

## ОПИСАНИЕ И АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ И СРЕДНИХ СИСТЕМ

Средние системы доставки грузов (ССДГ) значительно отличаются от рассмотренных малых систем по конфигурации и по мощности осваиваемых объемов грузов. ССДГ подразделяются на простые и сложные, которые, в свою очередь, могут быть не насыщенными и насыщенными (см. п. 3.3. Классификация автотранспортных систем). Учитывая, что при изложении материала принята концепция – «от простого к сложному», в первую очередь рассматривается анализ применительно к ненасыщенным ССДГ.

### Закономерности протекания транспортного процесса в средних не насыщенных системах при изменении величин технико-экономических показателей.

#### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОБЕГА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМОБИЛЕЙ И НЕНАСЫЩЕННЫХ ССДГ

В качестве примера, рассмотрим функционирование группы автомобилей одинаковой грузоподъемности в городских условиях эксплуатации, которые осуществляют завоз груза из периферии в центр. По конфигурации такая система соответствует радиальной схеме (см. п. 1.3), ветви которой по своей конфигурации соответствует маятниковым схемам с обратным не груженым пробегом. Поэтому первоначальное значение коэффициента  $\beta$  по всем ветвям и для системы составляет 0,5.

Увеличение коэффициента  $\beta$  произойдет в том, случае если на одной из ветвей системы появится грузовой пункт (например, на ветви 1) (см. рис. 6.1), в который будет возможна доставка груза при совершении пробега в обратном

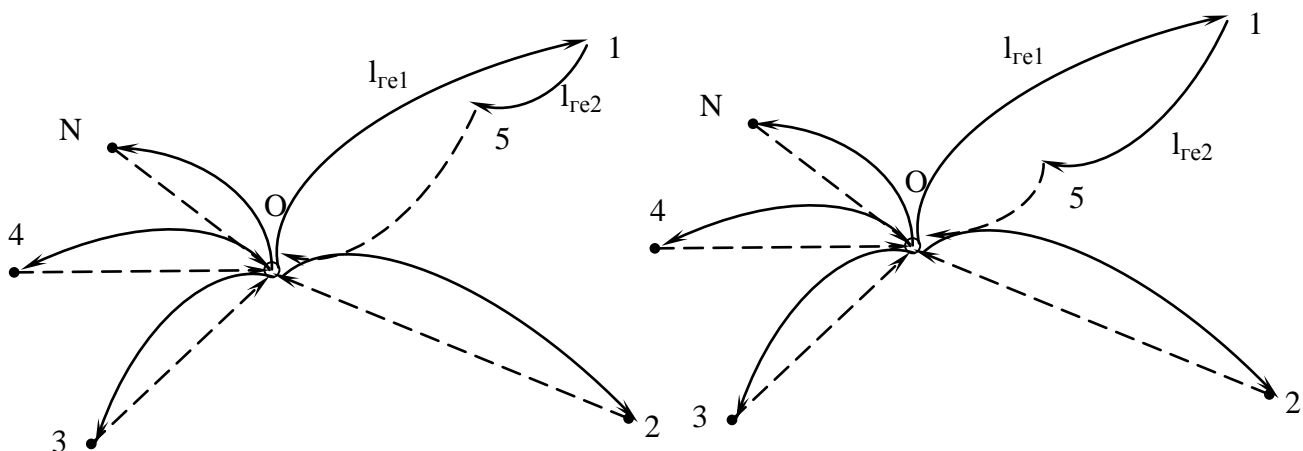


Рис. 6.1 – Изменение схемы ССДГ при росте коэффициента  $\beta$

направлении. В данном случае по этой ветви автомобиль будет совершать езду с грузом, а за оборот будет доставляться две порции груза. При дальнейшем

увеличении расстояния доставки груза (в нашем случае  $l_{ге2}$ ) по этой же ветви, коэффициент  $\beta$  в системе будет возрастать, но количество доставляемого груза за оборот по ветви и во всей системе не изменится (не увеличится). Если не считать того факта, что появление дополнительных затрат времени на выполнение погрузочно-разгрузочных работ приводит к увеличению времени оборота по данной ветви и при этом возможно сокращение ездки или даже оборота в конце смены. Дальнейшее приращение объема доставляемого груза (числа ездки) произойдет в том случае, если станет возможным по другой ветви в обратном направлении хоть на каком-то расстоянии организовать доставку груза.

В целом в системе произойдет скачкообразный рост количества доставляемого груза, возрастет коэффициент  $\beta$ , но на остальных ветвях выработка останется неизменной. Поэтому, как бы не пытались, с помощью усредненных значений  $\beta$ , рассчитать выработку на всех ветвях ССДГ, результат будет только там, где действительно получается дополнительная ездка за оборот по определенной ветви системы. Общее изменение объема перевозок и грузооборота в системе является результатом сложения работ, выполняемых на конкретных ветвях системы.

Анализ результатов функционирования системы позволяет говорить о том, что организационные мероприятия по осуществлению транспортного процесса, появление новых грузовых пунктов в системе, изменили ее качественный облик, и по сути дела, в организационном плане мы имеем уже не простую, а комбинированную ССДГ, некоторые ветви которой будут характеризоваться коэффициентом  $\beta > 0,5$ .

В качестве примера, рассмотрим изменение выработки комбинированной средней системы, в которой осуществляется завоз и вывоз груза из центрального грузового пункта на периферию, при изменении  $\beta$ . При этом принято допущение, что, коэффициент  $\beta$  может изменяться при совершении автомобилем пробега с грузом в обратном направлении на всем протяжении, по одной или нескольким ветвям системы.

В расчетах приняты следующие ограничения: расстояние перевозки груза по ветвям системы  $l_{п1} = 5$  км,  $l_{п2} = 10$  км,  $l_{п3} = 15$  км,  $l_{п4} = 20$  км,  $l_{п5} = 25$  км, средняя техническая скорость  $V_T = 25$  км/ч, затраты времени на выполнение погрузочных и разгрузочных операций за ездку  $t_{пв} = 0,6$  ч,  $\gamma_c = 1$ , номинальная грузоподъемность используемых автомобилей КамАЗ-53212  $q = 10$  т. Результаты расчетов представлены в табл. 6.1.

В графе 1 приведены кодовые обозначения величины  $\beta$  каждой ветви РМ. Например, для строки № 16 – 11010. Это значит, что на первой, второй, четвертой ветви транспортной схеме  $\beta = 1$ , а на третьей и пятой  $\beta = 0,5$ . Количество груза доставляемого в системе ( $Q$ ) определялось путем суммирования выработки автомобилей в тоннах по каждой ветви.

Анализ результатов расчета показывает, что в средних системах с одинаковой величиной  $\beta$  выработка автомобилей может складываться различная. Например, № варианта 11,12,13, где  $\beta = 0,70$ , выработка автомобилей составляет соответственно 280т, 290т, 330т, при этом выработка при варианте №11 будет

отличаться от выработки при варианте №13 на 50 т, что составит 15% (табл. 6.1).

