

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ПОГРУЗКИ-РАЗГРУЗКИ АВТОМОБИЛЕЙ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АВТОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ПО РАДИАЛЬНОМУ МАРШРУТУ

Изложены результаты исследования влияния времени погрузки-разгрузки автомобилей и ритма работы на функционирование автотранспортной системы, в которой осуществляется перевозка грузов по радиальному маршруту. Выявлены действительные закономерности изменения выработки отдельного автомобиля и системы в целом при изменении времени погрузки-разгрузки автомобилей и ритма работы центрального грузового пункта системы. Данные закономерности имеют вид разрывных линейных функций согласно дискретности протекания транспортного процесса.

Системы перевозки грузов по радиальному маршруту в рамках классификации автотранспортных систем доставки грузов /4/ относятся к средним системам. Под средней системой доставки грузов следует понимать совокупность одного центрального и множества периферийных пунктов, соединенных между собой транспортной сетью, а перевозка грузов осуществляется автомобилями по радиальному маршруту, ветви которого по конфигурации соответствуют маятниковым и кольцевым транспортным схемам /5/. При проведении анализа следует определить, насыщена система или нет. Насыщение системы может произойти по двум факторам – по объему груза, предъявленного к перевозке, и по количеству автомобилей, привлекаемых к перевозке груза.

Система называется насыщенной по объему груза, если заявленное количество груза равно или превышает то количество груза, которое способен переработать центральный пункт.

Система является насыщенной по занятости постов погрузки-выгрузки, если интервал прибытия подвижного состава в центральный пункт системы меньше ритма осуществления погрузочно-разгрузочных работ. Например, используя автомобили малой грузоподъемности, можно полностью обеспечить занятость по времени работы грузовых постов, однако количество груза, которое они смогут перевезти, не будет соответствовать максимально возможной величине. Так, при выполнении разгрузки на подъемниках технологическое время разгрузки будет соответствовать времени подъема и опускания, при этом механизму безразлично, какой грузоподъемности автомобиль поднимать. Наоборот, используя подвижной состав наибольшей грузоподъемности, можно добиться того, что занятость по времени грузовых постов будет неполной, а суммарное количество груза, которое перевезут автомобили,

будет соответствовать пропускной способности пункта.

Влияние времени выполнения погрузки-выгрузки на функционирование ненасыщенной системы рассмотрим на примере системы, в которой осуществляется завоз груза с периферии в центральный пункт.

Для проведения исследования в данной системе приняты следующие исходные данные: перевозку груза в данной системе осуществляют автопоезда грузоподъемностью 20 т в количестве $A_3=15$ ед.; количество поставщиков – $N=5$; количество постов погрузки у каждого поставщика – $X_p=2$; продолжительность погрузки – $t_n=48$ мин; расстояние перевозки от 1-го поставщика до потребителя груза, до 2-го и т. д. – $l_{n1}=20$ км, $l_{n2}=17$ км, $l_{n3}=28$ км, $l_{n4}=9$ км, $l_{n5}=22$ км; продолжительность работы поставщиков и потребителя (системы)

$$R_{ц.п.} = \frac{t_{ц.п.}}{X_{ц.п.}}, \quad (1)$$

$T_c=14$ ч; количество постов разгрузки – $X_{ц.п.}=3$; продолжительность разгрузки на посту – $t_{ц.п.}=48$ мин; статический коэффициент использования грузоподъемности – $\gamma=1$. Ветви радиального маршрута по конфигурации соответствуют маятниковой с обратным негруженным пробегом транспортной схеме перевозок. В качестве допущения были приняты условно неизменными затраты времени на сопутствующие операции в каждом грузовом пункте.

При проведении исследований функционирования системы учитывалось, что 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 пун-

кта, так для 1-го вышедшего на линию автомобиля это время будет равняться продолжительности работы системы T_c , а каждого последующего вышедшего на линию автомобиля

$$T_{mi} = T_c - t_{ц.п.} \cdot [(i-1)/X_{ц.п.}], \quad (2)$$

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

При расчете выработки автомобиля в соответствии с изложенными теоретическими положениями учитывалось, что за плановое время пребывания в системе каждое транспортное средство может выполнить только целое количество ездов.

