

# АНАЛИЗ РАБОТЫ АВТОМОБИЛЕЙ В МАЛЫХ СИСТЕМАХ

## Общие положения малых систем

Малые системы, где непосредственно выполняются перевозки грузов, и вырабатывается транспортная продукция, исходя из особенностей функционирования в них транспортных средств и описания таких систем, следует подразделить на системы, где перевозки осуществляются на большие расстояния (более 50 км) и системы со сравнительно короткими величинами ездов.

Перевозки на большие расстояния (междугородные, межобластные, межреспубликанские), имеющие общее название – магистральные, обладают рядом существенных особенностей, не свойственных городским или пригородным перевозкам.

Для магистральных перевозок характерно применение автопоездов широкой специализации, имеющих различные эксплуатационные свойства, и, как следствие, разные скорости движения, что свидетельствует о неодинаковой степени соответствия их конкретным условиям эксплуатации.

Эксплуатация на магистральных линиях связана с более сложной организацией работы водителей, координацией движения автопоездов, работой погрузочно-разгрузочных пунктов и техническим обслуживанием, при этом необходимо учитывать также систему организации движения – сквозную или участковую.

Кроме того, транспортные средства могут выполнять перевозки в системах, которые функционируют по-разному в течение суток (в одну, две смены или круглосуточно), в то время как малые системы в городах, в подавляющем большинстве, работают в одну смену.

Если магистральные перевозки организованы для освоения устойчивых грузопотоков на специально оборудованных междугородных или международных трассах, то в оперативном плане эта трасса не перепланируется, а может изменяться только количество перевозимого груза. В городских же условиях оперативно могут изменяться: конфигурация маршрутов, их протяженность, состав и количество груза, а следовательно, и клиентура, обладающая определенными средствами и способами производства погрузочно-разгрузочных работ.

Таким образом, общим для них является только то, что может быть одинаковой конфигурация маршрутов и число автомобилей, которое составляет больше единицы. Наличие особенностей в организации работы и условиях эксплуатации указывает, что такие системы должны исследоваться отдельно, и магистральные перевозки представляют собой самостоятельную область научного интереса, для которой еще не имеется точной теории грузовых перевозок.

Малые системы, относящиеся к городским условиям эксплуатации, общая формулировка которых предложена в классификации транспортных систем, в свою очередь, следует подразделять на насыщенные и ненасыщенные.

Под насыщенной системой понимается такая, в которой пропускная способность погрузочных и разгрузочных пунктов обеспечивается определенной группой автомобилей, и добавление в такую систему еще одного автомобиля (автопоезда) приводит к образованию очередей транспортных средств на обслуживание в одном из грузоперерабатывающих пунктов. Для такой системы момент насыщения определяется из условия равенства интервала движения  $J$  ритму выполнения погрузочных или разгрузочных работ  $R$ . Кроме того, для малых систем в городских условиях характерно, что каждый автомобиль за время ее функционирования может выполнить несколько ездов.

Другим видом насыщенной системы является такая, где автомобили выполняют перевозки грузов на большие расстояния и за время работы системы каждый автомобиль может выполнить не более одной ездки. В такой системе момент насыщения происходит тогда, когда очередному выпускаемому на линию автомобилю не хватает времени для исполнения обязательных операций ездки: погрузки, движения с грузом и разгрузки.

Ненасыщенной системой считается такая, где возможности погрузочных и разгрузочных пунктов и потребность системы в объемах перевозок превышают суммарную выработку автомобилей, выполняющих доставку грузов в системе в данный момент времени. И если в такую систему добавить еще один автомобиль, то это не вызовет образования очереди транспортных средств. Для них характерно свойство  $J > R$ .

При анализе влияния технико-эксплуатационных показателей на эффективность малых систем используются принципы и понятия реальных транспортных систем, которые состоят из совокупности реальных объектов, включая связи между ними, в действительности имеют место и используются для выполнения перевозок грузов на определенной территории. Маршруты, по которым осуществляется доставка грузов в малых системах, представляют собой все виды маятниковых и кольцевых, но в отличие от рассмотренных здесь работает несколько автотранспортных средств.

Некоторое абстрагирование от реального процесса заключается в том, что изменение величины технико-эксплуатационных показателей задается исследователем в диапазоне, необходимом для выявления характера закономерности, которого в реальной системе может и не быть. Кроме того, следует помнить, что в целях сопоставимости результатов исследования используется метод цепных подстановок, который сам вызывает отклонения от реального протекания транспортного процесса.

## 5.2. Закономерности протекания транспортного процесса в малых ненасыщенных системах при изменении ТЭП работы автомобилей.

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Простейшим примером ненасыщенной системы является маятниковый маршрут с обратным не груженым пробегом, имеющим в пунктах погрузки и разгрузки по одному грузовому посту. Для рассмотрения влияния ТЭП на величину выработки автомобилей и на эффективность системы в целом воспользуемся следующими исходными параметрами:

$T_c = 8$  ч;  $q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ;  $V_T = 20$  км/ч;  $l_{ге} = 15$  км;  $\beta = 0,5$ ; время погрузки  $t_{п}$  и разгрузки  $t_{в}$  по 0,5 ч; количество автомобилей, которое может быть представлено для выполнения перевозок грузов в данной системе  $Aэ = 4$ .

Для устранения образования первоначальной очереди в грузовых пунктах выпуск автомобилей должен осуществляться в соответствии с  $R_{max}$ . Для рассматриваемого случая  $R_{max} = t_{п} = t_{в}$ . кроме того, необходимо учитывать, что предельное время нахождения автомобиля в системе  $T_{мi}$  определяется моментом окончания работы разгрузочного пункта и для всех автомобилей возникает одновременно (рис. 5.1).

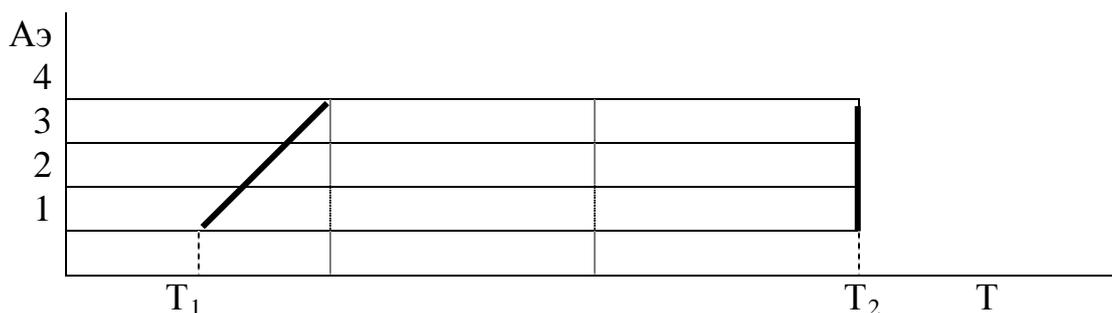


Рис. 5.1. Максимально возможная продолжительность нахождения на маршруте каждого автомобиля.

Максимальное время нахождения в системе первого автомобиля может равняться  $T_c$ , каждого последующего

$$T_{мi} = T_c - t_{п} (i-1) \quad (5.1)$$

где  $i$  – порядковый номер входящего в систему автомобиля.

Таблица 5.1. – продолжительность нахождения автомобилей в системе

Порядковый номер автомобиля	1	2	3	4
Время нахождения в системе, ч	8	7,5	7,0	6,5

Исходя из полученных данных  $T_{мi}$  (табл. 5.1), произведен расчет числа ездов каждого автомобиля. При расчете с позиций дискретности учитывалось, что за остаток времени  $\Delta T_{мi}$

$$Z_{ei}' = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{\Delta T_{mi}}{t_{пв} + \frac{l_{ze}}{V_T}} \geq 1 \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5.2)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. – Количество ездов в системе при изменении  $V_T$

$V_T$ , км/ч	По теории				$\Sigma Ze$ , ед.	С учетом дискретности				$\Sigma Ze_{ф}$ , ед.
	Число ездов автомобиля					Число ездов автомобиля				
	1	2	3	4		1	2	3	4	
20	3,2	3,0	2,8	2,6	11,6	3	3	3	2	11
22	3,38	3,18	2,97	2,75	12,28	3	3	3	3	12
24	3,55	3,33	3,11	2,89	12,88	3	3	3	3	12
26	3,72	3,49	3,25	3,02	13,48	4	3	3	3	13
28	3,86	3,62	3,38	3,14	14,00	4	3	3	3	13
30	4,0	3,75	3,50	3,25	14,5	4	4	3	3	14

Для того, чтобы доказать, что, например, при скорости 20 км/ч не может получиться  $\Sigma Ze = 11,6$ , построим график работы автомобилей на данном маршруте, учитывая, что время оборота  $t_0 = 2,5$  ч.

Данные графика (рис. 5.2) показывают, что все автомобили могут выполнить только целое число ездов в системе, а не дробное, как следует из теоретического расчета. Четвертому автомобилю не хватает времени на выполнение третьей ездки, так как он может прибыть в пункт разгрузки почти к его закрытию.

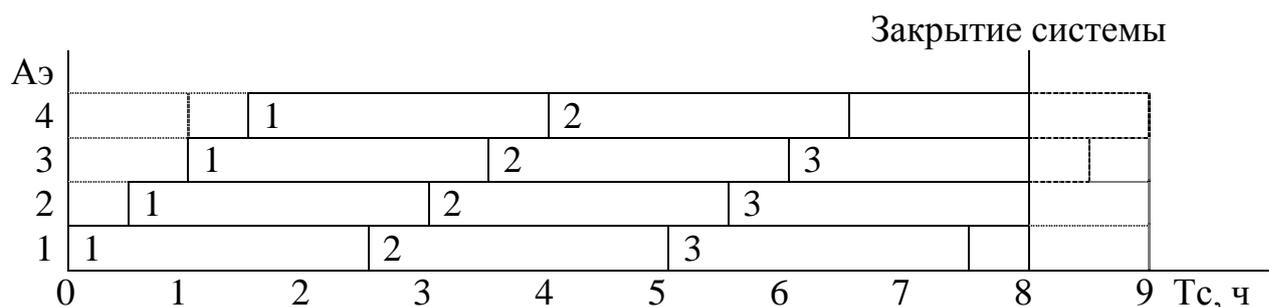
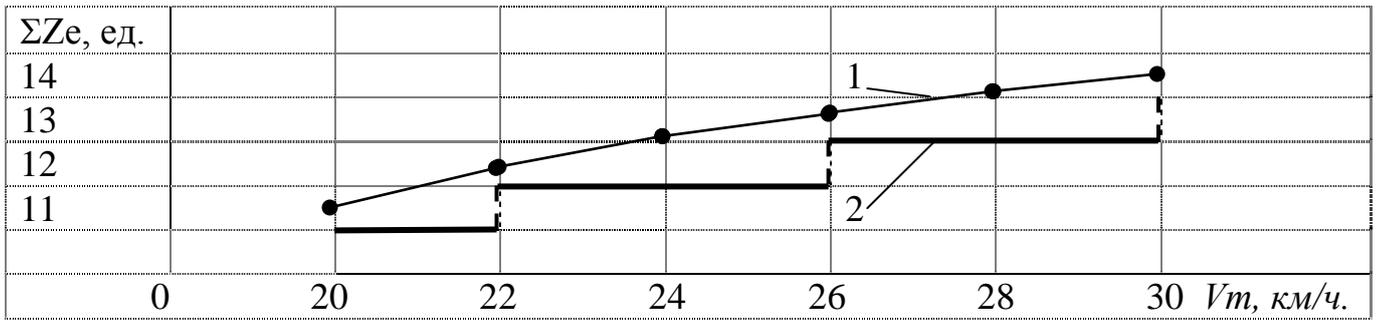


Рис. 5.2. График работы автомобилей при скорости  $V_T = 20$  км/ч.

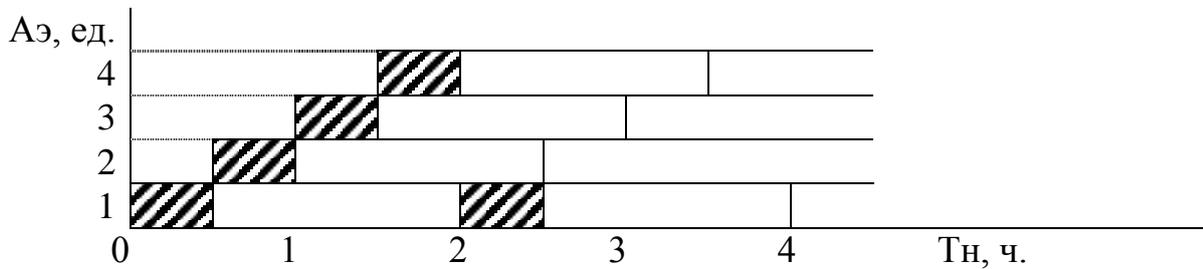
По данным табл. 5.2. построен график (рис. 5.3), показывающий изменение числа ездов в ненасыщенной системе при росте  $V_T$ .



1 – по действующей теории; 2 – с учетом дискретности.

Рис. 5.3. – Закономерность изменения эффективности малой ненасыщенной системы в зависимости от  $V_m$ .

После достижения скорости  $V_T = 30 \text{ км/ч}$  система становится насыщенной, т.к. интервал движения в этих условиях равен ритму погрузочно-разгрузочных работ, в которой, как это будет видно из дальнейшего изложения, проявляются несколько другие закономерности.



- Погрузка автомобиля

Рис. 5.4. – График работы автомобилей при скорости  $V_m = 30 \text{ км/ч}$ .

Приведенный график (рис. 5.4) показывает, что прибытие первого автомобиля на повторную загрузку происходит в момент окончания обслуживания четвертого автомобиля. Поэтому дальнейшее увеличение интенсивности эксплуатации за счет роста скорости приведет к образованию очереди автомобилей в грузовых пунктах и потере времени, не говоря уже об экономических потерях, связанных с повышенной скоростью движения.

Потери времени системой

$$P_c = T_{об} + T_a \quad (5.3)$$

где  $T_{об}$  – суммарный простой оборудования грузовых пунктов, ч;

$T_a$  – суммарные потери времени автомобилями, ч.

$$T_{об} = 2 T_c - \sum_1^A (t_{п} + t_{в}) Z_e \phi \quad (5.4)$$

$$T_a = \sum \Delta T'_{mi} \quad (5.5)$$

$$\Delta T'_{mi} = T_{mi} - \left[ \frac{T_{mi}}{t_o} \right] \cdot t_o - \sum_1^k \left[ \frac{lze}{V_m} + t_{вe} \right] \cdot Z'e_i \quad (5.6)$$

В ненасыщенной рассмотренной системе, как показывают данные табл. 5.3, по мере увеличения скорости исполнения транспортного процесса, эффективность использования оборудования грузовых пунктов постепенно увеличивается до момента насыщения.

Таблица 5.3. – Потери времени системой

$Vm$	20	22	24	26	28	30
Тоб	5	4	4	3	3	2
Та	2	1,31	2,22	1,62	2,26	1,5
Тс	7	5,31	6,22	4,62	5,36	3,5

Минимизация потерь времени транспортными средствами не может выступать в качестве критерия оценки функционирования системы.

В рассмотренной системе при возрастании показателя  $Vm$  закономерность изменения эффективности всей системы описывается разрывной линейной функцией и до момента насыщения одновременно возрастают выработка автомобилей и системы. потребность в транспортных средствах не изменяется, но если объем перевозок ограничен, то может быть высвобождение автомобиля.

Гиперболические зависимости влияния  $Vm$  в рассматриваемой системе не проявляются. Ввиду того, что в четвертой главе и в данном параграфе показана, и доказана несостоятельность теории описания работы автомобиля (микро и особо малой систем), основанная на представлении непрерывности протекания транспортного процесса, в последующих параграфах и главах сравнительные оценки не производятся, а только приводится описание функционирования систем с позиций дискретности транспортного процесса.