Таблица 6.1 - Результаты расчетов выработки автомобилей в средней системе при изменении  $\beta$

№	Код	$\beta$	Q,т	№	Код	$\beta$	Q,т	№	Код	$\beta$	Q,т	№	Код	$\beta$	Q,т
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3
1	00000	0,50	250	9	01100	0,66	290	17	00101	0,76	290	25	11110	0,83	350
2	10000	0,53	230	10	10010	0,66	300	18	10110	0,76	340	26	01011	0,87	340
3	01000	0,56	250	11	01010	0,70	280	19	11001	0,76	340	27	11101	0,87	320
4	00100	0,60	260	12	10001	0,70	290	20	00011	0,80	290	28	00111	0,90	340
5	11000	0,60	290	13	11100	0,70	330	21	01110	0,80	350	29	11011	0,90	330
6	00010	0,63	240	14	00110	0,73	270	22	10101	0,80	330	30	10111	0,93	320
7	10100	0,63	280	15	01001	0,73	310	23	01101	0,83	330	31	01111	0,97	340
8	00001	0,66	280	16	11010	0,73	330	24	10011	0,83	340	32	11111	1	360

Если провести исследования затрат времени на выработку автомобилей и системы в целом, то окажется, что число оборотов по ветвям системы уменьшится, т.к. автомобили будут вынуждены дополнительно простаивать в грузовых пунктах и время погрузки выгрузки за оборот  $t_{пво}$  будет расти. При этом затраты времени на выполнение этих операций будут определяться по формуле

$$t_{нво} = \sum_{i=1}^n t_{нvi}, \quad (6.1)$$

где n-число ездов, совершаемое автомобилем по i-ой ветви системы за оборот.

Если же учесть, что в результате роста коэффициента  $\beta$  уменьшается эксплуатационная скорость  $V_э$ , то это так же приводит к увеличению времени оборота и к сокращению общего количества оборотов по ветвям ССДГ. Тогда может быть падение общего числа ездов. Следовательно, в определенных ситуациях рост  $\beta$  может вызвать сокращение количества доставляемого груза в системе. Поэтому при разработке моделей и описания функционирования ССДГ коэффициент  $\beta$  не должен участвовать в расчетах производительности и себестоимости перевозок грузов. В свою очередь это есть доказательство того, почему в работе не рассматривается влияние экономических показателей на функционирование ССДГ. Их еще необходимо установить, а это является, как видно, самостоятельной областью научных исследований, которые следует провести.

Изложенная таким образом сущность изменения коэффициента  $\beta$  и изменения количества доставляемого груза за оборот по каждой ветви и в целом в системе позволяет утверждать:

- не любое повышение коэффициента  $\beta$  сопровождается ростом количества перевезенного груза;
- количество доставляемого груза в системе увеличивается прямо пропорционально числу ездов, выполняемых за оборот по каждой ветви средней системы;
- полученные данные указывают на отсутствие закономерной связи между объемом перевозимого груза и величиной  $\beta$ , т.к.  $\beta$  может возрастать, а объем перевозимого груза может оставаться на том же уровне;
- использование в расчетах среднего значения  $\beta$  приводит к обезличиванию ветвей и не возможности дать характеристику типу ветви - маятниковая она или кольцевая.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СРЕДНЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НЕНАСЫЩЕННОЙ ССДГ

Влияния средней технической скорости рассмотрим на примере функционирования системы, в которой осуществляется завоз груза с периферии в центральный пункт. Перевозку груза в данной системе осуществляют автопоезда грузоподъемностью 20 т в количестве  $A_3=15$  ед. Такая ситуация на практике складывается тогда, когда заказывается определенное количество автомобилей, которые необходимо задействовать в системе с максимальной эффективностью. Для проведения исследования в данной системе приняты следующие исходные данные:

-количество поставщиков	5
-количество постов погрузки у каждого поставщика	2
-продолжительность погрузки, мин	50
-номинальная грузоподъемность ПС, т	20
-расстояние перевозки ( $l_{п1}=20$ км, $l_{п2}= 17$ км, $l_{п3}= 28$ км, $l_{п4}= 9$ км, $l_{п5}= 22$ км)	
-продолжительность работы поставщика, ч	14
-количество постов разгрузки	3
-затраты времени в пункте погрузки на оформление документов, маневрирование и др., мин	20
-продолжительность разгрузки на посту, мин	50
-продолжительность работы пункта разгрузки, ч	14
-статический коэффициент использования грузоподъемности	1

Результаты расчетов представлены в табл. 6.2-6.3, по которым построены графические зависимости представленные на рис. 6.2, 6.3, 6.5.

Анализ построенных графиков, представленных на рис.6.2 показывает, что зависимость выработки системы в тоннах от  $V_T$  имеет вид разрывной линейной функции.

Наблюдаются значительные промежутки, при которых увеличение скорости не приводит к изменению выработки системы. Причем, чем выше скорость, тем меньше становится прирост выработки, а удельные затраты на реализацию этой скорости все больше и больше. Таким образом, объясняются причины не-

соответствий плановой и фактической величины выработки, получаемых в практике эксплуатации грузовых автомобилей.

Таблица 6.2 - Изменение показателей функционирования системы в зависимости от роста  $V_T$

$V_T$ , км/ч	$Q_p$ , т	$P_p$ , т·км	$Z_e$
25	760	16020	38
27	760	16020	38
29	760	16020	38
31	760	16020	38
33	760	16020	38
35	800	16380	40
37	800	16380	40
39	800	16380	40
41	800	16380	40

где  $Q_p$  и  $P_p$  – выработка в тоннах и тонно-километрах, полученная прямым счетом.

Таблица 6.3 - Влияние роста средней технической скорости на выработку автомобиля в системе

$V_T$ , км/ч	Первый автомо- биль	Седьмой автомо- биль	Десятый автомо- биль	Пятнадцатый автомобиль
	$Q_p$ , т	$Q_p$ , т	$Q_p$ , т	$Q_p$ , т
25	60	40	40	40
27	60	40	40	40
29	60	40	40	40
31	60	60	40	40
33	60	60	40	40
35	60	40	40	40
37	60	40	40	40
39	60	60	40	40
41	60	60	60	40

Анализ данных табл. 6.2, показывает, что при изменении  $V_T$  от 25км/ч до 33км/ч, объем перевозок составляет 760т, и, лишь при достижении скорости 35км/ч, объем выработки в системе составит 800т. Это связано с тем, что коли-

чественные изменения, произошедшие в системе, повлекли качественно новое ее состояние.