Время оборота по h -ой ветви системы

$$t_{oh} = \frac{l_{mh}}{V_{Th}} + t_{nph}, \quad h = 1, 2, \dots, H, \quad (3)$$

где l_{mh} – пробег автомобиля по h -ой ветви системы, км; H – количество ветвей радиального маршрута в системе ($H = 5$).

Затраты времени i -го автомобиля на выполнение s ездов ($T_{\phi i}$) в системе

$$T_{\phi i} = \sum_1^s t_{oj}, \quad j = 1, 2, \dots, s. \quad (4)$$

Причем набор ездов производится таким образом, чтобы $T_{\phi i} = T_{mi}$.

После вычисления $T_{\phi i}$ может образоваться остаток времени ΔT_{mi}

$$\Delta T_{mi} = T_{mi} - T_{\phi i}. \quad (5)$$

Проверяется возможность выполнения определенного количества ездов за время ΔT_{mi} , если этого времени достаточно для выполнения на последнем обороте трех операций: погрузка, движение с грузом и разгрузка, – то тогда величина s увеличивается на единицу, в противном случае увеличение не производят, а величина ΔT_{mi} будет соответствовать объективному остатку рабочего времени каждого автомобиля в системе.

Далее производится построение часового графика работы автомобилей в системе.

Для определения выработки и общего пробега автомобиля в системе использованы зависимости 6-8.

$$Q_i = q_n \cdot \sum_1^s \gamma_{cj}. \quad (6)$$

Выработка в тонно-километрах определяется по формуле

$$P_i = q_n \cdot \sum_1^s (\gamma_{cj} \cdot l_{ze}). \quad (7)$$

Общий пробег автомобилей в системе составит

$$L_{общ_i} = \left(\sum_1^s l_{rej} + \sum_1^m l_{xr} \right), \quad (8)$$

где m – количество звеньев транспортной сети, которое должен пройти автомобиль без груза, чтобы выполнить s ездов с грузом.

В качестве метода исследования был взят метод цепных подстановок.

Для проверки соответствия выявленных дискретных закономерностей реальному процессу были проведены натурные наблюдения за функционированием системы при заданных плановых величинах ТЭП работы подвижного состава. Фактические значения выработки системы и автомобиля в тоннах отмечены на рисунках в виде жирных точек.

Время простоя автомобиля при выполнении погрузочно-разгрузочных операций определяется прежде всего производительностью обслуживаемых механизмов и грузоподъемностью автомобилей. Каждый грузовой пункт представляет собой отдельно функционирующую систему со своими сложившимися затратами времени на обслуживание, которые зависят от ряда факторов: оснащение механизмами различной производительности; вид груза, предложенный к перевозке (могут относиться к разным классам), и в соответствии с этим будет различная степень использования номинальной грузоподъемности автомобилей. В свою очередь это будет определять максимальное количество машинозездов, которое может обслужить данный грузовой пункт; затратами времени на выполнение сопутствующих операций (маневрирование, взвешивание, оформление документов и т. п.). Отсюда следует, что время нахождения транспортных средств в грузовом пункте будет определяться по формуле

$$t_{np} = t_n + t_{nn} + t_p + t_{np}, \quad (9)$$

где t_n, t_p – продолжительность времени простоя на посту погрузки и разгрузки, ч; t_{nn}, t_{np} – суммарные затраты времени на сопутствующие операции в пункте погрузки и разгрузки, ч, а время на погрузку или разгрузку

$$t_{n(p)} = \tau_{n(p)} \cdot g \cdot \gamma, \quad (10)$$

где $\tau_{n(p)}$ – время на погрузку-(разгрузку) 1 т груза, ч; g – номинальная грузоподъемность подвижного состава, т; γ – статический коэффициент использования грузоподъемности.

Согласно положениям классической теории грузовых автомобильных перевозок /1, 2, 3/ считается, что в результате повышения производительности поста обслуживания и сокращения t_{np} выработка подвижного состава возрастает,

а зависимость может быть описана уравнением равнобочной гиперболы.

Результаты расчетов (табл. 1) и построенный график (см. рис. 1) показывают, что зависимость $Q = f(t_{пр})$ носит характер разрывной линейной функции, а не гиперболы, как это утверждает классическая теория грузовых автомобильных перевозок.