Для рассмотрения влияния  $Vm$  на эффективность малой ненасыщенной системы, где маршрут маятниковый с обратным груженым пробегом, т.е. грузы перевозятся в прямом и обратном направлениях на всем расстоянии перевозок, возьмем следующие условия:

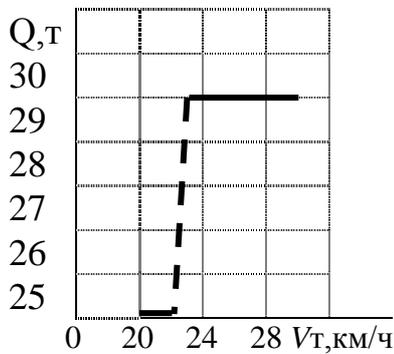
$T_c = 10$  ч;  $q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ;  $V_T = 20$  км/ч;  $l_{гe_1} = l_{гe_2} = 15$  км;  $l_M = 30$  км;  $\beta = 0,5$ ;  $t_{п1} = t_{в1} = t_{п2} = t_{в2} = 0,5$  ч;  $AЭ = 4$ .

Равенство затрат времени на грузовые работы указывает, что  $R_{max} = 0,5$ . Тогда плановая максимальная продолжительность нахождения автомобиля в системе  $T_{mi}$  может составить: для первого автомобиля – 10 ч, второго – 9,5 ч, третьего – 9 ч, четвертого – 8,5 ч. С учетом планового времени было рассчитано количество ездов каждого автомобиля и в системе (табл. 5.4).

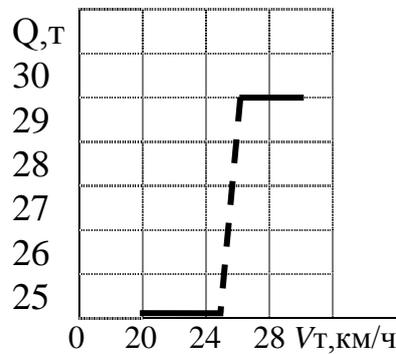
Как следует из данных табл. 5.4 скорость движения транспортных средств в системе может увеличиваться, а выработка нет. Например: от 23-25 км/ч или от 26-29 км/ч выработка транспортных средств и системы не изменяется.

Таблица 5.4 – Изменение числа ездов и объема перевозок в системе при росте  $V_T$

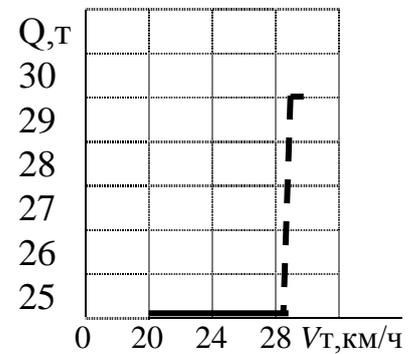
$V_T$ , км/ч	Количество ездов автомобиля				$\Sigma Z_e$ , ед.	Количество груза, перевозимое автомобилем				$\Sigma Q$ , т.
	1	2	3	4		1	2	3	4	
20	5	5	5	4	19	25	25	25	20	95
21	5	5	5	4	19	25	25	25	20	95
22	5	5	5	5	20	25	25	25	25	100
23	6	5	5	5	21	30	25	25	25	105
24	6	5	5	5	21	30	25	25	25	105
25	6	5	5	5	21	30	25	25	25	105
26	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
27	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
28	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
29	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
30	6	6	6	5	23	30	30	30	25	115



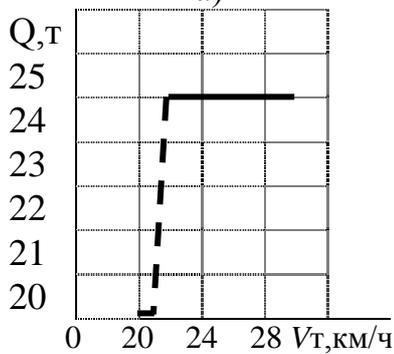
а)



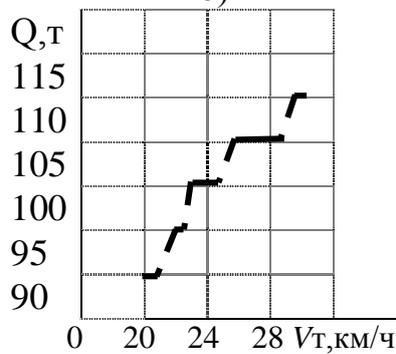
б)



в)



г)



д)

а) график выработки первого автомобиля; б) график выработки второго автомобиля; в) график выработки третьего автомобиля; г) график выработки четвертого автомобиля; д) изменение эффективности ненасыщенной системы (маятниковый маршрут с обратным груженым пробегом).

Рис. 5.5 – Изменение выработки автомобилей и эффективности системы как функции  $V_T$

Построенные графики (рис. 5.5) наглядно показывают, что изменения, происходящие в системе, описываются разрывными линейными функциями, как для отдельно взятого автомобиля, так и в целом для системы. Здесь также

наблюдаются промежутки приращения скорости, не сопровождающиеся эффектом.

В настоящее время в практике работы АТП принято всем выходящим на маршрут автомобилям выдавать одинаковое задание, но такое положение весьма редко соответствует практической работе. Данные табл. 5.4 показывают, что из одиннадцати рассмотренных вариантов, только в одном случае (при  $V_T = 22$  км/ч) возможна одинаковая выработка в рассмотренной ненасыщенной системе.

Исследования показывают, что не происходит одновременного повышения производительности всех автомобилей, работающих в системе, при росте  $V_T$ . В табл. 5.4 показано, что сначала эффективность системы возросла после выполнения дополнительной ездки четвертым автомобилем (при  $V_T = 22$  км/ч), затем – первым автомобилем (при достижении  $V_T = 23$  км/ч) и далее вторым, и третьим автомобилями.

Таким образом, даже в условиях ненасыщенной системы выработка зависит от того, каким по порядку автомобиль приступил к исполнению перевозок в системе, а это указывает, что при работе бригады на каждый автомобиль должно рассчитываться индивидуальное задание. Коэффициент участия, с помощью которого оценивается деятельность каждого водителя при бригадном подряде, может быть одинаков, но за каждой долей коэффициента участия может быть разное количество работы.

Для рассмотрения закономерности влияния величины  $V_T$  в малой ненасыщенной системе (маятниковый маршрут, с обратным груженым пробегом не на всем расстоянии перевозок груза) возьмем следующий пример:

$l_{гe_1} = 15$  км,  $l_{гe_2} = 5$  км;  $l_m = 30$  км;  $l_x = 10$  км. Остальные данные (кроме  $\beta$ ), как и в предыдущем примере.

Расчетные величины, полученные с помощью зависимостей 4.25, 4.38 и 4.39, представлены в табл. 5.5.

Таблица 5.5 - Изменение эффективности автомобилей и ненасыщенной системы в зависимости от роста  $V_T$

$V_T$ , км/ч	Количество ездки автомобиля				$\Sigma Z_e$ , ед.	Количество груза, перевозимое автомобилем				$\Sigma Q$ , т.
	1	2	3	4		1	2	3	4	
20	6	5	5	4	20	30	25	25	20	100
21	6	5	5	4	20	30	25	25	20	100
22	6	5	5	5	21	30	25	25	25	105
23	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
24	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
25	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
26	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
27	6	6	6	5	23	30	30	30	25	115
28	6	6	6	5	23	30	30	30	25	115
29	6	6	6	5	23	30	30	30	25	115
30	6	6	6	5	23	30	30	30	25	115

Согласно данным табл. 5.5 на всем протяжении приращения скорости для первого автомобиля не произошло никакого изменения в выработке. Т.е. в малой системе эффект от увеличения скорости может быть не у всех автомобилей. Если, основываясь на этом положении, увеличивать скорость только для тех, у которых может произойти приращение выработки, то тогда неизбежно окажется, что автомобили начнут прибывать в погрузочно-разгрузочные пункты не последовательно друг за другом, а стихийно, что приводит, как показывает практика, к образованию очереди на обслуживание и потерям выработки.

Эффективность использования автомобилей и системы, как и в предыдущих случаях, изменяется дискретным образом согласно исполнению целого числа ездов.

По своей конфигурации малая ненасыщенная система может представлять собой кольцевой маршрут. Для исследования влияния рассмотрим систему (рис. 5.6) со следующими условиями:  $T_c = 12$  ч;  $q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ;  $V_T = 20$  км/ч;  $l_{ге1} = 10$  км;  $l_{ге2} = 12$  км;  $l_{X1} = 5$  км;  $l_{X2} = 3$  км;  $t_{п1} = t_{в1} = t_{п2} = t_{в2} = 0,5$  ч;  $Aэ = 4$ . Общее начало работы в пункте А.

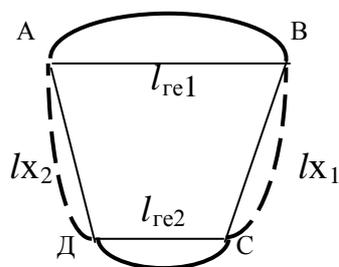
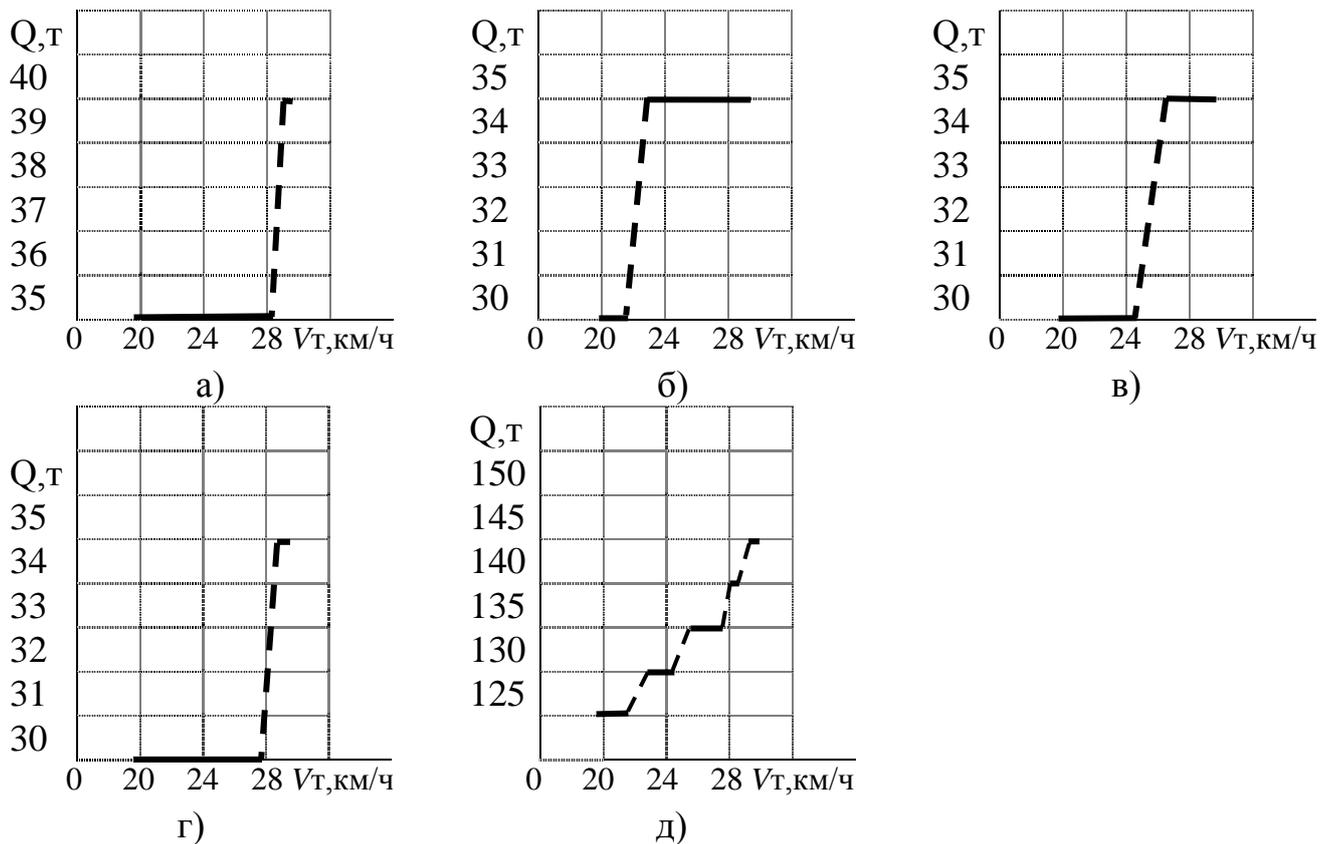


Рис. 5.6. Схема малой ненасыщенной системы

Результаты расчетов, выполненные по модели 4.42 – 4.29, представлены в табл. 5.6.

Таблица 5.6 – Влияние роста  $V_T$  на эффективность малой ненасыщенной системы (кольцевой маршрут)

$V_T$ , км/ч	Количество ездов автомобиля				$\Sigma Z_e$ , ед.	Количество груза, перевезенное автомобилем				$\Sigma Q$ , т.
	1	2	3	4		1	2	3	4	
20	7	6	6	6	25	35	30	30	30	125
21	7	6	6	6	25	35	30	30	30	125
22	7	6	6	6	25	35	30	30	30	125
23	7	7	6	6	26	35	35	30	30	130
24	7	7	6	6	26	35	35	30	30	130
25	7	7	6	6	26	35	35	30	30	130
26	7	7	7	6	27	35	35	30	30	135
27	7	7	7	6	27	35	35	30	30	135
28	7	7	7	6	27	35	35	30	30	135
29	7	7	7	7	28	35	35	35	35	140
30	8	7	7	7	29	40	35	35	35	145



а) график выработки первого автомобиля; б) график выработки второго автомобиля; в) график выработки третьего автомобиля; г) график выработки четвертого автомобиля; д) график изменения объема перевозок в системе при росте  $V_{\text{т}}$ .

Рис. 5.7 – Зависимость изменения количества перевозимого груза от  $V_{\text{т}}$  в малой системе (кольцевой маршрут)

Представленный график (рис. 5.7) показывает, что и в этом случае эффективность автомобилей и системы согласуется с целым числом ездов, а изменения описываются разрывными линейными функциями. Все свойства, выявленные на примере маятниковых маршрутов, проявляются и на кольцевых.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОСТОЯ АВТОМОБИЛЯ ПОД ПОГРУЗКОЙ-ВЫГРУЗКОЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛОЙ НЕ НАСЫЩЕННОЙ СИСТЕМЫ

Изложенный подробный анализ влияния  $Vt$  на эффективность ненасыщенных систем различной конфигурации дает основание для утверждения, что достаточно изложить один из примеров влияния технико-эксплуатационного показателя в одной из систем. Поэтому для дальнейшего изложения влияния других ТЭП принято решение привести данные на примере кольцевого маршрута, который, по нашему мнению, вбирает в себя все свойства систем на маршрутах маятникового типа. В частности, оценка влияния  $t_{пв}$  приводится на примере системы (кольцевой маршрут) со следующими параметрами:

$q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ;  $V_T = 20$  км/ч;  $l_{ге1} = 10$  км;  $l_{ге2} = 12$  км;  $l_{x1} = 5$  км;  $l_{x2} = 3$  км;  $t_{п} = t_{в}$ ;  $AЭ = 4$ .

Результаты расчетов представлены в табл. 5.11.