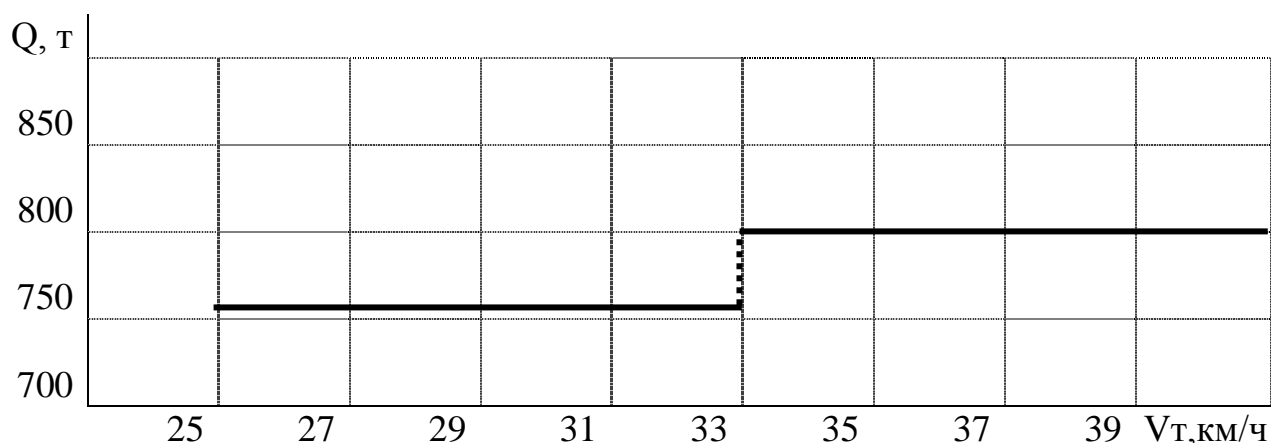


Рис. 6.2 – зависимость выработки автомобилей в системе при росте V<sub>т</sub>

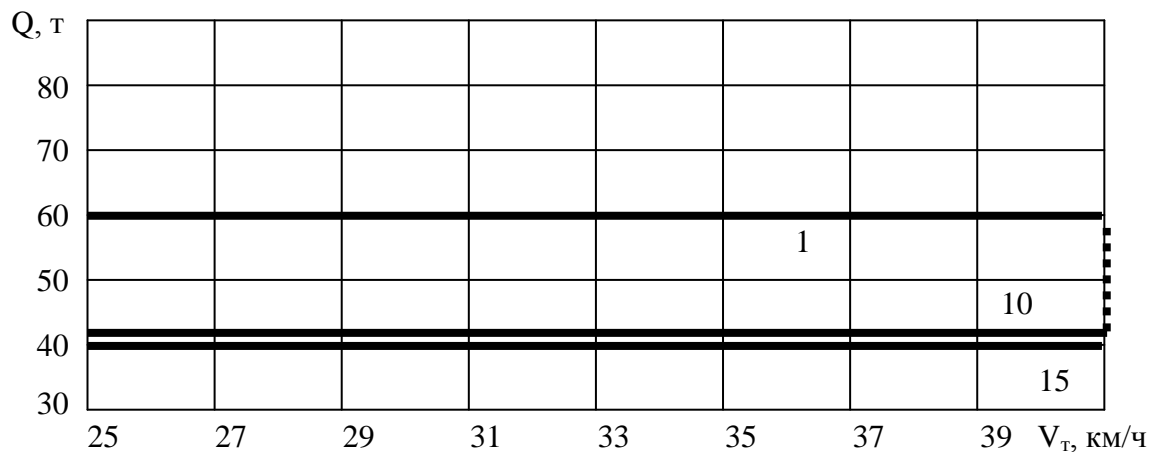
При этом, автомобили, функционирующие в системе стали выполнять 40 ездов вместо 38, т.к. с ростом скорости движения за время работы у некоторых автомобилей появилась возможность выполнить большее число ездов. Однако при этом автомобиль вынужден чаще попадать под обслуживание в погрузочно-разгрузочные пункты, что в свою очередь вызывает рост затрат времени, который может привести к снижению выработки у отдельного автомобиля.

В результате анализа установлено, что в автотранспортной системе складываются свои значения рациональной средней технической скорости, которые необходимо использовать на этапе планирования. В нашем случае такими рациональными скоростями являются 25 км/ч и 35 км/ч, которые соответствуют минимальным значениям в интервалах, не сопровождающиеся ростом выработки. Использование в практике планирования других промежуточных значений скорости, не приводящие к росту выработки в системе, только приведут к необоснованному росту затрат на ее реализацию. В нашем случае, если в системе невозможно реализовать скорость в 35 км/ч, то в расчеты плановых заданий автомобилей необходимо закладывать скорость равную 25 км/ч.

Аналогичный характер имеет зависимость выработки в тонно-километрах в системе при изменении V<sub>т</sub> (табл. 6.2).

На рис. 6.3 представлены графические зависимости изменения выработки отдельного автомобиля при изменении V<sub>т</sub>, анализ которых позволяет сделать вывод о том, что величина выработки каждого автомобиля в системе неодинакова, и зависит от количества совершаемых ездов.

Выработка отдельного автомобиля с ростом скорости может увеличиваться, оставаться постоянной и даже падать. Выработка 1-го и 15-го вышедшего на линию автомобиля на всем интервале изменения скорости остается постоянной и составляет соответственно 60 тонн и 40 тонн. В свою очередь у других автомобилей, работающих в системе, рост скорости приводит к различным изменениям величины выработки.



1, 10, 15 – 1-й, 10-й, 15-й порядковый номер вышедшего на линию автомобиля

Рис. 6.3 - Изменение выработки автомобиля в зависимости от роста средней технической скорости

Анализ данных, представленные в табл. 6.3, позволяет говорить о том, что величина выработки 7-го автомобиля в интервалах изменения скорости от 25км/ч до 29км/ч и от 35км/ч до 37км/ч, составляет 40т. При скорости 31,33,39,41км/ч выработка автомобиля повышается до 60 тонн. Так же следует заметить то, что выработка у последних вышедших на линию автомобилей составляет меньшую величину, чем у первых. Это связано с тем, что последние вышедшие на линию автомобили имеют меньше времени на выполнение транспортной работы в связи с потерями времени при организации их выпуска.

Для устранения образования первоначальной очереди в центральном пункте системы выпуск автомобилей должен осуществляться в соответствии с его ритмом работы ( $R_{ц.п.}$ ). Предельное время нахождения каждого автомобиля в системе  $T_{mi}$  будет определяться моментом окончания работы разгрузочного пункта, как это представлено на рис. 6.4 для первых десяти автомобилей.



где  $T_{н.р}$ ,  $T_{ок.р}$  – соответственно время начала и окончания работы системы;  $i$ - порядковый номер автомобиля.

Рис.6.4.- Продолжительность нахождения автомобиля в системе

Максимальное время  $T_{mi}$  нахождения в системе 1-го автомобиля может равняться продолжительности работы системы  $T_c$ , для каждого последующего вышедшего на линию

$$T_{mi} = T_c - R_{ц.п.} \cdot (i - 1), \quad (6.2)$$

На рис. 6.5 изображены графические зависимости изменения величины транспортной работы автомобиля при росте  $V_T$  в системе. Анализ зависимостей позволяет сделать вывод о том, что транспортная работа автомобиля при увеличении  $V_T$  может оставаться неизменной на большом промежутке изменения скорости, а также возрастать и уменьшаться.