Состояние системы с изменением в ней времени погрузки-разгрузки меняется дискретно, согласно числу выполненных ездов. Так, при изменении $t_{пр}$ в системе с 40 мин до 42 мин выработка в тоннах изменяется с 960 т до 940 т. Это связано с тем, что автомобили, функционирующие в системе, за плановое время в наряде смогут выполнить только 47 ездов вместо 48. Наблюдаются промежутки изменения $t_{пр}$, которые не приводят к изменению выработки системы. Так, при изменении $t_{пр}$ с 43 мин до 46 мин в системе совершается 45 ездов, и выработка в этом интервале времени остается неизменной и составляет 900 т.

Полученные результаты показывают, что не любое мероприятие, направленное на уменьшение затрат времени на выполнение операций погрузки и разгрузки, обязательно приводит к повышению выработки системы. Если изменение выработки системы (рис. 1 и 2), в зависимости от роста $t_{пр}$, однозначно имеет тенденцию к уменьшению, то выработка отдельно взятого автомобиля не имеет такой последовательности (рис. 3 и 4).

Анализ результатов, представленных в табл. 2, по которым построены зависимости, представленные на рис. 3, показывает, что выработка отдельного автомобиля может изменяться в интервале изменения $t_{пр}$ как в большую, так и в меньшую сторону (см. зависимость первого автомобиля) или оставаться постоянной на всем интервале изменения $t_{пр}$ (см. зависимость 10-го автомобиля).

Аналогично можно характеризовать зависимость величины транспортной работы автомобиля от $t_{пр}$, представленную на рис. 4. Это говорит о том, что не всякое мероприятие по уменьшению времени простоя обязательно приведет к адекватному изменению выработки автомобиля.

Результаты расчетов и практической деятельности свидетельствуют о том, что не всякое сокращение времени $t_{пр}$ приводит к увеличению выработки как системы, так и автомобиля. Эффект может быть получен лишь в том

случае, если в результате снижения времени простоя при погрузке – выгрузке станет возможным совершение хотя бы одной ездки в адрес хотя бы одного клиента. Если увеличение выработки отсутствует, то мероприятия, направленные на снижение $t_{пр}$, приведут лишь к увеличению непроизводительных простоев оборудования и необоснованному привлечению затрат на его модернизацию.

Исследования, проведенные учеными СибАДИ, установили, что для всех ненасыщенных средних систем существуют рациональные значения $t_{пр}$. Рациональной величиной $t_{пр}$ является такое его минимальное значение, которому соответствует заданная величина выработки системы на определенном интервале изменения величины $t_{пр}$.

В представленном примере из табл. 1 и на рис. 1 показано, что при сокращении $t_{пр}$ до величины $t_{пр} = 46$ мин происходит дискретный прирост выработки системы ($Q_p = 900$ т), а далее на интервале сокращения $t_{пр}$ до 43 мин выработка системы не изменяется. Следовательно, одно рациональное значение $t_{пр}$ составляет в данной системе $t_{пр} = 46$ мин. Другими являются величины $t_{пр}$, равные 48, 43 и 42 мин.

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

- график зависимости выработки системы имеет вид разрывной линейной функции;
- при изменении времени $t_{пр}$ выработка автомобиля может как возрастать, так и падать, а также в пределах значительного интервала изменения времени $t_{пр}$ оставаться постоянной.

Согласно проведенным исследованиям в ненасыщенных системах ритм работы влияет на продолжительность нахождения автомобиля на маршруте, в связи с чем каждый последующий входящий в систему автомобиль имеет меньшее по продолжительности время на выполнение своей работы. Поэтому последние вышедшие на линию автомобили могут выполнить меньшее количество ездов и меньший объем перевозок, чем ранее вышедшие автомобили. В связи с чем при анализе функционирования автомобилей, особенно в насыщенных малых системах, следует оперировать не временем погрузки-разгрузки, а ритмом работы данной системы. Ритм определяется как «минимально возможный период времени между обслуживанием последовательно приходящих автомобилей».

Отличие от малых систем /3/, где ритм определяется максимальной величиной ритма одно-

го из грузовых пунктов, в средних системах, как отмечено выше, определяющим фактором является ритм работы центрального пункта, т. к. его пропускная способность определяет, какое количество груза будет доставляться в системе. Как видим, время погрузки-разгрузки ($t_{пр}$) относится к показателям, определяющим работу автомобиля, а ритм центрального грузового пункта (системы) – к показателям, определяющим эффективность работы всей системы в целом.