Таблица 5.11 – Изменение эффективности системы в результате роста

$t_{пв}$ , ч.	Количество ездов автомобиля				$\Sigma Ze$ , ед.	Количество груза, перевозимое автомобилем				$\Sigma Q$ , т.
	1	2	3	4		1	2	3	4	
0,1	12	11	11	11	45	60	55	55	55	225
0,2	10	10	10	10	40	50	50	50	50	200
0,3	9	9	9	9	36	45	45	45	45	180
0,4	8	8	8	8	32	40	40	40	40	160
0,5	8	7	7	7	29	40	35	35	35	145
0,6	7	7	7	6	27	35	35	35	30	135
0,7	7	6	6	6	25	35	30	30	30	125
0,8	6	6	5	5	22	30	30	25	25	110
0,9	6	5	5	5	21	30	25	25	25	105
1,0	5	5	4	4	18	25	25	20	20	90

Данные табл. 5.11 показывают, что, как и в случае микро и особо малых систем, выработка каждого автомобиля описывается разрывной линейной функцией, количественно уменьшаясь сразу на величину целой ездки.

Наблюдается, что сокращение времени простоя под погрузкой-выгрузкой не вызывает роста объема перевозок и наоборот, рост может не вызывать снижения выработки отдельных автомобилей. Здесь также видно, что, находясь на линии фактически разное количество времени (т.к. с ростом  $t_{пв}$  меняется  $T_m$ ; плановое), автомобили могут выполнить одинаковую работу, при определенном сочетании ТЭП, но закономерность таких явлений не просматривается.

Анализируя результат, можно заметить, что, в целом, сохраняется тенденция зависимости величины выполняемой (плановой) работы автомобиля от порядка его выхода в систему, что не может быть выявлено, если использовать

принцип расчета по среднему, применяемому на практике. На рассматриваемом уровне гиперболический характер влияния времени простоя в грузовых пунктах на эффективность автомобилей и системы не проявляется. Это еще раз указывает на дискретный характер транспортного процесса и, то, что разработанные модели описания работы автомобилей отражают реальный транспортный процесс.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РОСТА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ АВТОМОБИЛЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛОЙ НЕ НАСЫЩЕННОЙ СИСТЕМЫ

Для проведения анализа приняты показатели предыдущего примера и схема системы (рис. 5.6). Рост грузоподъемности вызывает изменение времени простоя под погрузкой-выгрузкой и времени оборота. Учитывая это положение, выполнен расчет изменения числа ездов в системе (табл. 5.12).

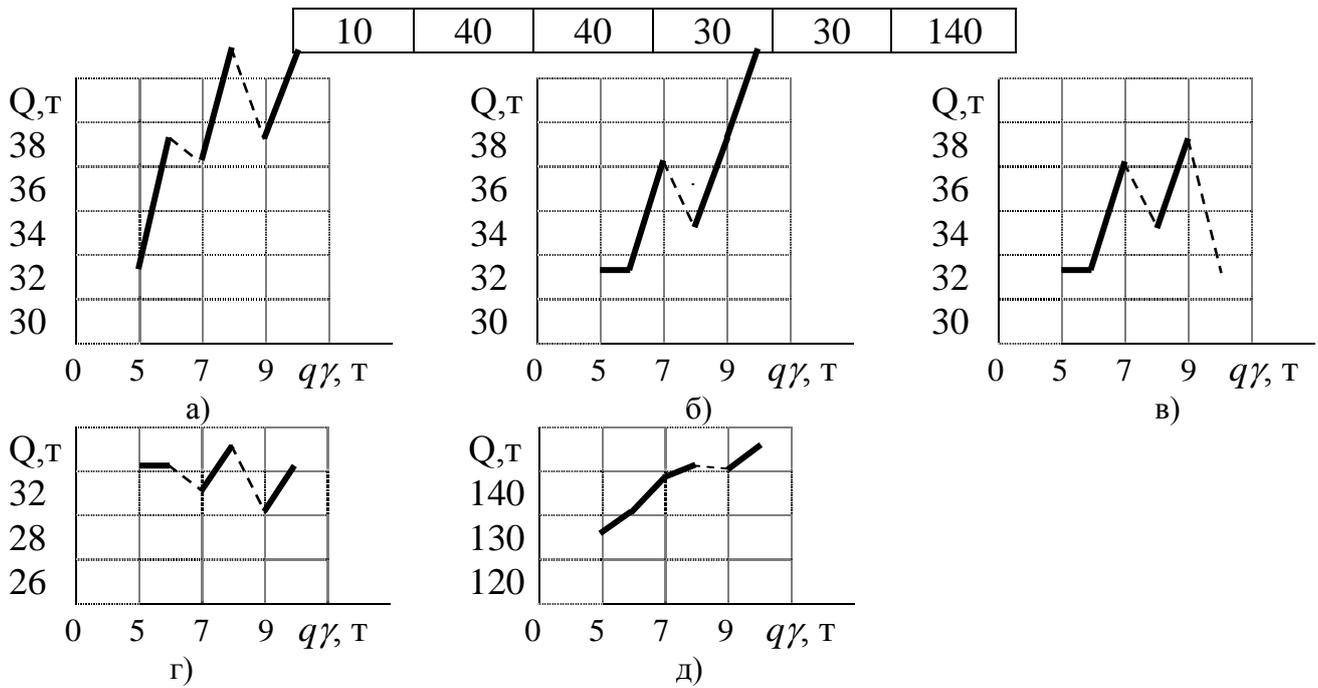
Таблица 5.12 – Количество ездов, выполняемое автомобилями в системе при росте  $q\gamma$

$q\gamma$ , т.	Число оборотов автомобиля				$\Sigma Z_0$ , ед.	Число ездов автомобиля				$\Sigma Z_e$ , ед.
	1	2	3	4		1	2	3	4	
5	3	3	3	2	11	6	6	6	6	24
6	3	2	2	2	9	6	5	5	5	21
7	2	2	2	2	8	5	5	5	4	19
8	2	2	2	2	8	5	4	4	4	17
9	2	2	2	1	7	4	4	4	3	15
10	2	2	1	1	6	4	4	3	3	14

С увеличением  $q\gamma$  величина  $J - R = \text{const}$ , поэтому, как бы не увеличивалась грузоподъемность автомобилей, насыщения системы не произойдет. Ограничением при этом может оказаться количество груза, подлежащее перевозке в данной системе. Дискретный характер выполнения работы проявляется также и в целом для системы. Эффективность ее функционирования определяется целым числом ездов, выполняемых всеми автомобилями в системе, и описывается разрывной линейной функцией, причем наблюдается их постоянное падение. На основании данных табл. 5.12 выполнен расчет объема перевозок груза, результаты которого представлены в табл. 5.13.

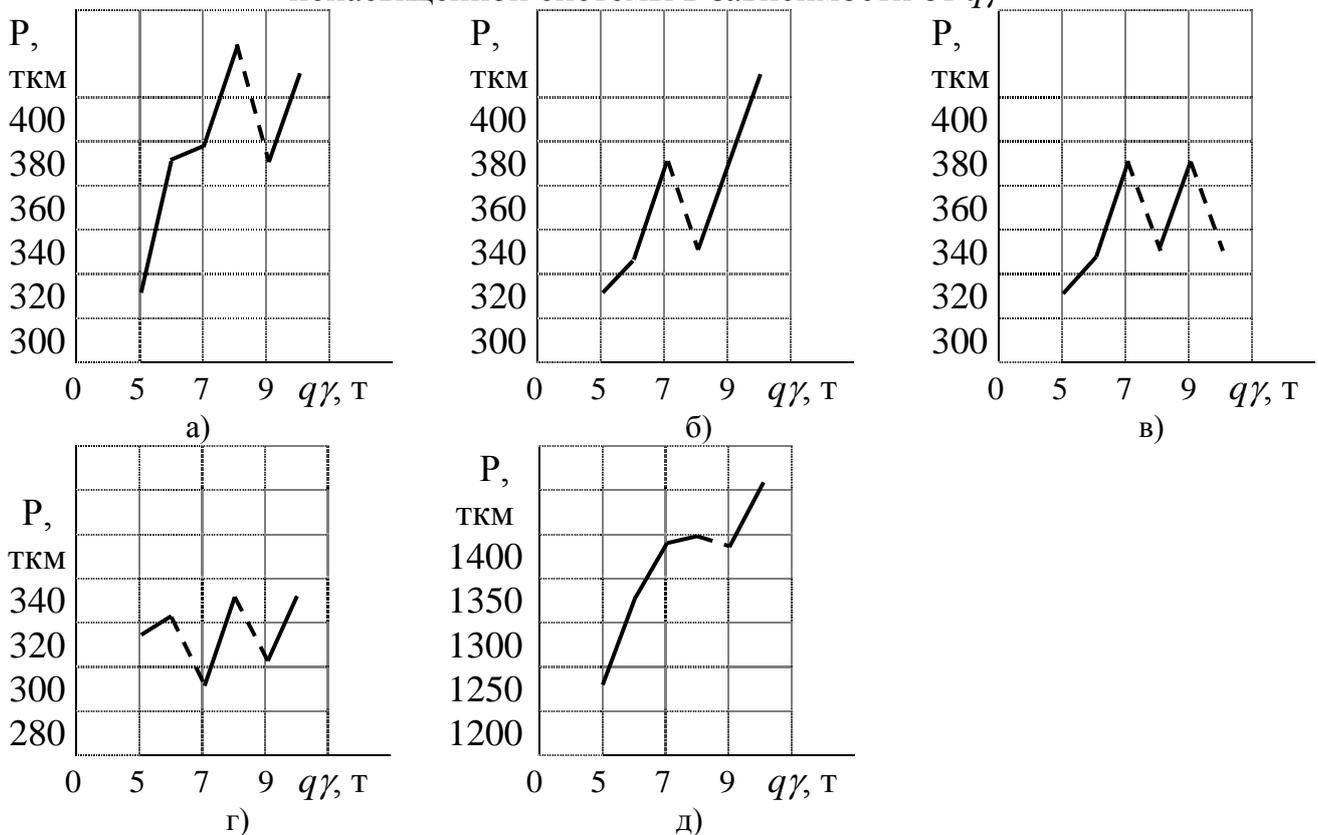
Таблица 5.13 – Изменение выработки автомобилей и объема перевозок груза в системе в результате роста  $q\gamma$

$q\gamma$ , т.	Количество груза, перевезенное автомобилем				$\Sigma Q$ , т.
	1	2	3	4	
5	30	30	30	30	120
6	36	30	30	30	126
7	35	35	35	28	133
8	40	32	32	32	136
9	36	36	36	27	135



а) график выработки первого автомобиля; б) график выработки второго автомобиля; в) график выработки третьего автомобиля; г) график выработки четвертого автомобиля; д) график изменения эффективности системы в целом.

Рис. 5.9 – Закономерности изменения выработки автомобилей и малой ненасыщенной системы в зависимости от  $q\gamma$



а) график выработки первого автомобиля; б) график выработки второго автомобиля; в) график выработки третьего автомобиля; г) график выработки четвертого автомобиля; д) график изменения эффективности (тонно-километров) системы в целом.

Рис. 5.10 – Закономерности изменения  $P$  автомобилей и системы в целом в зависимости от роста  $q\gamma$

Как видно (рис. 5.9), в результате роста  $q\gamma$  выработка автомобилей может возрасти, остаться на прежнем уровне и даже падать. То же самое происходит и в системе в целом. Автомобиль большей грузоподъемности, особенно когда он работает в условиях системы, может вырабатывать меньше продукции. Например, (рис. 5.9, в) третий автомобиль, если он имеет  $q\gamma = 7$  т, то выработка составляет 35 т, а если  $q\gamma = 10$  т, то - всего 30 т.

Четвертый автомобиль (рис. 5.9, г) имеет самую худшую выработку и это не потому, что там нерадивый водитель, это объективный результат реального транспортного процесса. Такое положение должно учитываться при построении системы оплаты труда водителей при бригадном подряде, особенно при работе на единый наряд.

Изложенные выше положения подтверждаются данными рис. 5.10. Кроме того, не трудно заметить, грузоподъемность применяемых транспортных средств возросла на 100%, а эффективность системы по тоннам на 16,6% и по тонно-километрам на 20%. Поэтому то, что соответствует отдельно взятому автомобилю, совершенно может не соответствовать системе в целом. Например, при  $q\gamma = 8$  т выработка второго и третьего автомобилей упала (рис. 5.10), а в системе увеличилась и наоборот, при  $q\gamma = 9$  т выработка этих же автомобилей возросла (рис. 5.10), но система ничего не выиграла.

#### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАССТОЯНИЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛОЙ НЕ НАСЫЩЕННОЙ СИСТЕМЫ

В рассматриваемой системе (рис. 5.6) расстояние доставки грузов может увеличиваться, если на ветвях  $BC$  и  $AD$  транспортные средства будут двигаться с грузом. Тогда сохраняется конфигурация маршрута, но за оборот будет выполняться более двух ездов. Примем, что первоначальное изменение пробега с грузом произошло за счет дополнительной ездки на ветви  $BC$ , а затем на ветви  $AD$ . Остальные данные взяты из предыдущего примера. Одновременно с ростом  $l\gamma$  на ветви  $BC$  появляется дополнительный пункт погрузки и выгрузки, что вызывает возрастание времени погрузочно-разгрузочных работ за оборот, и резко увеличивается время оборота.

Такое же явление произойдет, когда начнутся перевозки на ветви  $AD$ . Следует помнить, что в результате такого изменения за остаток времени  $T_{mi}$ , на последнем обороте каждый автомобиль, при определенном соотношении ТЭП, может сначала выполнить до трех ездов, а затем – до четырех. Расчетное время пребывания автомобиля на маршруте в этом случае не меняется.

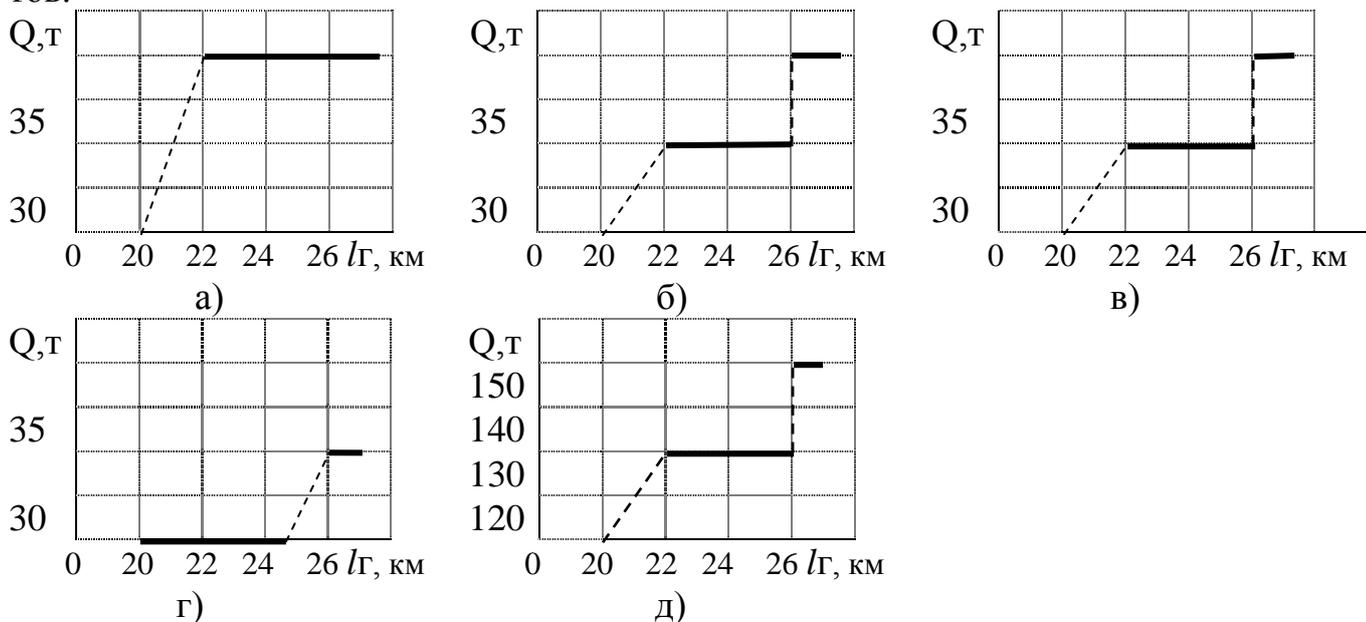
Полученные результаты указывают, что несмотря на увеличение пробега с грузом, эффективность автомобилей возрастает и в целом увеличивается количество перевозимого груза в системе. Но если рассмотреть количество ездов, выполняемых первоначально в пункты  $B$  и  $D$ , то видно (табл. 5.14), что с ростом  $l\gamma$  оно уменьшилось. Для удовлетворения первоначальной потребности

этих пунктов в систему необходимо ввести дополнительное количество автомобилей. Здесь как бы присутствует парадокс, с одной стороны выработка автомобиля возросла, а с другой требуется большее число транспортных средств. Таблица 5.14 – Количество ездов автомобилей при изменении  $l\Gamma$

в ненасыщенной системе

$l\Gamma$ , км.	Число оборотов автомобиля				$\Sigma Z_0$ , ед.	Число ездов автомобиля				$\Sigma Z_e$ , ед.
	1	2	3	4		1	2	3	4	
20	3	3	3	2	11	6	6	6	6	24
22	2	2	2	2	8	8	7	7	6	28
24	2	2	2	2	8	8	7	7	6	28
24,5	2	2	2	2	8	8	7	7	6	28
26	2	2	2	1	7	8	8	8	7	31
27,5	2	2	2	1	7	8	8	8	7	31

С ростом  $l\Gamma$  не насыщенность системы увеличивается, т.е. разность между  $I$  и  $R$  становится больше, что и приводит к худшему обслуживанию пунктов.