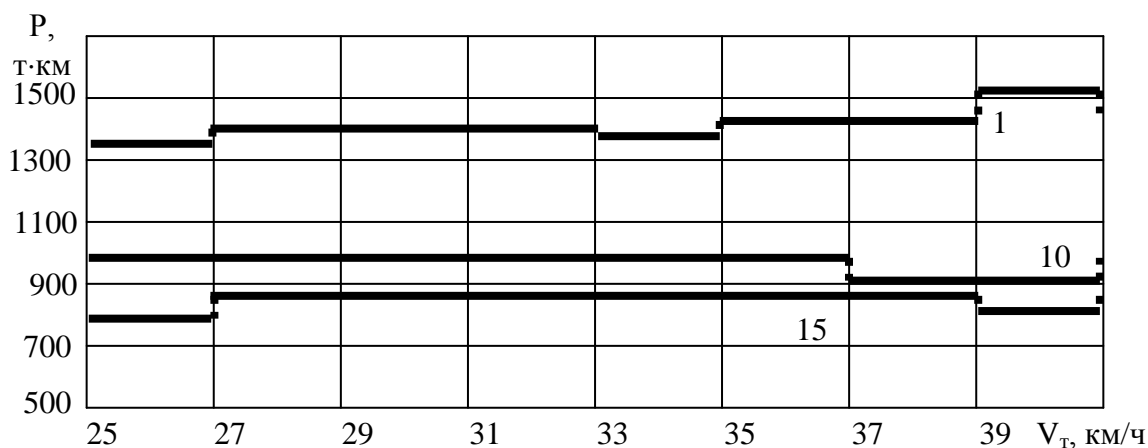


Рис. 6.5 - Изменение транспортной работы автомобиля в зависимости от роста средней технической скорости

Анализ значений транспортной работы 1-го, 10-го, 15-го автомобиля показывает, что изменение величины происходит в результате назначения автомобилю определенного количества ездки, которое он должен выполнить по ветвям радиального маршрута различной протяженности. При этом количество выполняемых ездки и перевозимого груза может не измениться, однако автомобиль будет осуществлять перевозки по другим ветвям системы с другой протяженностью (см. зависимость 10-го автомобиля при  $V_T = 35$  км/ч и 37 км/ч).

В отношении представленного исследования следует указать, на то, что это приведено в качестве примера из общего объема выполненных расчетов и построений. Расчеты проводились во всех типах ненасыщенных средних системах - простых и комбинированных, в которых осуществлялись перевозки различных грузов. Достоверность полученных результатов подтверждает объем выборки, который определялся при проведении исследований, общее количество расчетов которых было сделано несколько тысяч, что гораздо больше чем требовалось. При этом выявленные при проведении анализа закономерности протекания транспортного процесса характерны всем ненасыщенным средним системам.

Все вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы:



- величина выработки каждого автомобиля, функционирующего в ненасыщенной средней системе при изменении  $V_T$ , неодинакова, а расчет планового задания каждому автомобилю по средним величинам на основе математического аппарата производительности может приводить к несоответствиям плановой и фактической величины;

- с ростом скорости выработка системы в тоннах и тонно-километрах, и выработка автомобиля может увеличиваться, оставаться неизменной в значительных интервалах изменения величины  $V_T$ ;

- с ростом скорости выработка повышается не у всех автомобилей, а у отдельных, что связано с временем пребывания в системе, временем выполнения оборотов по ветвям средней системы и количеством этих оборотов;

- графическая зависимость выработки системы при изменении скорости представляет собой вид разрывной линейной функции;

- имеются значительные промежутки изменения средней технической скорости движения автомобиля, при которых выработка системы и автомобиля не претерпевает изменений;

- при сменно-суточном планировании необходимо учитывать возможность реализации автомобилем выявленных рациональных значений скорости. В противном случае реализация промежуточных скоростей будет сопровождаться только необоснованными затратами.

### **Модель функционирования ненасыщенной ССДГ**

Анализ результатов вычислительных экспериментов и натурных наблюдений, позволяет по-новому взглянуть на проблему описания функционирования ССДГ.

Математический аппарат классической теории транспортного процесса не подходит для описания ССДГ по следующим причинам:

- не учитывается дискретность транспортного процесса;

- невозможно определить момент возникновения и продолжительности ожидания автомобилей в центральном пункте;

- не кратность продолжительности оборота по каждой ветви системы;

- невозможность учета влияния автомобилей между собой через общие посты погрузки и разгрузки;

- невозможность учета назначения вновь прибывшего в центральный пункт автомобиля на очередную езду из имеющихся невыполненных на данный момент времени.

Выявленные действительные закономерности протекания транспортного процесса в ненасыщенных ССДГ при изменении величин ТЭП и принятая научная концепция позволяют построить модель функционирования средней системы.

При описании функционирования автомобилей по ветвям системы необходимо принять следующие приоритеты обслуживания:

1) при одинаковой значимости периферийных пунктов за приоритет берутся эксплуатационные или экономические факторы, ими могут быть следующие: удаленность периферийного пункта (совершаемый пробег и продолжительность оборота), объем заявленного груза, выполняемая транспортная работа, затраты на перевозку и др.;

2) значимость периферийных пунктов данной ветви системы, например, в результате приоритетности сдачи объекта в эксплуатацию и других факторов.

В нормальных условиях функционирования ССДГ принимается первый вариант, поэтому, в первую очередь, планируются отправки по тем ветвям системы, которые имеют наибольшую удаленность от центрального пункта и которые заявили наибольшее количество груза.

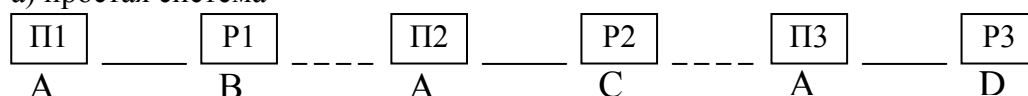
Подход к построению модели описания ненасыщенных ССДГ заключается в развертывании работы автомобиля в системе в соответствии с последовательностью выполнения операций транспортного процесса за все время работы системы ( $T_c$ ) для последующего обобщения полученного результата работы нескольких автомобилей.

Транспортный процесс одного автомобиля в ненасыщенных ССДГ может быть представлен в следующем виде:

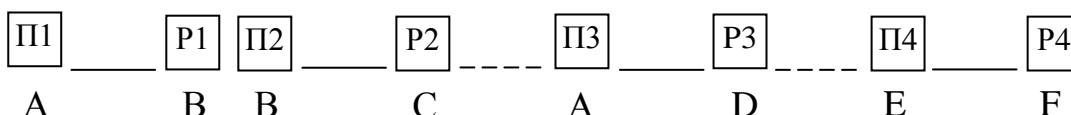
Формулировка модели функционирования ненасыщенной ССДГ производится следующим образом.

Имеется система доставки грузов с одним центральным и множеством пе-

а) простая система



б) комбинированная система



где А – центральный пункт; В, С, D – периферийные пункты; ———— – гружёный пробег; - - - - - – холостой пробег; П – погрузка; P – разгрузка.

