для буксирования полуприцепа массой 25 т.

### **Контрольные вопросы**

1 Что является основным критерием при выборе тягача для буксировки тяжеловесного прицепа?

2 Записать условие возможности движения тяжеловесного автомобильного поезда по сцеплению ведущих колес тягача с дорогой.

3 Записать условие возможности движения тяжеловесного автомобильного поезда по максимальному крутящему моменту двигателя.

4 Какой должна быть мощность двигателя автомобиля-тягача для буксировки тяжеловесного прицепа?