а) график выработки первого автомобиля; б) график выработки второго автомобиля; в) график выработки третьего автомобиля; г) график выработки четвертого автомобиля; д) график изменения эффективности системы.

Рис. 5.11 – Закономерности изменения выработки автомобилей в тоннах и эффективности малой ненасыщенной системы в зависимости от величины  $l\Gamma$

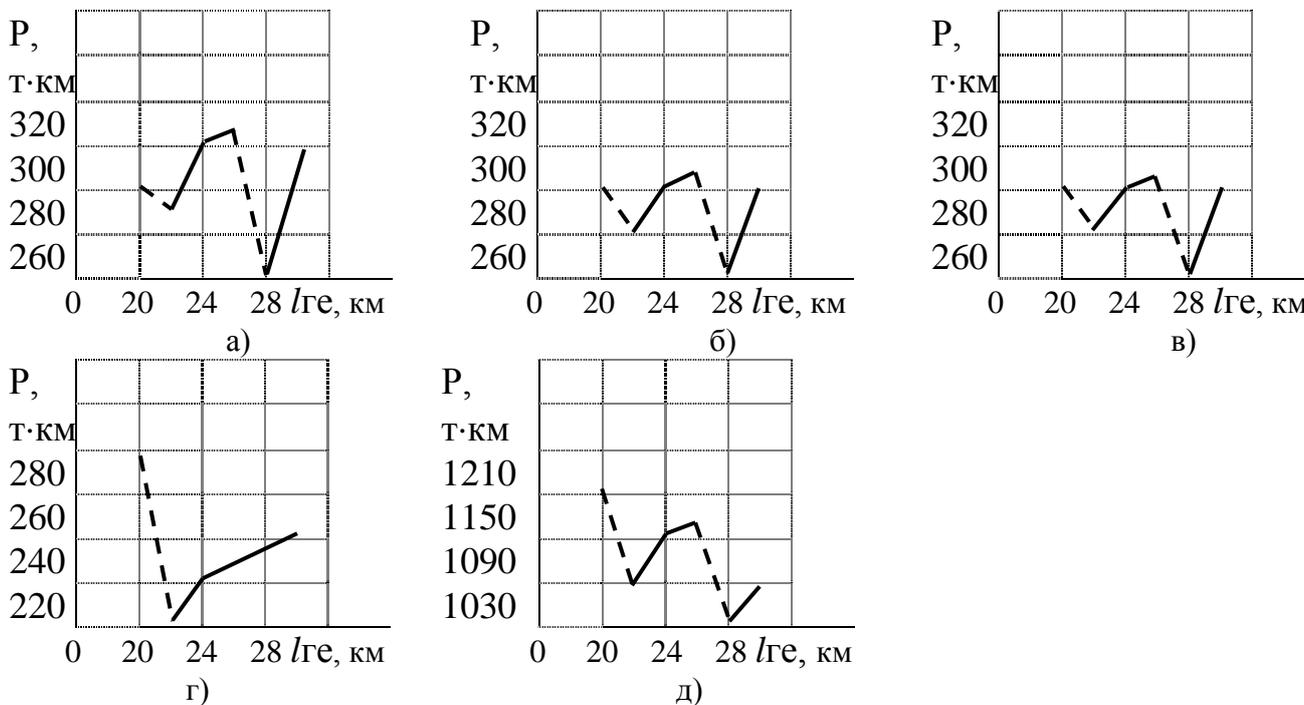
Выработка автомобилей описывается линейными зависимостями (рис. 5.11, 5.12) согласно дискретному характеру в соответствии с целым числом ездов, выполняемых каждым автомобилем.

Изменение расстояния доставки груза может происходить иначе, чем рассмотрено в предыдущем примере. Представим, что группе автомобилей приходится обслуживать объект, где маршрут сохраняет свою конфигурацию, но общая протяженность его возрастает. Таким примером может служить

строительство дороги, когда по мере возведения дорожной одежды приходится перевозить, например щебень, на все большее расстояние. Возьмем следующие исходные данные:  $T_c = 8$  ч;  $q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ;  $V_T = 20$  км/ч;  $t_n = 0,15$ ;  $t_b = 0,1$ ;  $A_э = 3$ . Первоначальное значение  $l_\Gamma = 3$  км, тогда  $l_m = 6$  км;  $I = 0,183$  ч;  $R = 0,15$  ч.

Таблица 5.15 – Изменение эффективности автомобилей и системы в зависимости от роста  $l_\Gamma$

$l_\Gamma$ , км	Количество ездов автомобиля			$\Sigma Ze$ , ед.	$\Sigma Q$ , т.	$\Sigma P$ , т·км.
	1	2	3			
3,0	14	14	14	42	210	630
3,5	13	13	12	38	190	682,5
4,0	12	12	11	35	175	700
4,5	11	11	11	33	165	742,5
5,0	10	10	10	30	150	750
5,5	10	9	9	28	140	770
6,0	9	9	9	27	135	810



а) график выработки первого автомобиля; б) график выработки второго автомобиля; в) график выработки третьего автомобиля; г) график выработки четвертого автомобиля; д) график изменения эффективности системы.

Рис. 5.12 – Закономерности изменения выработки автомобилей в тоннах и эффективности малой ненасыщенной системы в зависимости от величины  $l_\Gamma e$

В результате роста  $l_\Gamma$  в рассматриваемой системе насыщения не происходит, так как интервал движения  $I$  имеет постоянный рост. Данные табл. 5.15 показывают, что выработка автомобилей изменяется в соответствии с целым числом ездов, которое они вырабатывают за время пребывания в наряде. Так как время погрузки, которое определяет в данном случае ритм работы  $R$ , не-

большое, то практически автомобили находятся в работе одинаковое время, а отсюда и весьма незначительное различие в числе ездов.

Таблица 5.22 - Изменение числа ездов в насыщенной системе (маятниковый маршрут, с обратным груженым пробегом не на всем расстоянии перевозок) при росте скорости движения

V <sub>T</sub> , км/ч	$Z_{ei} = \left[ \frac{T_{mi}}{T_0} \right] + Z_{ei}'$						ΣZ <sub>e</sub> , ед.	Z <sub>e</sub> факт						ΣZ <sub>e</sub> ф, ед.
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
20	5	5	4	4	4	3	25	5	5	4	4	4	3	25
22	5	5	4	4	4	3	25	5	5	4	4	4	3	25
24	5	5	4	4	4	4	26	5	5	4	4	4	3	25
26	5	5	5	4	4	4	27	5	5	4	4	4	3	25
28	5	5	5	4	4	4	28	5	5	4	4	4	3	25
30	6	5	5	4	4	4	28	5	5	4	4	4	3	25
32	6	5	5	4	4	4	28	5	5	4	4	4	3	25
34	6	5	5	5	4	4	28	5	5	4	4	4	3	25
36	6	5	5	5	4	4	28	5	5	4	4	4	3	25
38	6	6	5	5	4	4	29	5	5	4	4	4	3	25
40	6	6	5	5	4	4	30	6	5	5	5	4	0	25

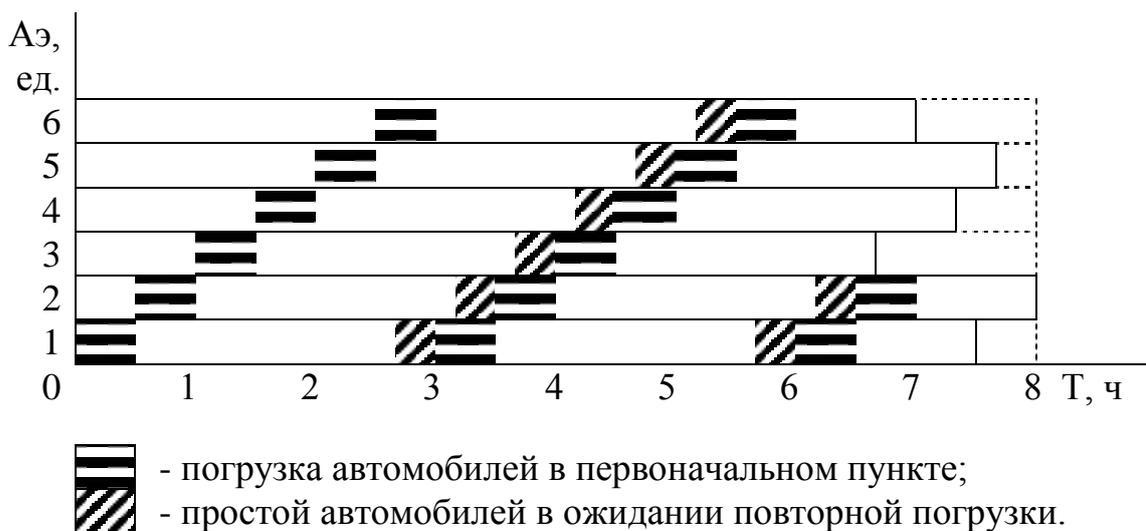


Рис. 5.21. График работы автомобилей в малой насыщенной системе (маятниковый маршрут, с обратным груженым пробегом не на всем расстоянии перевозок) при V<sub>T</sub> = 24 км/ч

Если использовать для расчетов математические зависимости 4.42-4.47, то получаем результаты, которые показывают, что с ростом скорости возрастет выработка отдельных автомобилей и системы в целом (см. табл. 5.22, левая часть – расчетное число ездов автомобиля).

Но в действительности в рассматриваемом типе системы такого изменения не происходит. Для доказательства построим, например, график работы ав-

томобилей при  $V_T = 24$  км/ч, который по расчету соответствует увеличению расчетной выработки до четырех ездов у шестого автомобиля (рис. 5.21).

С изменением скорости движения затраты времени на погрузку и разгрузку остаются неизменными и суммарное время погрузки в первом пункте составляет три часа. При скорости 24 км/ч

$$t_0 = \quad +2t_{пв} = \quad +2 \cdot 1 = 2,83 \text{ ч}$$

Первый автомобиль вернется для повторной разгрузки, после исполнения двух ездов первого оборота, в то время, когда пост будет занят обслуживанием шестого автомобиля. Поэтому первый автомобиль будет ждать окончания работы на посту  $(3 - 2,83) \cdot 60 \approx 10$  мин. и встанет под повторную погрузку ровно через 3 часа согласно ритму исполнения грузовых работ. То же происходит и при возвращении остальных автомобилей. Поэтому шестой автомобиль за время своего пребывания в системе может выполнить только один полный оборот (2 ездки) и за остаток времени первую ездку (всего три ездки), и увеличения выработки не произойдет, как у автомобиля, так и в системе. Аналогичные явления происходят и при других значениях скорости за исключением, когда отношение интервала движения к ритму будет целым числом. В этот момент происходит высвобождение автомобиля, и система приходит в сбалансированное состояние,  $I = R$ . В отличие от рассмотренной предыдущей системы высвобождение автомобиля происходит строго при равенстве  $I$  и  $R$ , т.к. после исполнения первой ездки отсутствует холостой пробег.

Если, наблюдая длительные простои автомобилей, убрать из системы один автомобиль, то не будет выполняться необходимый объем перевозок грузов в системе. Например, при скорости 34 км/ч, как показывают расчеты, простой в ожидании обслуживания каждым автомобилем, после исполнения первого оборота, составляет  $t_{ож} = 3 - 2,59 = 0,41$  ч. В этом случае исключение шестого автомобиля приводит к простоям оборудования до начала повторной погрузки первого автомобиля, величина которого составляет  $t_{ож} = 2,59 - 2,5 = 0,09$  ч (5,4 мин.). казалось бы, что должен быть явный выигрыш, т.к. простои автомобилей значительно больше. Но такое решение приводит к тому, что в системе будет выполнено только 24 ездки, в то время как пропускная способность системы 25 ездов.

Применяя положения теории массового обслуживания, многие исследователи указывали, что, оптимальная пропускная способность будет в том случае, если свести к минимуму суммарные потери времени автомобилями и оборудованием, но, как показано в данном примере, использование такого критерия не гарантирует максимального объема перевозок грузов в системе. Наличие очереди (ожидания) автомобилей в погрузочном пункте может быть и положительное явление, с точки зрения максимального объема доставки грузов, а неизбежные потери времени есть объективная действительность, связанная с не кратностью времени оборота и ритма выполнения грузовых работ.

Весь вопрос видимо заключается в обосновании минимальной очереди автомобилей, после достижения величины которой начинаются только потери от простоев подвижного состава.

Полученные результаты показывают, что фактическая эффективность насыщенной системы (табл. 5.22) на всем протяжении приращения скорости остается неизменной. Эффективность автомобилей увеличивается в момент возможного высвобождения одного или нескольких автомобилей, но при этом следует помнить, что эксплуатационные затраты по автомобилям имеют тенденцию к росту.

Для иллюстрации влияния роста скорости, в случае кольцевого маршрута, возьмем следующую систему:

$q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ;  $t_{\text{п}} = t_{\text{в}} = 0,5$  ч; (рис. 5.22),  $l_{\text{ге}1} = 5$  км,  $l_{\text{ге}2} = 10$  км,  
 $l_{\text{х}1} = 3$  км;  $l_{\text{х}2} = 2$  км; начальное значение  $V_{\text{T}} = 20$  км/ч.

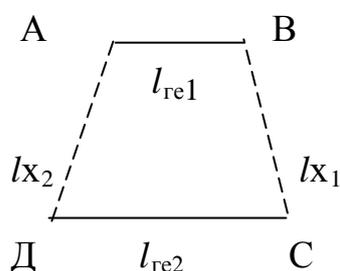


Рис. 5.22. Схема малой насыщенной системы

Система является насыщенной, при первоначальном значении скорости 20 км/ч, если в ней будет работать

$$A_3 = \frac{3}{R} = \frac{3}{0,5} = 6 \text{ авто.}$$

При указанных соотношениях параметров системы плановая продолжительность нахождения автомобилей в системе такая же, как и в предыдущем примере (см. табл. 5.21).