риферийных пунктов, соединенных между собой транспортной сетью. На постах погрузки сосредоточен транспортно-однородный груз. Ежедневно в систему поступают заявки на перевозку такого груза. В зависимости от сложившейся или проектируемой организации перевозок конфигурация ветвей системы соответствует радиальным транспортным схемам помашинных отправок.

В модели приняты следующие допущения и ограничения:

- грузовые пункты одновременно начинают и заканчивают свою работу;
- количество периферийных пунктов и ветвей системы (Н) известно;
- расстояния между грузовыми пунктами известны;
- время на совершение ездки с грузом не превышает времени работы системы;

- суммарная потребность в грузе должна быть меньше пропускной способности центрального пункта;
- вид груза, грузоподъемность транспортного средства, режим работы грузовых пунктов и продолжительность операций транспортного процесса по каждой ветви известны;

В результате проведенных исследований функционирования средних систем было получено, что режим (продолжительность) работы центрального пункта является фактором, определяющим пропускную способность системы фактором. В соответствии с этим продолжительность работы центрального пункта  $T_{ц.п.}$  определяет плановую продолжительность функционирования всей системы  $T_c$ , следовательно

$$T_c = T_{ц.п.}, \quad (6.5)$$

плановая продолжительность нахождения автомобиля на маршруте  $T_m$  равна времени работы системы  $T_c$ .

В первую очередь необходимо определить условие не превышения объема груза, предъявляемого к перевозке по всем ветвям ССДГ  $\sum_1^H Q_h$ , максимально возможному количеству груза, которое может пропустить центральный пункт  $Q_{ц.п.}$ ,

$$Q_{ц.п.} > \sum_1^H Q_h, \quad (6.6)$$

где  $Q_{ц.п.}$  – максимально возможное количество груза, которое может пропустить центральный пункт системы,  $t$  (технологическая характеристика центрального пункта);  $Q_h$  – объем груза, предъявленный к перевозке по  $h$ -ой ветви системы,  $t, (h=1,2,\dots,H)$ .

На основании данных о количестве груза рассчитывается число оборотов (ездок) по каждой ветви системы:

$$Z_h = \frac{Q_h}{q_h \cdot \gamma_c}. \quad (6.7)$$

Полученное значение округляют до целого. В большую сторону при необходимости обязательного вывоза груза заданного объема или в меньшую сторону, если остаток груза, получившийся в результате не кратности объема перевозок и грузоподъемности, является несущественным и его можно доставить в последующий период планирования.

Максимально возможное количество машинозаяздов, которое может обслужить центральный пункт системы ( $Z_{ц.п.}$ ) за время работы, определяется по формуле:

$$Z_{ц.п.} = \left[ \frac{T_{ц.п.}}{t_{ц.п.}} \right] \cdot X_{ц.п.}, \quad (6.8)$$

где  $[x]$  – целая часть числа  $X$ ;  $t_{ц.п.}$  – продолжительность погрузки (разгрузки) на посту в центральном пункте, ч;  $T_{ц.п.}$  – продолжительность функционирования центрального грузового пункта, ч;  $X_{ц.п.}$  – количество грузовых постов в центральном пункте системы.

Если количество ездов (оборотов), которое необходимо совершить в ненасыщенной системе для перевозки груза заданного объема  $\sum_1^H Z_h$ , меньше максимально возможного количества машинозаяздов, которые может обслужить центральный пункт системы  $Z_{ц.п}$  за время функционирования, тогда выполняется следующее условие:

$$\sum_1^H Z_h < Z_{ц.п}, \quad (6.9)$$

Если условие (6.6 и 6.9) выполняется, то система ненасыщенная.

В результате проведенного анализа функционирования ССДГ выявлено, что в целях исключения образования первоначальной очереди транспортные средства на первую погрузку должны поступать согласно ритму работы центрального пункта:

тогда плановое время пребывания в системе каждого автомобиля будет определяться по формуле

$$T_{mi} = T_c - t_{ц.п.} \cdot [(i-1)/X_{ц.п.}] \quad (6.11)$$

где  $[Y]$  – целая часть числа  $Y$ ;  $i$  – порядковый номер выхода автомобиля на линию.

$$R = \frac{t_{ц.п.}}{X_{ц.п.}}, \quad (6.10)$$

$X_{ц.п.}$  – количество грузовых постов в центральном пункте системы.

В результате проведенных в предыдущих параграфах исследований было выявлено, что за  $T_{mi}$  автомобиль сможет выполнить определенное количество ездов (оборотов) в системе. Продолжительность оборота автомобиля по ветви системы будет зависеть от конфигурации ветви (маятниковая или кольцевая) и продолжительности выполнения операций транспортного процесса.

Время оборота автомобиля по  $h$ -ой ветви определяется по формуле

$$t_{oh} = \sum_1^n \frac{l_{rej}}{V_{Tj}} + \sum_1^m \frac{l_{xr}}{V_{Tr}} + \sum_1^n t_{пвj}, \quad (6.12)$$

где  $j$  – переменная количества ездов автомобиля, совершаемое по  $h$ -ой ветви системы,  $j=1,2,\dots,n$ ;  $r$  – переменная количества звеньев, которое должен пройти автомобиль по  $h$ -ой ветви, чтобы выполнить  $n$  ездов с грузом,  $r=1,2,\dots,m$ .

Количество оборотов, которое может выполнить  $i$ -ый автомобиль по  $h$ -ой ветви системы, определяется по следующей формуле:

$$Z_{oih} = \left[ \frac{T_{mi}}{t_{oh}} \right]. \quad (6.13)$$

где  $[x]$  – целая часть числа  $X$ ,

Остаток времени автомобиля после совершения полных оборотов определяется по формуле:

$$\Delta T_{Mi} = T_{Mi} - Z_{oih} \cdot t_{oh} \quad (6.14)$$

Количество ездов, которое может выполнить  $i$ -й автомобиль по  $h$ -ой ветви системы за время, оставшееся после исполнения целого количества оборотов, определяется следующим образом:

$$Z_{eij} = \begin{cases} n, \text{ если } \frac{\Delta T_{Mij}}{\frac{\sum_1^n I_{rej} + \sum_1^m I_{xr}}{V_{Th}} + \sum_1^n t_{nbj}} \geq 1 \\ 1, \text{ если } \frac{\Delta T_{Mij}}{\frac{I_{re1}}{V_{Th}} + t_{nb1}} \geq 1 \\ 0, \text{ в противном случае,} \end{cases} \quad (6.15)$$

Количество ездов, которое может выполнить  $i$ -ый автомобиль по  $h$ -ой ветви системы, определяется по формуле:

$$Z_{ejh} = Z_{oih} \cdot n + Z'_{ej}, \quad (6.16)$$

Количество груза, которое возможно перевезти  $i$ -ым автомобилем по  $h$ -ой ветви системы определяется по следующей формуле:

$$Q_{ih} = q \cdot Z_{oih} \cdot \sum_1^n \gamma_{cj} + q \sum_1^{Z_{ej}} \gamma_{cj}, \quad (6.17)$$