Если в ненасыщенных системах оперировать величиной $t_{пр}$ можно, то функционирование насыщенных систем необходимо рассматривать с использованием ритма в связи с тем, что автомобиль в таких системах вынужден еще и простаивать в ожидании погрузочно-разгрузочных операций. Появление и продолжительность этого времени с помощью аналитического аппарата выявить не представляется возможным, поэтому привлечение имитационного моделирования и теории расписаний становится необходимостью в рассмотрении функционирования насыщенных систем.

Что касается средних насыщенных систем, то дополнительным аргументом за использование ритма в качестве показателя является различная величина $t_{пр}$, складывающаяся на каждой ветви системы, а использование в расчетах средней величины $t_{пр}$ приводит к обезличиванию ветвей системы, на основании которой невозможно определить затраты времени на совершение погрузочно-разгрузочных операций конкретной ветви системы. Более того, если использовать подвижной состав различной грузоподъемности, то тем более следует использовать ритм работы системы, т. к. грузоподъемность и время погрузки-разгрузки – это связанные между собой показатели.

В связи с этим функционирование всей системы должно быть подчинено ритму работы центрального пункта, а как долго будет простаивать автомобиль в периферийном пункте, при условии выполнения заданного объема перевозок, это может повлиять только на потребность в транспортных средствах.

Расчет влияния изменения ритма работы на эффективность функционирования насыщенной системы проведем на примере системы вывоза груза из центрального грузового пункта на периферийные по отношению к центральному пункты.

Согласно полученным результатам, представленным в табл. 3, на основе которых были

построены графические зависимости изменения Q , A_3 , $P = f(R)$ (см. рис. 5-8), приходим к выводу, что непрерывная зависимость изменения исследуемых показателей в результате совершенствования погрузочно-разгрузочных работ и изменения ритма работы системы не проявляется.

Графическая зависимость изменения выработки насыщенной средней системы, как представлено на рис. 5, имеет вид разрывной линейной функции. При этом не наблюдается монотонного изменения величины выработки системы.

Увеличение выработки произойдет в том случае, если величина ритма уменьшится настолько, что грузовые посты центрального пункта системы смогут обслужить хотя бы на один машиноезд больше. В противном случае уменьшение ритма работы системы не приведет к увеличению количества доставляемого груза и средства, направленные на совершенствование погрузочно-разгрузочных работ, не будут оправданы.

Из анализа графических зависимостей, представленных на рис. 5, видно, что поле рисунка при изменении ритма делится на две области. Первая – интервал значений ритма, при которых система не насыщена (величины менее 0,130 ч), т. к. возможности центрального пункта превосходят суммарный объем груза, предъявленный к перевозкам.

Вторая – интервал значений ритма, при которых система насыщена (величины более 0,130 ч). В результате роста ритма выполнения погрузочно-разгрузочных работ происходит снижение количества машиноездов, которое пункт может обслужить за одинаковое время работы, в результате чего пропускная способность стала меньше объема груза, предъявленного к перевозке. В связи с этим можно сделать вывод о том, что каждой величине ритма соответствует максимально возможное количество груза, которое возможно перевезти в данной системе.

При разработке модели и расчетах необходимо учитывать данное соотношение количества заявленного объема груза пропускной способности системы (центрального пункта). Неучет выявленного положения в практике планирования, приводящий к снижению эффективности работы всей системы, и объясняет ситуации, почему не выполняется плановый объем перевозок.

Таблица 1. Изменение показателей работы ненасыщенной системы в зависимости от роста $t_{пр}$

$t_{пр}$, мин	Z	Q_p , т	P_p , ткм
40	48	960	20720
41	48	960	20720
42	47	940	20160
43	45	900	19800
44	45	900	19800
45	45	900	19800
46	42	840	18720
47	42	840	18720
48	42	840	18720

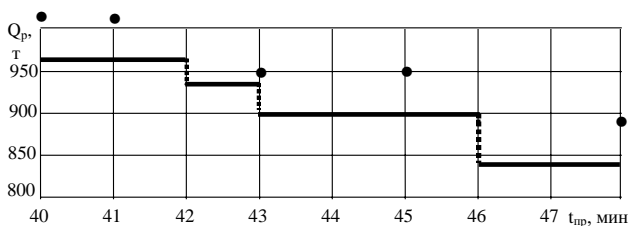


Рисунок 1. Изменение выработки системы в зависимости от роста времени погрузки-разгрузки автомобиля