Следует обратить внимание, что при определении числа ездов на последнем обороте во времени первой ездки можно не учитывать время, затрачиваемое на исполнение пробега  $l_{\text{х}1}$ , а при двух ездках – время, затрачиваемое на движение по ветви  $DA$  (рис. 5.6).

Результаты проведенных расчетов с помощью модели 4.42 - 4.49 представлены в табл. 5.23.

Данные табл. 5.23 показывают, что постепенного приращения эффективности автомобилей и системы не происходит. Фактически количество доставляемого груза в системе остается постоянным. Общее правило о том, что высвобождение автомобиля может быть при достижении скорости, которой соответствует равенство  $I$  и  $R$ , свойственно и этой системе, но особенности кольцевого маршрута (наличие холостого пробега после исполнения первой ездки) и обратное соотношение груженых пробегов в системе указывают, что высвобождение автомобиля и, соответственно, повышение эффективности оставших-

ся, может произойти раньше. В данном примере это произошло уже при достижении скорости 32 км/ч. В этих условиях первый автомобиль может выполнить шесть ездов вместо пяти, третий и четвертый автомобили по пять ездов вместо четырех, а в сумме первые пять автомобилей могут выполнить 25 ездов, что соответствует пропускной способности системы, а тогда шестой автомобиль не нужен (см. рис. 5.23).

Таблица 5.23 - Изменение числа ездов в насыщенной системе (кольцевой маршрут) при росте скорости движения

$V_T$ , км/ч	$Z_{ei} = \left[ \frac{T_{mi}}{T_{ei}'} \right] +$						$\Sigma Z_e$ , ед.	$Z_{e\text{факт}}$						$\Sigma Z_e$ , ед.
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6	
20	5	5	4	4	4	3	25	5	5	4	4	4	3	25
22	5	5	4	4	4	3	25	5	5	4	4	4	3	25
24	5	5	5	4	4	3	26	5	5	4	4	4	3	25
26	5	5	5	4	4	4	27	5	5	4	4	4	3	25
28	5	5	5	4	4	4	27	5	5	4	4	4	3	25
30	6	5	5	4	4	4	28	5	5	4	4	4	3	25
32	6	5	5	5	4	4	29	6	5	5	5	4	0	25
34	6	5	5	5	4	4	29	6	5	5	5	4	0	25
36	6	5	5	5	4	4	29	6	5	5	5	4	0	25
38	6	5	5	5	4	4	29	6	5	5	5	4	0	25
40	6	6	5	5	4	4	30	6	5	5	5	4	0	25



Рис. 5.23. График работы автомобилей в малой насыщенной системе (кольцевой маршрут) при  $V_T = 32$  км/ч

Постепенного уменьшения количества автомобилей, в результате роста скорости, не происходит ни в одном из рассматриваемых типе систем.

Анализ влияния показателя  $V_T$  на эффективность малой системы показывает, что суммарная выработка автомобилей (пропускная способность систе-

мы) остается неизменной. На достаточно большом интервале приращения скорости не наблюдается увеличения выработки автомобилей.

Закономерности, которым подчиняются выработка транспортных средств и эффективность системы, являются разрывными линейными, а не гиперболическими, как указывается в современных научных источниках.

Целесообразными скоростями движения в системах данного типа являются такие, при которых выполняется условие  $I = R$ , но большее значение скорости, хоть и способствует высвобождению подвижного состава, требует больших затрат на выполнение того же объема перевозок оставшимися автомобилями. Поэтому решение о работе с повышенной скоростью оправдано в том случае, когда наблюдается дефицит транспортных средств или если дополнительная прибыль, получаемая высвобожденными автомобилями, превысит величину приращения затрат.

Теоретические математические зависимости, с помощью которых выполняются расчеты выработки и потребности в транспортных средствах, не позволяют получать стабильные достоверные результаты в случае их применения к малым системам. Они сформулированы таким образом, что не могут учитывать возможность образования потерь времени после очередной ездки. В них учитывается только сокращение  $t_0$  при росте  $V_T$  и таким образом как бы образуется экономия времени, за счет которой полагается возможным выполнить какую-то часть работы. Но построенные графики работы показывают, что эта экономия времени рассеяна частями на протяжении пребывания каждого автомобиля в системе и не может быть собрана воедино. Поэтому повышение скорости исполнения транспортного процесса в малой системе может не приносить положительного эффекта. Установленное явление указывает также на то, что для описания малых систем требуется другой математический аппарат.

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОСТОЯ АВТОМОБИЛЕЙ ПОД ПОГРУЗКОЙ-ВЫГРУЗКОЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛОЙ НАСЫЩЕННОЙ СИСТЕМЫ

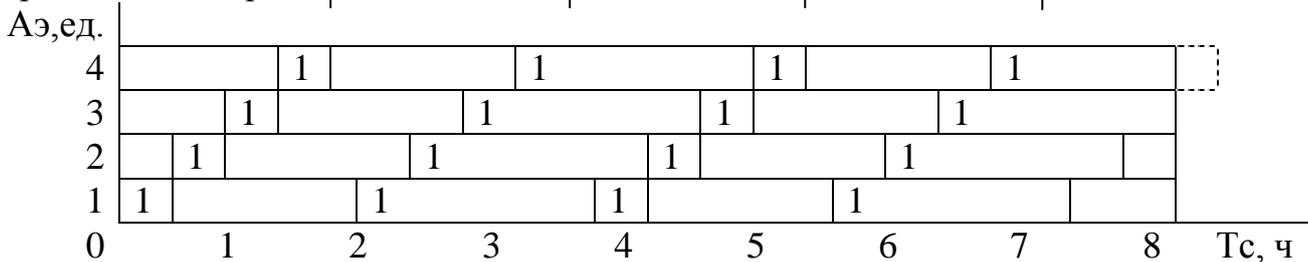
Для рассмотрения влияния данного показателя принимается система (маятниковый маршрут с обратным не груженым пробегом) со следующими исходными данными:  $T_c = 8$  ч;  $q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ; первоначальное значение  $t_{п} = t_{в} = 0,5$ ;  $l_{ге} = 10$  км,  $V_T = 20$  км/ч.

Таблица 5.24 – Число ездки автомобилей в насыщенной системе при уменьшении  $t_{пв}$

$t_{пв}, \text{ч}$	$Z_e = \frac{T_H \beta V_T}{l_{ге} + t_{пв} \beta V_T}$				$\Sigma Z_e,$ ед.	$Z_e = \left[ \frac{T_M i}{t_0} \right] + Z_e'$					$\Sigma Z_e,$ ед.
	1	2	3	4		1	2	3	4	5	

1,0	4	3,75	3,5	3,25	14,5	4	4	3	3	0	14
0,9	4,2	3,97	3,73	3,5	15,4	4	4	4	3	0	15
0,8	4,4	4,22	4,0	3,77	16,43	4	4	4	4	0	16
0,7	4,7	4,5	4,29	4,08	17,57	5	4	4	4	0	17
0,6	5,0	4,8	4,6	4,4	18,8	5	5	4	4	4	22
0,5	5,3	5,16	5,0	4,8	20,26	5	5	5	5	5	25
0,4	5,71	5,57	5,42	5,28	21,98	6	5	5	5	5	26

Сокращение времени простоя может происходить в пункте погрузки или в пункте разгрузки, но целесообразно, чтобы время изменялось в обоих пунктах сразу, чтобы уменьшалась величина  $R$ . Поэтому примем, что в обоих пунктах маршрута время, затрачиваемое на выполнение грузовых операций, уменьшается на одинаковую величину. Изменение числа ездов в результате сокращения  $t_{пв}$  приведено в табл. 5.24.



Ж	*	Ж	*	Ж	*	Ж	*	Ж
1	-	погрузка автомобилей;						
Ж	-	работа погрузочного поста;						
*	-	простой поста погрузки.						

Рис. 5.24 График работы автомобилей и пункта погрузки при  $t_{пв} = 0,4$  ч.

В этих условиях приращение числа ездов (выработки) автомобилей и системы происходит, как бы эволюционным путем, только за счет сокращения времени оборота. Но в тот момент, когда нарастающая величина интервала простоя оборудования грузовых пунктов станет достаточной для выполнения погрузки автомобиля, наступает интенсивный момент, в систему можно ввести дополнительный автомобиль, тем самым реализовать возможности улучшенной организации и механизации погрузочно-разгрузочных работ, и резко увеличить эффективность всей системы (табл. 5.24). Например, при достижении  $t_{пв} = 0,6$  ч образующийся простой оборудования в пункте погрузки составит  $T_{об} = t_0 - 4t_{пв} = 1,6 - 4 \cdot 0,3 = 0,4$  ч. Этой величины достаточно, чтобы обслужить пятый автомобиль, что, и показано на рис. 5.25.

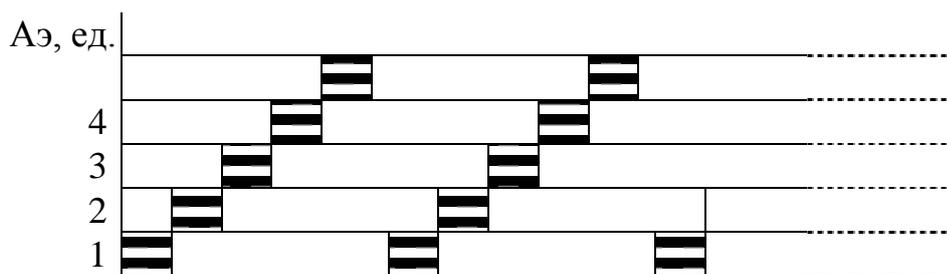


Рис. 5.25 График работы автомобилей при  $t_{пв} = 0,3$  ч,  $t_0 = 1,6$  ч.

Введение пятого автомобиля снова приводит систему к состоянию насыщенности, так как  $I = 0,32$ , а  $R = 0,3$ . В таком случае достаточно полно используются возможности совершенствования погрузочно-разгрузочных работ. Поэтому в рассматриваемых системах совершенствование процесса обслуживания автомобилей в грузовых пунктах полностью оправдано, когда за счет разработки мероприятий можно сразу перейти к насыщенной систем с новыми соотношениями ТЭП или когда при заданном объеме перевозок произойдет высвобождение автомобиля.

Таблица 5.25 – Изменение количества перевозимого груза в системе при снижении  $t_{пв}$

$t_{пв}$ , ч	Расчетное количество груза, перевозимое автомобилем				$\Sigma Q$ , т.
	1	2	3	4	
1,0	20	20	15	15	70
0,9	20	20	20	15	75
0,8	20	20	20	20	80
0,7	25	20	20	20	85
0,6	25	25	20	20	90
0,5	25	25	25	25	100
0,4	30	25	25	25	105

Если объем перевозок фиксированная величина, то изменение  $t_{пв}$  не приводит к росту величины доставляемого груза. В рассматриваемом примере, согласно начальным условиям  $Q = 70$  т, тогда в интервале изменения  $t_{пв}$  от 1,0 до 0,6 в системе должны работать четыре автомобиля, которые по мере сокращения  $t_{пв}$  будут оканчивать работу все раньше и раньше, при этом выработка всех автомобилей останется неизменной. Потери рабочего времени будут теперь как у оборудования пунктов, так и у автомобилей. Но как только  $t_{пв}$  станет равным 0,6, четвертый автомобиль в системе не нужен, первые три автомобиля, выполняя 14 ездов (табл. 5.24), могут доставить те же 70 т, и использование рабочего времени резко возрастет.

На приведенном графике (рис. 5.26) показано, что изменение потребности в транспортных средствах происходит не постепенно, а дискретно, сразу на величину целого автомобиля.

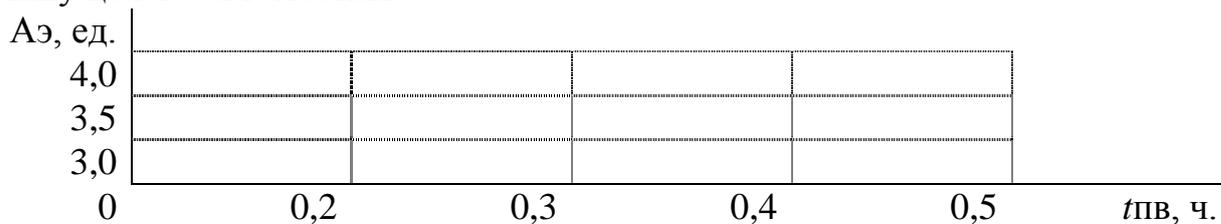


Рис. 5.26. Изменение потребности в автомобилях в системе в зависимости от величины  $t_{пв}$ , при фиксированном  $Q$ .

Общий анализ влияния ТЭП на эффективность автомобилей, приведенный в различных работах, при оценке влияния времени простоя под погрузкой-выгрузкой, оперирует средним значением  $t_{пв}$ . Изложенные материалы по анализу влияния  $t_{пв}$  в данной работе также пока не учитывали, что изменение затрат времени на погрузку или разгрузку может происходить в одном из пунктов маршрута, а применение, получаемого в этом случае среднего времени простоя при выполнении грузовых операций, в расчетах эффективности систем и автомобилей, приведет к ошибочным результатам, за исключением микро и особо малых систем.

Действительно в микро и особо малых системах работают по одному автомобилю и поэтому любое сокращение затрат времени в транспортном процессе может только способствовать росту выработки транспортного средства, т.к. посты погрузки и выгрузки всегда свободны к приему автомобиля.

В малых системах, как уже указывалось, для исключения образования очереди автомобилей на обслуживании, их выпуск и последующая работа должны быть организованы в соответствии с наибольшей величиной затрат времени на погрузку или разгрузку. Следовательно, сокращение затрат времени в одном из грузовых пунктов маршрута не приведет к снижению потребности в транспортных средствах или увеличению объема, а это значит, что средства, вносимые на модернизацию обслуживания автомобилей, не будут окупаться.

Для достижения действительной эффективности необходимо в связанных системах, какими являются малые системы, проводить мероприятия по одновременному сокращению затрат времени на грузовые операции во всех пунктах системы и при проведении анализа оперировать не средним значением  $t_{пв}$ , а максимальной величиной ритма исполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Рассмотрим, как изменяется выработка и эффективность малой насыщенной системы, если маршрут будет кольцевым. Параметры системы:  $T_c = 10$  ч;  $q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ;  $t_{п} = t_{в} = 0,5$ ; (рис. 5.6),  $l_{гe_1} = 5$  км,  $l_{гe_2} = 10$  км,  $l_{x_1} = 3$  км;  $l_{x_2} = 2$  км;  $V_T = 20$  км/ч.

Переменной величиной является  $t_{п} = t_{в}$ , изменяющейся в интервале от 0,5 – 1 ч, тогда  $t_{пв}$  последовательно составляет 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; и 2,0 ч.

Проведенные исследования показали, что  $I$  возрастает быстрее, чем  $R$ , поэтому система переходит в разряд не насыщенных, и, если в систему не будет в соответствующий момент введен дополнительный автомобиль, то она до конца приращения  $t_{пв}$  будет оставаться ненасыщенной.

В связи с изменением величины  $t_{пв}$ , переменной величиной является и плановое время  $T_{mi}$ .

Таблица 5.26 – Изменение  $T_{mi}$  в результате роста  $t_{пв}$

$t_{п} = t_{в}$ ( $R$ ), ч	$T_{mi}$ автомобиля, ч					
	1	2	3	4	5	6
0,5	10	9,5	9	8,5	8,0	7,5
0,6	10	9,4	8,8	8,2	7,6	7,0
0,7	10	9,3	8,6	7,9	7,2	6,5
0,8	10	9,2	8,4	7,6	6,8	6,0

0,9	10	9,1	8,2	7,3	6,4	5,5
1,0	10	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0

Таблица 5.27 – Число ездов автомобилей в малой насыщенной системе (кольцевой маршрут) при росте  $t_{пв}$

$t_{пв}, ч$	$Z_{ei} = \left[ \frac{T_{mi}}{t_o} \right] \cdot n + Z_{ei}'$						$\Sigma Z_{эф}, ед.$
	Число ездов автомобиля						
	1	2	3	4	5	6	
1,0	6	6	6	5	5	5	33
1,2	5	5	5	4	4	4	27
1,4	5	5	4	4	3	3	24
1,6	4	4	4	3	3	2	20
1,8	4	3	3	3	2	2	17
2,0	4	3	3	2	2	2	16

С увеличением  $t_{пв}$  происходит дискретное падение выработки транспортных средств и эффективности системы.