а транспортная работа при этом составит следующую величину:

$$P_{ih} = q \cdot Z_{oih} \cdot \sum_1^n \gamma_{cj} \cdot l_{rej} + q \sum_1^{Z_{ej}} \gamma_{cj} \cdot l_{rej}. \quad (6.18)$$

Пробег автомобиля в системе (без нулевых) составит:

$$L_{обшиh} = Z_{oih} \cdot l_h + \left( \sum_1^{Z_{ei}} l_{zej} + \sum_1^m l_{xr} \right). \quad (6.19)$$

Фактические затраты времени  $i$ -го автомобиля на выполнение перевозок заданного объема составят:

$$T_{ih} = Z_{oih} \cdot t_{oh} + \frac{\sum_1^{Z_{ei}} l_{zej} + \sum_1^m l_{xr}}{V_{Th}}. \quad (6.20)$$

Используя математические выражения (6.13-6.20), можно рассчитать выработку каждого автомобиля, направленного в систему.

Фактическое количество доставляемого груза по  $h$ -ой ветви определяется:

$$Q_h \leq \sum_1^f Q_{ih}, \quad (6.21)$$

где  $f$ - количество автомобилей работающих по  $h$ -ой ветви,  $i=1,2,\dots,f$ .

Выражение (6.21) может принимать вид неравенства в том случае, когда сумма предъявленного к перевозке объема грузов не кратна грузоподъемности транспортных средств, и тогда расчетный объем перевозок  $\sum_1^f Q_{ih}$  будет несколько больше, чем  $Q_h$ .

Транспортная работа по  $h$ -ой ветви составит:

$$P_h = \sum_I^f P_{ih} \cdot \quad (6.22)$$

Общий пробег будет равен сумме всех пробегов автомобилей, направляемых для перевозок грузов по  $h$ -ой ветви системы:

$$L_{общh} = \sum_{i=1}^f L_{общih} \cdot \quad (6.23)$$

Система может быть не насыщенной в результате отсутствия необходимого количества автомобилей для обеспечения пропускной способности системы и может быть ненасыщенной ввиду ограниченного количества груза (см. классификацию).

В первом случае достаточно ограничиться расчетом выработки, которая может быть получена имеющимися автомобилями, а во втором необходимо рассчитать количество транспортных средств для освоения предъявленного к перевозке объема груза.

Выражение (6.21) как раз указывает, что расчет должен проводиться по той же процедуре, что и для малой системы.

Процедура вычислений заключается в следующем. Производится расчет числа ездов ( $Ze_1$ ) первого выходящего на линию автомобиля. Определяется количество груза ( $Q_1$ ), которое может доставить автомобиль за  $Ze_1$ . Производится сравнение заявленного к перевозке количества груза и  $Q_1$ . Если оказывается, что  $Q_{пл.} > Q_1$ , то в систему привлекается второй автомобиль. Производится корректировка объема перевозок в  $N$ -ый грузовой пункт  $h$ -ой ветви ССДГ:  $\Delta Q_{Nh} = Q_{Nh} - Q_1$ , количества периферийных пунктов для  $h$ -ой ветви системы (в случае выполнения плана перевозок в данный пункт), ее протяженности. Рассчитывается  $Ze_2$  и  $Q_2$ . Производится проверка выполнения неравенства  $Q_{Nh.} > Q_1 + Q_2$ . Если неравенство не выполняется, то для выполнения работы на данной ветви необходимо ввести третий автомобиль. Расчеты выполняют до тех пор, пока не будет выполнено условие (6.21).

Аналогичные расчеты производят для всех ветвей ненасыщенной ССДГ, после чего определяют потребность в подвижном составе в целом для ССДГ путем суммирования потребности в автомобилях, рассчитанной для всех ветвей системы отдельно. Такой подход справедлив, когда пропускная способность системы больше (в 1,5 и более раз), чем предъявлено груза к перевозке или когда система может обслужить значительно больше машинозаявок, чем выполняемое направленным количеством автомобилей.

В этих условиях возможным влиянием автомобилей друг на друга на грузовых постах центрального пункта, при повторном прибытии, в результате не кратности затрат времени на перевозку груза по различным ветвям, можно пренебречь. Возможные потери времени автомобилей в ожидании обслуживания, как это показывает практика работы, в результате таких накладок незначительны и не достигают даже одного процента рабочего времени.

Казалось бы, что, рассчитав выработку автомобилей и потребность в них по зависимостям, сходным с математическими выражениями для малых систем,

можно получить искомое решение путем простого суммирования результатов расчета. Однако здесь есть два момента, которые подчеркивают существенные различия этих расчетов с расчетами по модели малых систем.

Во-первых, в малых системах первый вышедший автомобиль возвращается первым на повторное обслуживание в центральный пункт в силу связанности системы, которая таким образом обладает таким свойством синергетики, как саморегулирование.

Этого свойства нет в средней системе, т.к. в целях устранения образования очереди транспортных средств в периферийных пунктах, где ритм работы ( $R_{п(в)j}$ ) может быть значительно больше, чем в центральном, нельзя последовательно друг за другом направлять автомобили на выполнение перевозок по одной и той же ветви системы. Если же очередной автомобиль направить на другую ветвь, то в силу некратности затрат времени на исполнение оборотов  $t_{oh}$  (ездок  $t_{eh}$ ) по различным ветвям системы автомобили могут прибывать на повторное обслуживание в центральный пункт одновременно, что вызовет образование очереди и приведет к потерям рабочего времени. Это может, в свою очередь, привести к тому, что расчетное количество автомобилей не будет соответствовать реальному протеканию транспортного процесса. Поэтому автомобили должны направляться в адрес разных периферийных пунктов, но при этом руководствоваться принятым приоритетом обслуживания.

На ветвь с приоритетным обслуживанием второй автомобиль может быть направлен не ранее, чем через интервал  $R_h$  максимального ритма работы одного из периферийных грузовых пунктов, находящихся на данной ветви.

$$R_h = \max \{R_{пj}, R_{вj}\}, \quad (6.22)$$

где  $R_{пj}, R_{вj}$  – ритм работы периферийных погрузочных и разгрузочных пунктов, ч.