Как видно из проведенного анализа, математические зависимости (2.85 и 2.86), используемые для расчета выработки и потребности в транспортных средствах, не позволяют учесть возможность появления резервов или потерь времени, а это также подтверждает высказанное положение о необходимости специального математического аппарата для описания малых систем.

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛОЙ НАСЫЩЕННОЙ СИСТЕМЫ

Преыдущие примеры влияния ТЭП рассматривались для системы, где маршрут был маятниковый, с обратным не груженным пробегом. Теперь для выполнения анализа возьмем другой тип маршрута, схема которого представлена на рис. 5.27.

А                      В                      С

Рис. 5.27. Схема маршрута малой насыщенной системы

Исходные данные:  $AB = 11,5$  км;  $BC = 1$  км;  $CA = 12,5$  км;  $V_T = 25$  км/ч. На участке  $BC$  груз не перевозится. Первоначально  $q\gamma = 5$  т;  $t_{\text{п}} = t_{\text{в}} = 0,5$  во всех пунктах,  $t_0 = 3$  ч. В системе, исходя из равенства  $I = R$ , работает 6 автомобилей.

Изменение  $q\gamma$ , как известно, вызывает увеличение  $t_{\text{пв}}$  и  $R$ . Это положение учитывалось при выполнении расчетов по модели 4.42 – 4.48, а также принималось во внимание, что одновременно сокращается величина  $T_{\text{ми}}$ . Результаты расчетов представлены в табл. 5.28.

Таблица 5.28 – Изменение расчетного числа ездов в системе при росте  $q\gamma$

$q\gamma$ , т	Расчетное число ездов автомобиля						$\Sigma Z_{\text{эф}}$ , ед.
	1	2	3	4	5	6	
5	5	5	4	4	4	4	26
6	4	4	4	3	3	2	20
7	4	3	3	3	2	2	17
8	3	3	3	2	2	1	14
9	3	3	2	2	1	1	12
10	3	2	2	2	1	1	11

Полученные результаты (табл. 5.28) показывают, что возможно снижение числа ездов в системе, но это еще не значит, что будет общее снижение перевозок груза, все зависит от темпов роста выработки за счет возрастания грузоподъемности и темпа ее снижения за счет падения числа ездов.

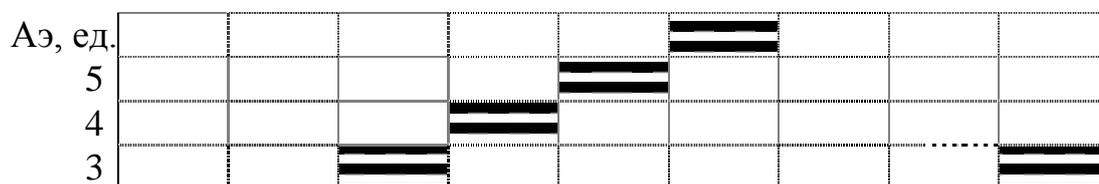
Как видно (табл. 5.28) и в этом случае изменение происходит дискретно, следовательно, при графическом изображении будет наблюдаться разрывная линейная зависимость.

Но в действительности изменение числа ездов может быть несколько другое. Возрастание грузоподъемности может нарушать равенство между  $I$  и  $R$ . Расчет изменения  $I$  и  $R$  (табл. 5.29) показывает, что система сразу переходит в перенасыщенное состояние.

Ввиду того, что  $I$  становится меньше  $R$ , автомобили будут прибывать в грузовой пункт на повторную погрузку раньше, чем будет погружен последний автомобиль. Например, при достижении  $q\gamma = 8$  т, время оборота  $t_0 = 4,2$  ч ( $\tau_{\text{пв}} = 0,2$  ч – время затрачиваемое на погрузку-выгрузку одной тонны груза), а погрузка шести автомобилей заканчивается через  $6 \cdot 0,8 = 4,8$  ч, в связи с чем первый автомобиль, придя на повторную погрузку, вынужден ждать 0,6 ч, а также и все последующие (рис. 5.28).

Таблица 5.29 – Изменение  $I$  и  $R$

$q\gamma$ , т	5	6	7	8	9	10
$I$ , ч	0,5	0,56	0,63	0,7	0,77	0,83
$R$ , ч	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0



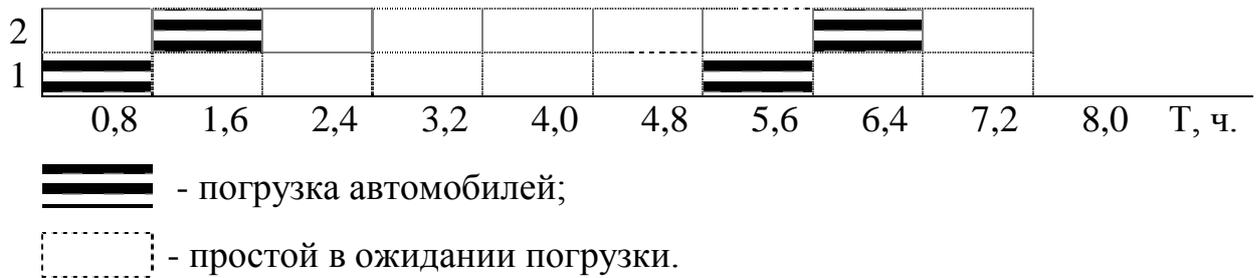


Рис. 5.28. График погрузки автомобилей,  $q\gamma = 8$  т

Согласно графику (рис. 5.28) видно, что третий автомобиль может выполнить всего один оборот (две ездки), а не три ездки, как следует из расчета.

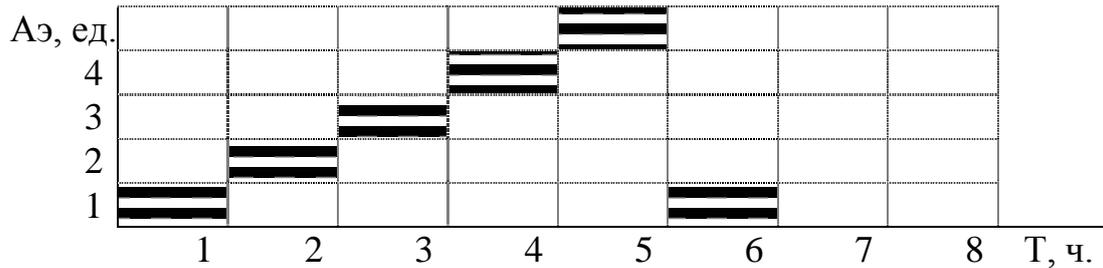


Рис. 5.29. График погрузки автомобилей,  $q\gamma = 10$  т

Если в системе будут работать автомобили  $q\gamma = 10$  т, то увеличение  $t_{пв}$  приведет к тому, что шестому автомобилю вообще не остается времени для работы (рис. 5.29).

Фактическое количество ездки представлено в табл. 5.30.

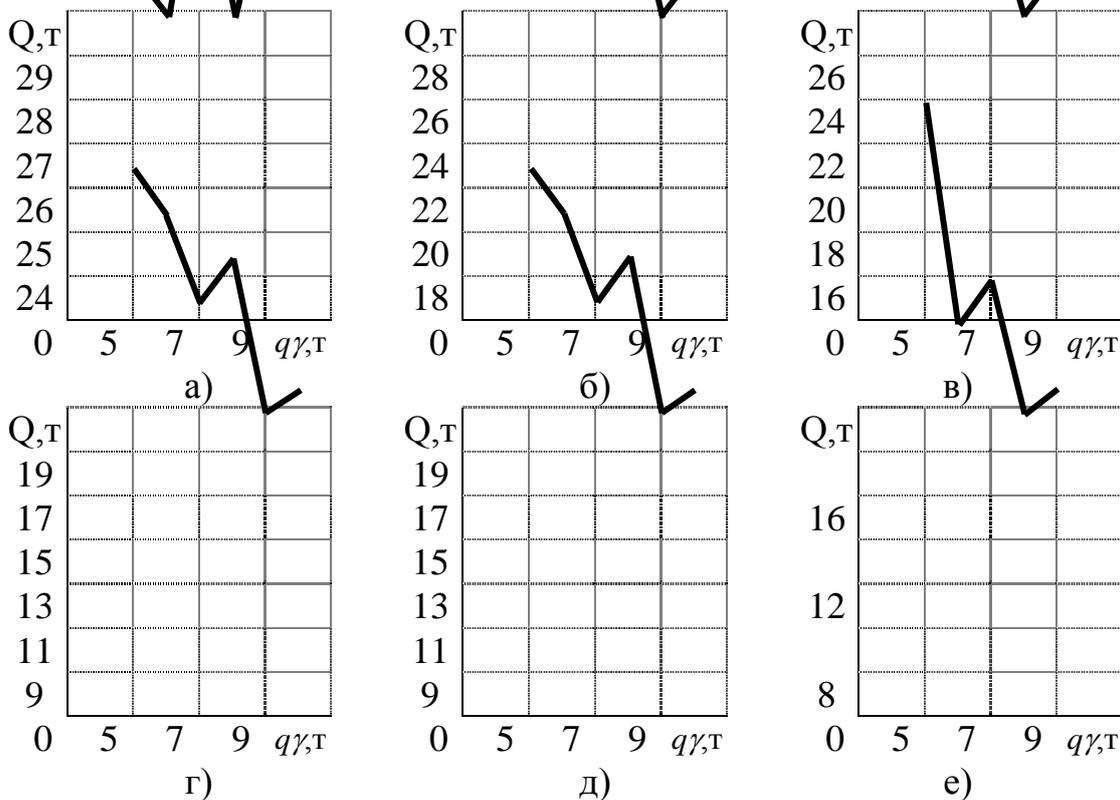
Таблица 5.30 – Действительное изменение  $Z_e$  в зависимости от  $q\gamma$

$q\gamma, \text{ т}$	Расчетное число ездки автомобиля						$\Sigma Z_{eф}, \text{ ед.}$
	1	2	3	4	5	6	
5	5	5	4	4	4	4	26
6	4	4	4	3	3	2	20
7	4	3	3	2	2	2	16
8	3	3	2	2	2	1	13
9	3	2	2	1	1	1	10
10	3	2	2	1	1	0	9

Таблица 5.31 – Изменение выработки автомобилей и эффективности системы при росте  $q\gamma$

$q\gamma, \text{ т}$	Количество перевозимого груза автомобилем						$\Sigma Q, \text{ т.}$
	1	2	3	4	5	6	
5	25	25	20	20	20	20	130
6	24	24	24	18	18	12	120
7	28	21	21	14	14	14	112
8	24	24	16	16	16	8	104
9	27	18	18	9	9	9	90
10	30	20	20	10	10	0	90

График (рис. 5.30) указывает, что в насыщенной малой системе выработка отдельного автомобиля, в зависимости от роста  $q\gamma$ , может, как возрастать, так и уменьшаться. Количество доставляемого груза в системе в целом также может уменьшиться. Но если оценивать в денежном выражении, то система может быть более эффективной, так как затраты на доставку каждой тонны груза при этом сокращаются.



а, б, в - графики выработки соответственно первого, второго, третьего автомобилей;  
 г, д, е - графики выработки соответственно четвертого, пятого, шестого автомобилей

Рис. 5.30. Закономерности влияния величины  $q\gamma$  на выработку автомобилей в системе

Рассмотрим, будут ли проявляться установленные закономерности, если малая система будет простой (маятниковый маршрут с обратным не грузённым пробегом) -  $T_c = 8$  ч;  $q = 5$  т;  $\gamma = 1$ ;  $t_{\text{п}} = t_{\text{в}} = 0,5$ ;  $l_{\text{ге}} = 10$  км,  $V_T = 20$  км/ч;  $A_{\text{э}} = 4$ .

При указанных параметрах первоначально система является насыщенной. При расчетах с помощью модели 4.42-4.48 учитывалось, что в результате роста грузоподъемности транспортных средств возрастает время простоя под погрузкой-выгрузкой, вызывая уменьшение  $T_{\text{ми}}$  у всех автомобилей кроме первого. Результаты расчетов представлены в табл. 5.32.

Таблица 5.32 – Изменение расчетного числа ездов в системе при росте  $q\gamma$ ,

$q\gamma, T$	Расчетное число ездов автомобиля				$\Sigma Z_{\text{эф}}$ , ед.
	1	2	3	4	

5	4	4	3	3	14
6	3	3	3	3	12
7	3	3	2	2	10
8	3	2	2	2	9
9	3	2	2	2	9
10	2	2	2	1	7

Возрастание  $q\gamma$ , как и в предыдущем примере, нарушает равенство между интервалом движения и ритмом погрузочно-разгрузочных работ. Причем интенсивность прироста величины  $I_d$  меньше интенсивности роста величины ритма. Поэтому автомобили будут каждый раз приходить на повторную загрузку, когда пост занят и каждый раз время ожидания, как показывают расчеты, увеличивается. Следовательно, система является даже перенасыщенной. Если построить графики работы, то они позволяют выявить действительное количество ездов, выполняемых в системе каждым автомобилем и величину грузоподъемности, при которой система может быть приведена к сбалансированному состоянию, т.е. такому, когда вновь будет соблюдаться равенство между  $I$  и  $R$ .

Например, если в системе используются автомобили  $q\gamma = 7$  т, то время оборота – 2,4 ч, а погрузка четырех автомобилей заканчивается через  $4 \cdot 0,7 = 2,8$  ч. В связи с этим каждый пришедший на повторную погрузку автомобиль будет простаивать в ожидании освобождения поста 0,4 ч. При  $q\gamma = 8$  т,  $тож = 0,6$  ч, и т.д.

При достижении  $q\gamma = 10$  т третий автомобиль фактически может выполнить всего одну езду, а не две, как показывает расчет, что является следствием недостатка модели, применяемой для расчета, которая не может учесть образования простоев. Впрочем, и модель действующей теории не свободна от указанного недостатка.

Фактическое количество ездов представлено в табл. 5.33.

Таблица 5.33 – Изменение  $Z_e$  в зависимости от  $q\gamma$

$q\gamma$ , т	Расчетное число ездов автомобиля				$\Sigma Z_{eф}$ , ед.
	1	2	3	4	
5	4	4	3	3	14
6	3	3	3	3	12
7	3	3	2	2	10
8	2	2	2	2	8
9	2	2	2	1	7
10	2	2	2	0	6

Данные табл. 5.34 показывают, что с ростом  $q\gamma$  и сохранением механизации и организации проведения грузовых работ, как это происходит на практике, эффективность насыщенной системы может ухудшаться.

Ранее упоминалось, что с ростом  $q\gamma$  увеличивается простой и отрицательно влияет на эффективность системы. Здесь проявляется тот же принцип,

т.к. средства механизации и структура грузовых пунктов остаются неизменными, а во многих системах их и нецелесообразно модернизировать.

Таблица 5.34 – Изменение выработки автомобилей и эффективности системы при росте  $q\gamma$

$q\gamma$ , т	Количество перевозимого груза автомобилем				$\Sigma Q$ , т.
	1	2	3	4	
5	20	20	15	15	70
6	18	18	18	18	72
7	21	21	14	14	70
8	16	16	16	16	64
9	18	18	18	9	63
10	20	20	10	0	50

Здесь также видно, что в одних и тех же условиях эксплуатации производительность труда не зависит от действий водителя, а зависит от того, каким по порядку его автомобиль выпущен в линию.