Во-вторых, в условиях, когда автомобили должны для исполнения первой ездки работать на разных ветвях (с разной длительностью ездки (оборота)), после исполнения первой ездки (оборота) у них остается остаток планового времени, за который каждый автомобиль может исполнить ездку (оборот) на этой же или другой ветви. Поэтому уже на стадии расчета выработки каждого автомобиля появляется необходимость решения дополнительной задачи – задачи набора плановых работ каждому автомобилю, а для этого необходимо выполнять расчет остатка времени:

$$\Delta T_{Mj} = T_{Mj} - t_{oh} \quad (6.23)$$

Выявленная таким образом величина остатка планового времени работы автомобиля сравнивается с множеством величин времени оборотов (при кольцевой схеме ветви) или ездок (при маятниковой с обратным негруженным пробегом схеме), и если среди этого множества есть такая ездка (оборот), затраты времени на исполнение перевозок по которой меньше или равны остатку времени  $T_{Mj}$ , то в план работы автомобиля включается и такая ездка. Может оказаться, что таких оборотов(ездок) несколько, тогда для выполнения следующего оборота необходимо выбрать оборот(ездку) с наибольшей продолжительностью. Такая процедура должна выполняться для всех автомобилей по формуле:

$$\Delta T_{Mj} \geq \epsilon (t_{oh} \cdot t_{eh}) \quad (6.24)$$

Если выполняется условие (6.24), то тогда следующий оборот(ездка) рассчитывается так:

$$Z'_e = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{\Delta T_{mi}}{\in (t_{oh}; t_{eh})} \geq 1 \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (6.25)$$

Включенный оборот (ездка)  $Z'_e$  из дальнейшего рассмотрения исключается, а массив оборотов (ездок) корректируется за минусом ранее включенных в плановое задание автомобилей.

Описанная процедура должна выполняться для всех автомобилей до тех пор, пока не будет исчерпана величина  $T_{mi}$ , т.е. когда не будет выполняться условие (6.24).

Количество груза, которое будет перевезено  $i$ -ым автомобилем по  $h$ -ой ветви системы, находится по формуле (6.17), а количество груза, перевозимое  $i$ -ым автомобилем в системе, - по формуле:

$$Q_i = \sum_{h=1}^S Q_{ih} \quad (6.26)$$

Транспортная работа, выполняемая  $i$ -ым автомобилем по  $h$ -ой ветви системы, рассчитывается по формуле (6.18), а общая величина транспортной работы  $i$ -го автомобиля в системе по формуле:

$$P_i = \sum_{h=1}^S P_{ih} \quad (6.27)$$

Общий пробег, совершаемый  $i$ -ым автомобилем по  $h$ -ой ветви системы, рассчитывается по формуле (6.19), а пробег в системе по формуле:

$$L_{обш}_i = \sum_{h=1}^S L_{ih} \quad (6.28)$$

Количество груза, транспортная работа, общий пробег, выполненный всеми автомобилями, определяется по формулам:

$$Q_c = \sum_{i=1}^f Q_i \quad (6.29)$$

$$P_c = \sum_{i=1}^f P_i \quad (6.30)$$

$$L_{обш}_c = \sum_{i=1}^f L_{обш}_i \quad (6.31)$$

Блок-схема расчета по модели ненасыщенной средней системы представлена на рис.6.18.



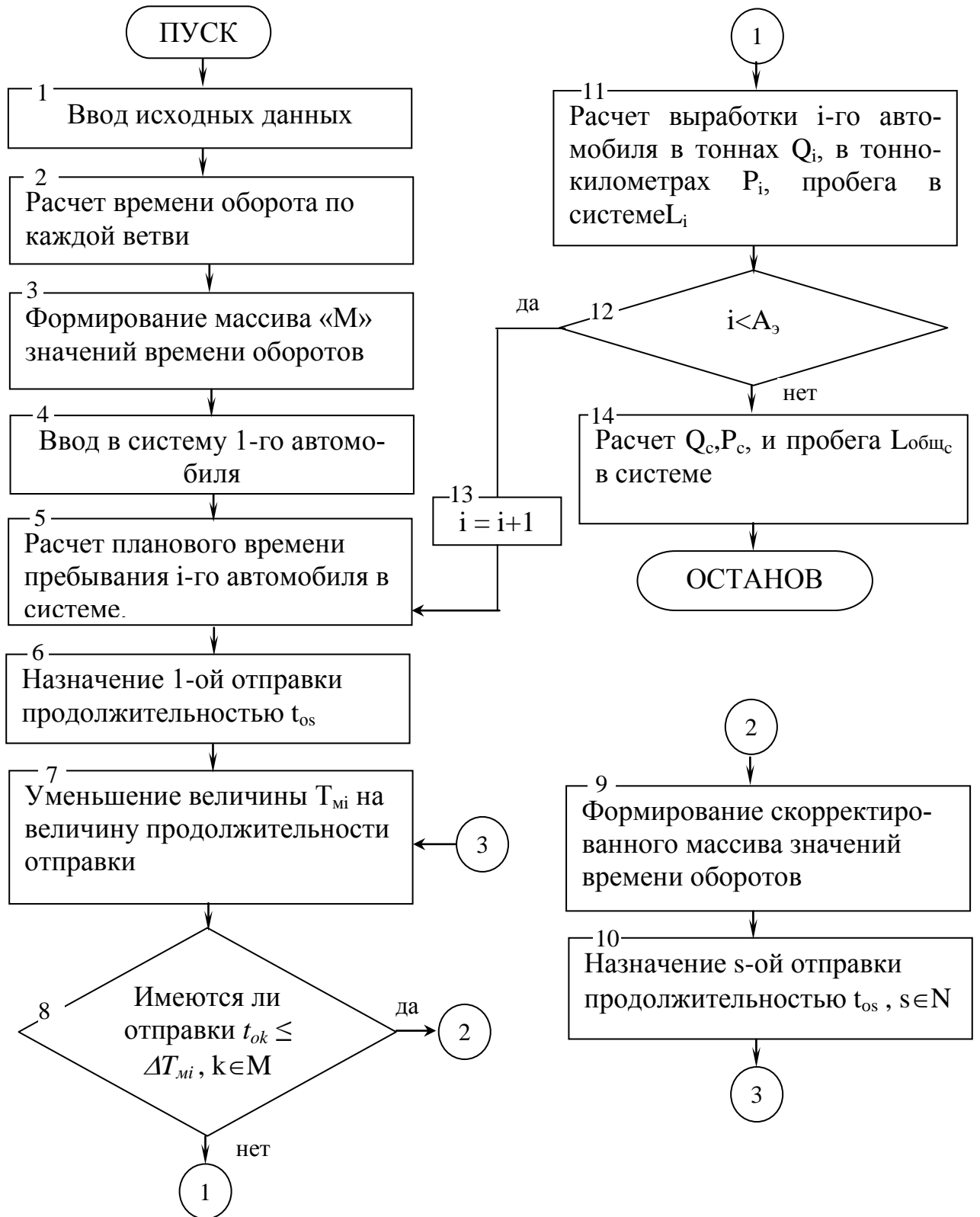


Рис.6.18 - Блок-схема расчета по модели ненасыщенной средней системы

Блок 1. Ввод исходных данных.

Входными данными являются следующие показатели работы:

- количество ветвей в системе ,  $h=1,2,\dots,N$ ;
- наличие подвижного состава  $A_s$  (ед.) и его номинальная грузоподъемность подвижного состава  $q_h$  (т);
- вид груза и статический коэффициент использования грузоподъемности  $\gamma_c$  для каждой ездки по  $h$ -ой ветви;
- пробег автомобиля по  $h$ -ой ветви системы  $l_{mh}$  (км) и средняя техническая скорость подвижного состава  $V_{th}$  (км/ч);
- количество грузовых постов в центральном ( $X_{ц.п}$ ) и периферийных пунктах ( $x_{п.п}$ ), ед;
- продолжительность работы системы  $T_c$  (ч);
- время на погрузку  $t_n$  и выгрузку груза ( $t_p$ ) единицы подвижного состава, ч.

Блок 2. Расчет времени оборота по каждой ветви.

Расчет производится по формуле 6.12.

Блок 3. Формирование массива  $M$ .

Формируется массив расчетных значений времени оборота по всем  $N$  ветвям средней системы.  $M=\{t_{o1},t_{o2},\dots,t_{ok},\dots,t_{oh}\}$ ,  $h=1,2,\dots,N$ .

Блок 4. В систему вводится первый автомобиль. Переменной  $i$  присваивается значение 1.

Блок 5. Расчет планового времени пребывания  $i$ -го автомобиля в системе производится по формуле 6.11.

Блок 6. Назначение 1-ой отправки  $i$ -му автомобилю.

Из имеющегося массива продолжительности оборота по ветвям системы выбирается 1-ая отправка продолжительностью  $t_{os}$ , где  $s$ - номер ветви в соответствии с принятым приоритетом.

При назначении первой отправки последующим, вышедшим на линию автомобилям и при назначении отправок, следующих за первой, всем автомобилям в соответствии с принятым приоритетом обслуживания необходимо, чтобы интервал между отправками по одной ветви был равен или больше  $R_h$ .

Блок 7. Уменьшение величины  $T_{mi}$  на величину продолжительности выбранной отправки. Производится расчет остатка времени на маршруте  $i$ -го автомобиля по формуле 6.23.

Блок 8. Осуществляется сравнение остатка времени  $\Delta T_{mi}$  с продолжительностью оборота по каждой  $h$ -ой ветви системы. Если такая отправка имеется, то она заносится в массив  $N$ , работает блок 9. В противном случае набор отправок  $i$ -му автомобилю заканчивается, работает блок 11.

Блок 9. Формирование массива отправок  $N$  из массива  $M$ ,  $N \in M$ .

В массив включаются все отправки, продолжительностью не более остатка времени  $\Delta T_{mi}$   $i$ -го автомобиля.  $N=\{t_{o1}, t_{o2}, \dots, t_{ok}\}$ ,  $k=1,2,\dots,K$ ,  $K \in N$ .

Блок 10. Назначение очередной  $s$ -ой отправки продолжительностью  $t_{os}$ .

Процедура назначения отправки изложена в блоке 6.

Блок 11. Расчет выработки  $i$ -го автомобиля в тоннах ( $Q_i$ ) по формуле 6.17, в тонно-километрах ( $P_i$ ) по формуле 6.18, пробега ( $L_i$ ) по формуле 6.19.

Блок 12. Проверка возможности привлечения очередного автомобиля для работы в системе.

Производят сравнение количества задействованных в системе автомобилей с имеющимся в наличии. Если имеются незадействованные автомобили, то в систему вводится очередной автомобиль, работает блок 13. В противном случае работает блок 12.

Блок 13. В систему вводится очередной автомобиль. Переменная  $i$  увеличивается на 1.

Блок 14. Расчет количества перевезенного груза (в тоннах) в системе  $Q_c$  по формуле 6.29, величина транспортной работы (в тонно-километрах)  $P_c$  по формуле 6.30, пробега автомобилей в системе (км) ( $L_{\text{общ}c}$ ) по формуле 6.31. Остатков вычислений.

При проведении расчетов следует учитывать, что на маятниковых с обратным груженым пробегом и кольцевых ветвях средней системы на последнем обороте может быть выполнено несколько ездов. Таким образом, автомобиль может перевезти разное количество груза по каждому звену ветви.

В результате исполнения разного по величине объема перевозок на звене ветви системы транспортная схема перевозок для автомобиля может трансформироваться в транспортные схемы с меньшим количеством звеньев. Например, по мере вывоза груза из первого пункта погрузки транспортная схема для этого автомобиля может трансформироваться из трехзвенной кольцевой схемы в двухзвенную, и далее - в маятниковую с обратным негруженым пробегом транспортную схему.

Такая организация выполнения перевозок позволяет улучшить использование транспортных средств, сократить потери рабочего времени и объясняет ситуации, когда на некоторых звеньях план перевозок не выполняется.

Для проверки выполнения плана перевозок необходимо произвести построение графиков работы автомобилей в системе. График строится следующим образом.

По оси абсцисс в принятом масштабе откладываются длительности операций каждого оборота на соответствующей ветви радиальной схемы, по оси ординат – порядковые номера автомобилей. Сначала производят построение графика для первого автомобиля, потом для второго и т.д.

При построении необходимо отслеживать моменты прибытия автомобилей в грузовые пункты, и если окажется так, что по прибытии автомобиля грузовой пост занят, в графике делается раздвижка на время ожидания погрузочно-разгрузочных операций. Раздвижку можно осуществлять в графике как у очередного автомобиля, так и в графиках предыдущих автомобилей. Однако при этом должны выполняться условия не превышения окончания времени работы автомобиля и времени окончания работы разгрузочного пункта, к которому направляется автомобиль на последней езде.

При построении графика работы может оказаться так, что из-за потерь времени в ожидании погрузочно-разгрузочных операций расчетным количеством транспортных средств невозможно осуществить плановый объем перевозок или, наоборот, что запланировано излишнее количество автомобилей. Тогда

для того, чтобы обеспечить вывоз груза, можно применить один из следующих способов:

- изменить приоритет начала погрузки при совершении очередного оборота в графике автомобиля, приводящего к длительным простоям. Например, пере назначить время начала исполнения оборота по одной ветви оборотом по другой ветви системы;

- если система ненасыщенная и другие мероприятия не привели к желаемому результату, то возможно добавление еще одного автомобиля в систему, который осуществит перевозку остатка невывезенного груза;

- использовать на ветви системы подвижной состав большей грузоподъемности, если возможно;

- изменить техническую скорость транспортных средств или время простоев под погрузкой и разгрузкой.

Если же запланировано излишнее количество автомобилей на ветвях радиальной транспортной схемы, то часть автомобилей будет работать неполное время в наряде и иметь значимые остатки неиспользуемого времени. Для повышения эффективности работы автомобилей необходимо при построении графиков осуществить переключение автомобилей с той ветви, где работа закончилась, на ту ветвь, где данный автомобиль сможет выполнить хоть часть запланированной работы другого автомобиля.

Попытки применения разработанной аналитической модели в практике планирования доставки грузов в насыщенных средних системах, где в «узком звене» системы автомобили вынуждены простаивать в ожидании погрузочно-разгрузочных операций, не позволили получить расчетную величину выработки транспортных средств, способную обеспечить перевозку грузов заявленного объема, ввиду невозможности описать аналитически появление времени ожидания. Таким образом, еще раз подтверждается, что насыщенные системы обладают рядом особенностей, не позволяющих ограничиться аналитическим описанием, как это было сделано для не насыщенных систем.