#### 5.4. Модели функционирования малых систем

Выявленные закономерности влияния ТЭП на эффективность автомобилей и в целом систем с транспортными схемами различной конфигурации, а также особенности протекания транспортного процесса в насыщенных системах, позволили перейти к построению моделей описания функционирования малых систем. Причем при описании следует учитывать тип (конфигурацию) транспортной схемы, т.к. от этого зависит количество ездов за оборот, наличие холостого пробега после исполнения доставки груза, что влияет на принцип расчета числа ездов на последнем обороте, а также на определение продолжительности нахождения автомобиля в системе, и на величину остатка времени после исполнения целой части. Поэтому целесообразно, с целью детального описания функционирования системы и работы каждого автомобиля, представить модели для всех типов маршрутов, имеющих место в практической деятельности автомобильного транспорта при помашинных перевозках грузов в малых системах.

#### МОДЕЛЬ МАЛЫХ НЕ НАСЫЩЕННЫХ СИСТЕМ

В отличие от микро и особо малых систем, в малой не насыщенной системе любого вида работает несколько автомобилей. Условием не насыщенности

является тот факт, что  $I_d > R_{п(в)}$ . Поэтому часть рабочего времени системы  $T_c$  в ожидании работы простаивают посты погрузки или разгрузки.

Время работы (пребывания) автомобиля в системе у всех разное. Это связано с тем, что автомобили, в целях исключения первоначальной очереди должны поступать в систему последовательно с интервалом, равным  $R_{max}$ ,

$$R = \max(R_{п1}; R_{в1}; R_{п2}; R_{в2}; \dots R_{пк}; R_{вк};) \quad (5.9)$$

где  $R_{п1} \dots R_{пк}$  - ритмы выполнения погрузочных работ в грузовых пунктах;

$R_{в1} \dots R_{вк}$  – ритмы выполнения разгрузочных работ в грузовых пунктах.

За  $R_{max}$  (ритм функционирования системы) принимается наибольшая величина  $R$  в одном из грузовых пунктов. Тогда время нахождения в системе каждого автомобиля

$$T_{mi} = T_c - R(i-1) \quad (5.10)$$

где  $i$  – порядковый номер входящего в систему автомобиля.

За плановое время  $T_{mi}$  каждый автомобиль может выполнить целое число ездов в системе

$$Z_{ei} = \left[ \frac{T_{mi}}{t_0} \right] \cdot n + Z_{ei}' \quad (5.11)$$

где  $n$  – число ездов за оборот согласно транспортной схеме доставки грузов;

$Z_{ei}'$  - количество ездов  $i$ -го автомобиля на последнем обороте за остаток времени  $\Delta T_{mi}$ .

$$t_0 = \frac{l_m}{V_T} + \sum_1^n t_{пвi}$$

Остаток времени после исполнения целого числа оборотов  $[X]$

$$\Delta T_{mi} = T_{mi} - \left[ \frac{T_{mi}}{t_0} \right] \cdot t_0 \quad (5.12)$$

Количество ездов на последнем обороте за остаток времени зависит, в том числе, и от конфигурации транспортной схемы.

Поэтому

$$\left\{ \begin{array}{l} n, \text{ если } \frac{\Delta T_{mi}}{\frac{\sum_1^n l_{zei} + \sum_1^m l_{xk}}{V_T} + \sum_1^n t_{пвi}} \geq 1 \end{array} \right.$$

$$Z_{ei}' = \frac{\Delta T_{mi}}{1, \text{ если } \frac{l_{ze1}}{V_T} + t_{пв1} \geq 1} \quad (5.13)$$

0, в противном случае.

где  $m$  – число ветвей транспортной схемы, на которых не перевозится груз.

Общее число ездов, выполняемых всеми автомобилями за время  $T_c$

$$Z_{e \text{ общ}} = \sum_1^A Z_{ei} \quad (5.14)$$

Количество груза, перевозимое одним автомобилем

$$Q_i = q\gamma Z_{ei} \quad (5.15)$$

Транспортная работа автомобиля

$$P_i = q\gamma Z_{ei} \cdot l_{zei} \quad (5.16)$$

Если при выполнении перевозок груза в малой не насыщенной системе за каждую езду доставляется разное количество груза, то тогда

$$Q_i = q \sum_1^{z_{ei}} \gamma_i \quad (5.17)$$

$$P_i = q \sum_1^{z_{ei}} (\gamma_i \cdot l_{zei}) \quad (5.18)$$

В целом в малой не насыщенной системе за смену (сутки) всеми работающими там автомобилями будет доставлено груза

$$Q_{\text{общ}} = q \sum_1^A Q_i \quad (5.19)$$

и выполнено тонно-километров

$$P_{\text{общ}} = \sum_1^A P_i \quad (5.20)$$

## МОДЕЛЬ МАЛОЙ НАСЫЩЕННОЙ СИСТЕМЫ (маятниковый маршрут с обратным не груженым пробегом)

При организации работы автомобилей, с обратным не груженым пробегом маршрут можно рассматривать как систему, состоящую из погрузочного и разгрузочного пунктов, и транспортной связи. В этой системе, в качестве об-

служивающего элемента, функционируют несколько автомобилей, выполняющих доставку грузов.

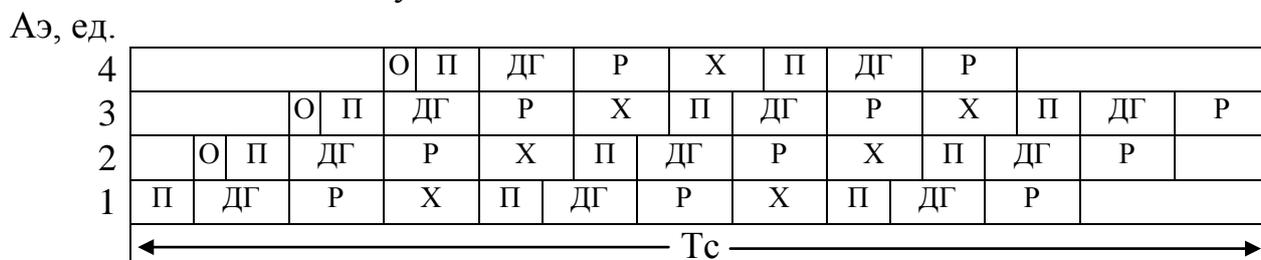
Режим работы данной системы  $T_c$  определяется моментами начала и окончания работы погрузочного и разгрузочного пунктов.

Выпуск автомобилей из АТП может быть одновременным, тогда в пункте погрузки может образовываться очередь (см. рис. 5.32).

Если выпуск организован в соответствии с ритмом работы погрузочного поста, а время разгрузки больше времени погрузки, то очередь транспортных средств будет образовываться в пункте разгрузки.



Рис. 5.32. Фрагмент графика работы автомобилей при одновременном их выпуске



где П, ДГ, Р, Х – соответственно погрузка, движение с грузом, разгрузка, холостой пробег;

О – простой оборудования в пункте погрузки.

Рис. 5.33. График работы автомобилей в соответствии с ритмом системы и поста погрузки

Если организовать выпуск в соответствии с наибольшей длительностью обслуживания в одном из пунктов, то очереди автомобилей не будет, а будут наблюдаться неизбежные потери времени системой в ожидании какой-либо операции (рис. 5.33).

Таким образом, ритм работы системы  $R$  устанавливается в соответствии

$$R = \max(R_{\text{П}}; R_{\text{В}}) \quad (5.21)$$

где  $R_{\Pi}$ ;  $R_{\text{В}}$  – соответственно ритм погрузки и разгрузки.

Максимально возможное количество ездов всех автомобилей на маршруте за плановое время работы системы в течение суток  $Z_{e_{max}}$ , при условии отсутствия ограничения по объему, предъявляемого к перевозке груза, будет определяться ритмом работы системы. Если интервал выпуска автомобилей будет превышать ритм работы системы, то будут наблюдаться простои оборудования грузоперерабатывающих пунктов, причем на всем протяжении времени работы системы, что приведет к снижению ее эффективности.

Если же автомобили будут выпускаться на линию с интервалом, меньше ритма системы, то они будут простаивать в ожидании погрузки или разгрузки.

На практике грузоперерабатывающие пункты, как правило, одновременно начинают и одновременно заканчивают свою работу. В этом случае пункт разгрузки будет простаивать в ожидании первого автомобиля время  $T_{\text{р}}^{\text{пп}}$ , необходимое на его погрузку и движение между пунктами.

$$T_{\text{р}}^{\text{пп}} = t_{\Pi} + \frac{l_{\Sigma}}{V_{\text{T}}} \quad (5.22)$$

В этих условиях в конце смены нет смысла подавать под погрузку автомобиль, который, за оставшееся время работы системы, не успеет обслужить пункт разгрузки.

Минимально необходимое время, которое определяет возможность совершения последней ездки в системе, находится из выражения

$$T_{\text{пе}} = t_{\Pi} + \frac{l_{\Sigma}}{V_{\text{T}}} + t_{\text{В}} \quad (5.23)$$

Минимальная величина потерь времени работы погрузочного пункта в конце смены

$$T_{\text{пп}}^{\text{п}} = \frac{l_{\Sigma}}{V_{\text{T}}} + t_{\text{В}} \quad (5.24)$$

На рис. 5.33 показано, что продолжительность работы отдельных автомобилей не совпадает с режимом работы системы. Это связано с тем, что количество ездов, выполненных автомобилем в течение смены, характеризуется целым числом и, если до конца времени работы системы остается меньше, чем  $T_{\text{пе}}$ , то такой автомобиль покидает систему.

Для рассматриваемой малой системы характерно свойство  $I_{\text{Д}} \leq R_{\text{п}}(\text{В})$ .

$$I_{\text{Д}} = \frac{t_{\text{о}}}{A} = \frac{l_{\text{М}} + V_{\text{T}} \cdot t_{\text{пВ}}}{A \cdot V_{\text{T}}} \quad (5.25)$$

где  $A$  – количество автомобилей работающих в системе, ед.

$$R_{\text{П}} = \frac{t_{\text{П}}}{X_{\text{П}}} \quad \text{и} \quad R_{\text{В}} = \frac{t_{\text{В}}}{X_{\text{В}}} \quad (5.26)$$

где  $X_{\text{П}}$ ;  $X_{\text{В}}$  – соответственно, количество постов погрузки и выгрузки в грузовых пунктах системы.

Учитывая, что для всех автомобилей работающих в системе, она закрывается одновременно, плановая продолжительность нахождения  $i$ -го автомобиля в систем составит

$$T_{mi} = T_c - R(i - 1) \quad (5.27)$$

Количество ездов, выполняемых  $i$ -м автомобилем за время пребывания в системе

$$Z_{ei} = \left[ \frac{T_{mi}}{t_o} \right] + Z_{ei}' \quad (5.28)$$

где  $Z_{ei}'$  - количество ездов, выполняемых  $i$ -м автомобилем за остаток времени после исполнения полных оборотов, т.е. целой части  $[X]$ .

В рассматриваемом случае

$$Z_{ei}' = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad \frac{\Delta T_{mi}}{t_{пв} + \frac{l_{ge}}{V_T} + t_{ож}} \geq 1 \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5.29)$$

$$t_o = \frac{2l_{ge}}{V_T} + t_{пв} + t_{ож} \quad (5.30)$$

где  $t_{ож}$  – время ожидания автомобилем обслуживания в одном из грузовых пунктов системы, ч.

В общем случае, согласно положениям теории вероятности,  $t_{ож}$  может возникнуть в любой, наперед неизвестный, момент. Если же задачу рассматривать как детерминированную (как в данном случае), то время ожидания возникает тогда, когда нарушено равенство между интервалом движения и ритмом выполнения грузовых работ (функционирования системы). Т.е. если окажется, что  $I_d < R$ , то система является даже перенасыщенной, а потому все автомобили неизбежно потеряют часть времени в простоях. Если уменьшить количество автомобилей хотя бы на единицу, то будем иметь другое соотношение  $I_d > R$ . В этом случае будут наблюдаться неизбежные простои оборудования в обоих грузовых пунктах и необходимое количество груза не будет перевезено в системе. Поэтому, для обеспечения доставки груза в заданном количестве, в системе должно работать число автомобилей, определенное согласно расчетному времени оборота  $t_o$ , которое включает только технологические затраты времени (без времени ожидания).

$$t_o' = \frac{t_{пв} T_{mi}}{t_o} \quad (5.31)$$

Величина  $t_{ож}$  находится

$$t_{ож} = R - \text{mod}(t_o'; R) \quad (5.32)$$

где  $\text{mod}(t_o'; R)$  – положительный остаток деления  $t_o'$  на  $R$ . ( $R$  – находится согласно формуле 5.21).

$$\Delta T_{mi} = T_{mi} - \left[ \quad \right] \cdot t_o \quad (5.33)$$

В формуле (5.33) время  $t_o$  рассчитывается по зависимости (5.30).

Каждый автомобиль, запланированный для работы в системе, может перевезти количество груза

$$Qi = q\gamma \cdot Ze_i \quad (5.34)$$

и выполнить транспортную работу

$$Pi = q\gamma \cdot Ze_i \cdot l_{ze} \quad (5.35)$$

В целом, в описанной малой насыщенной системе, количество груза, перевозимое за смену всеми автомобилями, и выполняемая при этом транспортная работа может быть рассчитана по формулам 5.19 и 5.20.

Пробег за смену (сутки) всех автомобилей, обслуживающих систему, равен

$$l_{общ} = \sum_1^A (l_m \cdot Ze_i - l_{ze} + l_{н1} + l_{н2}) \quad (5.36)$$

где  $l_{н1}$ ;  $l_{н2}$  – нулевой пробег соответственно при подаче автомобилей в пункт погрузки и при возвращении в АТП.

Рассмотренная модель описания работы транспортных средств на маятниковых маршрутах с обратным не груженым пробегом действительно соответствует реальному процессу. Ее использование в практике планирования, особенно совместно с ЭВМ, дает возможность быстро рассчитывать научно-обоснованные задания, определять порядок выхода транспортных средств на маршруты и объемы транспортных работ

### **Алгоритм расчета потребности транспортных средств для работы в малых системах**

Разработанные модели описания функционирования автомобилей и систем указывают, что для расчета потребности в транспортных средствах, для выполнения массовых перевозок в рассмотренных системах, в общем случае необходимо воспользоваться следующей системой зависимостей.

$$\left. \begin{array}{l}
 \sum_{i=1}^{Aэ} \sum_{i=1}^{Z_{ij}} Q_{i1s} \in \{Q_{пл1}; Q_{пл1} + \Delta Q_1\} \\
 \dots \\
 \sum_{i=1}^{Aэ} \sum_{i=1}^{Z_{ij}} Q_{ijs} \in \{Q_{плj}; Q_{плj} + \Delta Q_j\} \\
 \dots \\
 \sum_{i=1}^{Aэ} \sum_{i=1}^{Z_{ij}} Q_{ims} \in \{Q_{плm}; Q_{плm} + \Delta Q_m\}
 \end{array} \right\} \quad (5.89)$$

где  $Aэ$  – потребное количество автомобилей для выполнения перевозок на  $m$  – звенном маршруте;

$Z_{ij}$  – количество ездов  $i$ -го автомобиля на  $j$  – м звене маршрута;

$Q_{ijs}$  – объем груза, перевозимого  $i$ -м автомобилем на  $j$  – м звене маршрута за  $s$  – ю езду;

$Q_{плj}$  – плановый объем перевозок на  $j$  – м звене маршрута;

$\Delta Q_j$  – предельное отклонение возможного объема перевозимого груза

за

на  $j$  – м звене маршрута от плановой величины за счет не кратности планового объема и фактической грузоподъемности подвижного состава  $q\gamma_i$ .

Представленная система зависимостей показывает, что расчет должен выполняться по определенной процедуре, которая заключается в том, что рассчитывается возможный объем работы первого запускаемого в систему автомобиля, сравнивается с плановым заданием для системы и, если плановый объем оказывается больше, то рассчитывается объем работы второго автомобиля, и затем суммарный объем работы обоих автомобилей сравнивается с плановым и так далее. Эти операции выполняются до тех пор, пока не окажется ситуация, что

$$Q_{пл} \leq \sum_{i=1}^{Aэ} Q_i \quad (5.90)$$

где  $\sum_{i=1}^{Aэ} Q_i$  – суммарный объем, который может выполнить  $Aэ$  автомобилей, выпущенных на маршрут, т.

Для того, чтобы сократить трудоемкость вычислений, особенно при достаточно большой потребности в транспортных средствах, необходимо выполнять расчеты с использованием ЭВМ, что в свою очередь требует на первом этапе разработать алгоритм, соответствующий указанной математической записи и процедуре счета.

Описательное содержание алгоритма представляет собой следующее:

1. Ввод исходной информации. Для выполнения расчетов необходима следующая информация:

- информация о маршруте перевозки:

$l_{Гj}$  ;  $l_{Xj}$  – величины пробега автомобиля соответственно с грузом и без груза на  $j$  – м звене маршрута ( $j \in 1 ; m$ ), км;

$l_{Н1j}$  ;  $l_{Н2j}$  – величины нулевого пробега соответственно при выходе на линию и возврате в АТП на  $j$  – м звене маршрута, км;

$V_{Tj}$  – средняя техническая скорость автомобилей на  $j$  – м звене маршрута, км/ч;

$t_{Пj}$  ;  $t_{Вj}$  – время выполнения соответственно погрузочных и разгрузочных работ на  $j$  – м звене маршрута, ч;

$X_{Пj}$  ;  $X_{Вj}$  – количество постов соответственно погрузки и разгрузки на  $j$  – м звене маршрута;

$T_c$  – плановое время работы системы в течение суток, ч;

$Q_{Предj}$  – суточный объем предъявленного к перевозке груза на  $j$  – м маршруте на планируемый период;

$\gamma_j$  – коэффициент использования грузоподъемности подвижного состава на  $j$  – м звене маршрута;

$q$  – грузоподъемность подвижного состава, т.

2. Определение ритма системы.

Определяется как максимальная величина ритма погрузочных или разгрузочных работ на звеньях маршрута

$$R = \max_{j \in 1 ; m} \{ R_{Пj} ; R_{Вj} \} \quad (5.91)$$

Ритм грузоперерабатывающих постов определяется по формулам

$$R_{Пj} = \frac{X_{Пj}}{X_{Вj}} R_{Вj} \quad (5.92)$$

3. Определение времени оборота автомобиля на маршруте.

Определяется как суммарное время выполнения операций транспортного процесса без учета возможных простоев транспортных средств в ожидании погрузки

$$t'_o = \sum_1^m \left( t_{Пj} + \frac{l_{Гj}}{V_T} + t_{Вj} + \frac{l_{Xj}}{V_T} \right) \quad (5.93)$$

4. Определение времени ожидания выполнения погрузочно-разгрузочных работ участниками транспортного процесса за оборот автомобиля на маршруте.

При обеспечении полного исключения простоев транспортных средств в грузоперерабатывающих пунктах, в случае не кратности времени оборота ритму работы системы, каждый из грузоперерабатывающих пунктов будет простаивать время

$$t''_{ож} = \text{mod} (t'_o ; R) \quad (5.94)$$

В случае, если требуется исключить потери времени грузоперерабатывающими пунктами, то каждый автомобиль за оборот на маршруте будет простаивать в ожидании грузовых операций время

$$t_{ож}^a = R - mod(t_o'; R) \quad (5.95)$$

В этом случае необходимо скорректировать время оборота

$$t_o = t_o' + t_{ож}^a \quad (5.96)$$

5. Определение возможного количества оборотов автомобилей на маршруте и объема перевозимого груза. Так как при построении кольцевых и маятниковых маршрутов с обратным груженым пробегом объемы перевозок на звеньях маршрута устанавливаются исходя из целого количества оборотов автомобилей на маршрутах, то исходя из условий пропускной способности грузоперерабатывающих пунктов

$$Z_{o_{max}} = \left[ \frac{R}{t_o} \right] \quad (5.97)$$

Тогда за плановое время работы будет перевезено груза

$$Q_{max} = Z_{o_{max}} \cdot q \sum_1^m \gamma_i \quad (5.98)$$

6. Определение планового объема перевозок на маршруте за сутки.

Выбирается минимальная величина из предъявленного объема перевозок и пропускной способности системы

$$Q_{пл1} = \min Q_{пред}; Q_{max} \quad (5.99)$$

7. Организация цикла рассмотрения объема перевозок, выполняемого автомобилями. Переменной цикла  $i$  присваивается значение 1.

8. Определение возможного времени работы  $i$ -го автомобиля на маршруте. Рассчитывается с учетом очередности выхода из автопредприятия и ритма работы системы

$$T_{mi} = T_c - R(i - 1) \quad (5.100)$$

9. Определение числа оборотов и объема перевозимого груза на маршруте  $i$ -м автомобилем. Исходя из целочисленности количества оборотов и условия выполнения последнего оборота на маршруте

$$Z_{ei} = \left[ \frac{T_{mi}}{t_o'} \right] \cdot n + Z_{oi}' \quad (5.101)$$

где

$$\left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } mod(T_{mi}; t_o') \geq t_o - \end{array} \right. \quad (5.102)$$

$$Z_{oi}' =$$

0, в противном случае.

10. Проверка условия выполнения плана перевозок.

Производится сравнение общего объема перевозимого груза  $i$  – ми автомобилями с плановой величиной.

Если  $Q_{пл} \leq \sum_{i=1}^{Aэ} Q_i$ , то план перевозок выполнен и работает блок 12, в про-

тивном случае работает блок 11.

11. Переход на следующий шаг цикла. Переменная цикла увеличивается на единицу  $i = i+1$ .

12. Определение показателей работы каждого из  $i-1$  автомобилей и объема работы  $i$  – го автомобиля  $Q_i$ .

$$Q_s = Z_{o_s} \cdot q \sum_{j=1}^m \gamma_j \quad (5.103)$$

$$P_s = Z_{o_s} \cdot q \sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot l_{ze_j} \quad (5.104)$$

$$L_s = Z_{o_s} \cdot l_M - l_{x_m} + l_{H_{1m}} + l_{H_{2m}} \quad (5.105)$$

$$Q_i = Q_{пл} - \sum_{s=1}^{i-1} Q_s \quad (5.106)$$

13. Определение показателей работы  $i$ -го автомобиля на маршруте

$$Z_{oi} = \frac{Q_i}{q \sum_1^m \gamma_j} \quad (5.107)$$

$$P_i = Z_{oi} \cdot q \sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot l_{ze_j} \quad (5.108)$$

$$L_i = Z_{oi} \cdot l_M - l_{x_m} + l_{H_{1m}} + l_{H_{2m}} \quad (5.109)$$

$$Aэ = i \quad (5.110)$$

14. Печать результатов расчета.

На печать выводится информация:  $Aэ$ ;  $Q_s$ ;  $P_s$ ;  $L_s$ ; ( $s \in 1; Aэ$ )

Для иллюстрации порядка выполнения процедур расчетов на рис. 5.39 приведена блок-схема алгоритма.

Как следует из описания алгоритма, одновременно с расчетом потребности в транспортных средствах получаем научно-обоснованные плановые задания на каждый автомобиль.

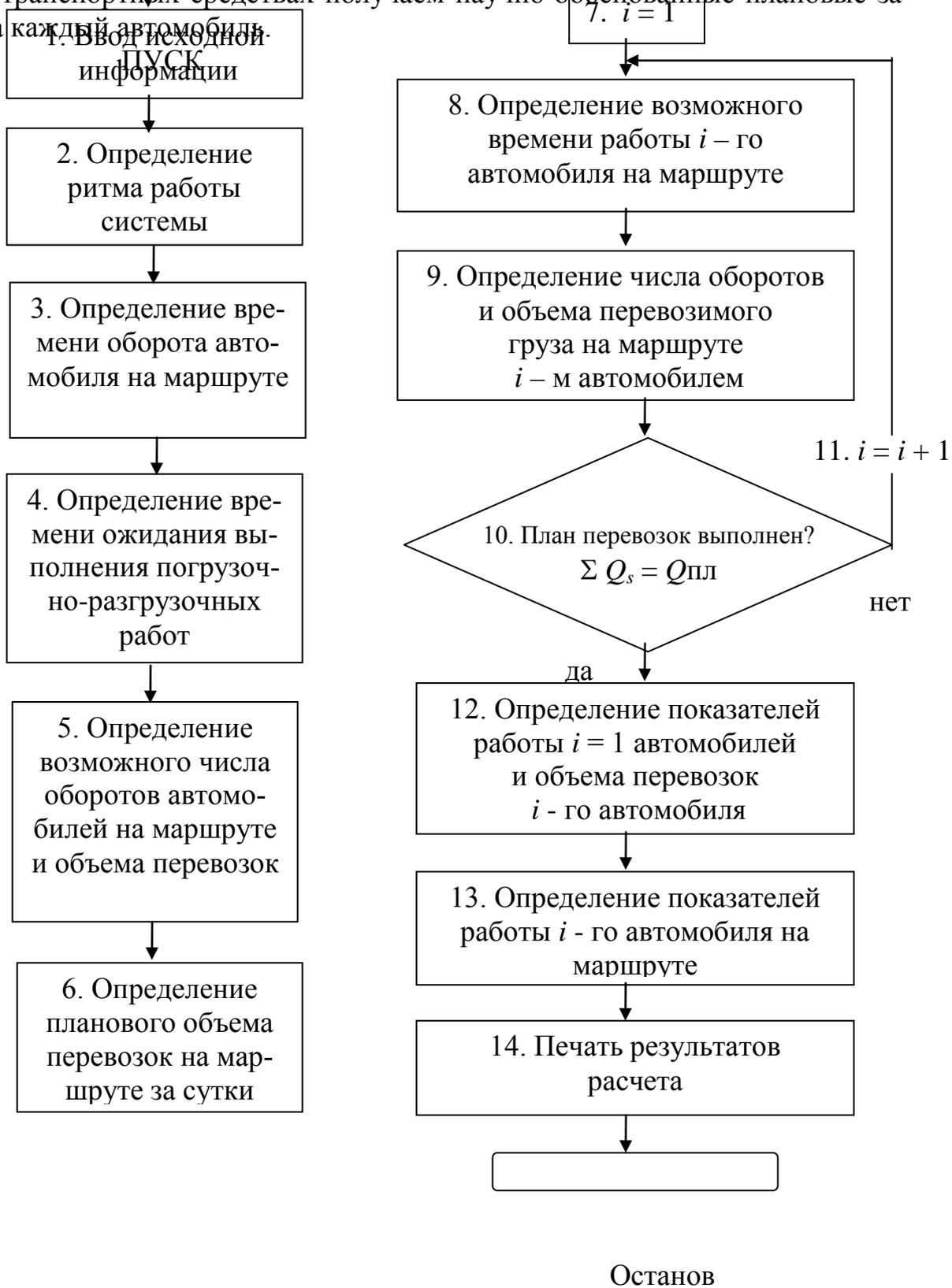


Рис. 5.39. Блок-схема алгоритма расчета потребности транспортных средств в малых системах

Для всех последовательно запускаемых в систему автомобилей, за исключением последнего, плановое задание равняется рассчитанному объему перевозок.

$$Q_s; (s \in 1; i - 1)$$

Плановое задание для каждого автомобиля определяется остатком объема перевозок, который равен

$$Q_i = Q_{\text{пл}} - \sum_{s=1}^{i-1} Q_s$$

Следует заметить, что на маятниковых маршрутах с груженым обратным пробегом и кольцевых, за время, оставшееся для выполнения последнего оборота, может быть выполнен ряд ездов на части маршрута.

Этим можно улучшить использование транспортных средств, сократить потери рабочего времени. Но при этом, объем перевозимого груза на звеньях маршрута будет различен, что может привести к ситуации, когда на некоторых звеньях план перевозок будет выполнен, а на других еще не будут удовлетворены потребности в перевозках.

Применение предлагаемого алгоритма позволит более рационально распределять подвижной состав по маршрутам перевозок и выдавать научно обоснованные напряженные плановые задания каждому водителю.

## 5.6. Особенности функционирования систем нижнего уровня

Изложенный анализ уровня работы автомобилей и систем (микро, особо малых и малых) следует заключить несколькими выводами, имеющими принципиальное значение для осмысливания процессов, и на которые необходимо обращать внимание при планировании и практической организации перевозок грузов помашинными отправлениями.

Исследования влияния изменения величин ТЭП на эффективность автомобилей и указанных автотранспортных систем нижнего уровня показали, что традиционные гиперболические зависимости на данном уровне не проявляются. Все зависимости соответствуют линейным или разрывным линейным функциям, согласно целому числу ездов, выполняемых в системах.

Увеличение расстояния перевозок грузов может не сопровождаться уменьшением выработки, измеряемой в тоннах и возрастанием выработки, измеряемой в тонно-километрах, и при этом может происходить одновременное уменьшение количества доставляемого груза и транспортной работы. Изменение расстояния перевозок (длины маршрутов) не зависит от желания работников АТП, а является следствием изменения расположения обслуживаемой клиентуры. Поэтому ранее разработанная система транспортных связей (маршрутов), при изменении данного показателя, приходит к разрушению, особенно это касается кольцевых схем. В связи с чем, анализ по такому фактору теряет смысл на уровне систем доставки грузов.

Следует обратить внимание, что увеличение скорости доставки только тогда дает эффект, когда в результате ее роста, время оборота сократится на

столько, что позволит за плановое время работы системы выполнить дополнительно хотя бы одну езду.

Во всех системах наблюдаются достаточно большие промежутки приращения скорости, которые не сопровождаются ростом выработки, а в малых системах рост скорости может приводить к нарушению равенства между  $I$  и  $R$ , и тогда системы перейдут в перенасыщенное состояние, что приведет не только к росту эксплуатационных расходов, но и к образованию внутрисменных потерь времени в ожидании повторных погрузок, которые невозможно выявить, применяя приближенные формулы производительности. Это является основанием для определения рациональной (оптимальной) скорости по условиям доставки грузов в системах.

При росте грузоподъемности используемых в системах автомобилей наблюдается постоянное сокращение числа ездов за плановое время функционирования систем, что является следствием одновременного возрастания  $t_{пв}$ , а это в свою очередь приводит к тому, что автомобили меньшей грузоподъемности, в одних и тех же условиях эксплуатации, могут иметь большую выработку.

Эффект от роста грузоподъемности применяемых транспортных средств может стать отрицательным, а не положительным, как это было принято и утверждалось во многих научных работах. Поэтому также как для систем, существует рациональная величина скорости, существует и рациональная величина грузоподъемности транспортных средств.

Эффект от уменьшения времени простоя под погрузкой-выгрузкой в указанных системах проявляется только в том случае, когда за плановое время функционирования системы можно выполнить хотя бы одну езду. Но при этом следует учитывать, что в связанных системах, какими являются малые, сокращение  $t_{пв}$  в одном из пунктов, приводящее к уменьшению средней величины  $t_{пв}$ , не дает положительного результата, т.к. выработка и эффективность согласуется с  $R$ .

Наличие времени ожидания обслуживания в грузовых пунктах, при ритмичном функционировании системы, может быть (и является) положительным явлением с точки зрения максимизации объема доставки грузов, а неизбежные потери времени автомобилями есть объективная действительность, связанная с не кратностью времени оборота и ритма выполнения грузовых работ.