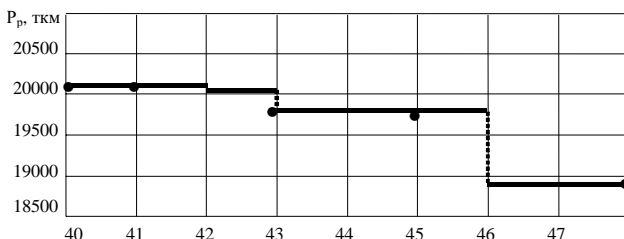


Рисунок 2. Изменение величины транспортной работы подвижного состава в системе в зависимости от роста времени погрузки-выгрузки

Таблица 2. Показатели работы автомобилей в ненасыщенной системе при изменении времени выполнения погрузочно-разгрузочных операций

R, ч	Z_e			Q_p , т			P_p , ткм		
	1 ^{-го}	10 ^{-го}	15 ^{-го}	1 ^{-го}	10 ^{-го}	15 ^{-го}	1 ^{-го}	10 ^{-го}	15 ^{-го}
40	4	3	3	80	60	60	1740	1300	1180
41	4	3	3	80	60	60	1680	1300	1180
42	3	3	3	60	60	60	1340	1300	1180
43	4	3	3	80	60	60	1740	1300	1180
44	3	3	3	60	60	60	1340	1300	1180
45	4	3	3	80	60	60	1740	1300	840
46	3	3	2	60	60	40	1400	1300	840
47	3	3	2	60	60	40	1400	1300	840
48	3	3	2	60	60	40	1520	1240	840

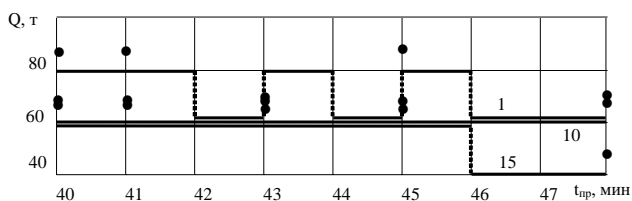


Рисунок 3. Изменение выработки автомобиля при росте времени погрузки-разгрузки

Насыщенные системы характеризуются тем, что грузовое оборудование центрального пункта во времени занято в течение всей смены и отсутствуют простои в ожидании прибытия очередного автомобиля. Работа же автомобилей, как правило, сопровождается простоями в ожидании обслуживания на грузовом посту, причем чем больше величина ритма, тем больше величина суммарного времени ожидания. В свою очередь, увеличение времени ожидания погрузочно-разгрузочных операций приводит к росту продолжительности оборота по ветвям системы и увеличению величины интервала прибытия автомобилей в центральный пункт системы.

Приведенные в табл. 3 результаты расчетов и построенный график (рис. 6) наглядно показывают, что при увеличении ритма работы насыщенной системы потребность в транспортных средствах уменьшается. Причем изменение потребности в подвижном составе происходит не постепенно, а дискретно, сразу на величину целого количества автомобилей, а графическая зависимость имеет вид линейной разрывной функции. Более того, при определенных значениях ритма (в нашем случае $R = 0,250$ ч и $R = 0,283$ ч) потребность в транспортных средствах может оставаться неизменной.

Проведенные исследования показали, что интервал прибытия автомобилей возрастает медленнее, чем ритм системы, что в конечном итоге влечет к снижению потребности транспортных средств. Изменение потребности в автомобилях в системе происходит в том случае, если изменение ритма и количества совершаемых в центральный пункт машинозаявок привело к возможности перевозки груза заданного объема меньшим количеством автомобилей.

Согласно данным табл. 4 и анализу графических зависимостей, представленных на рис. 7, выработка отдельно взятого автомобиля может как увеличиваться или уменьшаться, так и оставаться неизменной при изменении ритма. Такие изменения выработки отдельно взятого автомобиля объясняются особенностями протекания транспортного процесса в ССДГ, заключающимися в том, что автомобили, как правило, не работают на одних и тех же ветвях системы, и с целью эффективного использования автомобилем времени на маршруте необходимо решение задачи назначения очередной ездки.

Как и в ненасыщенной системе, повышение выработки автомобиля при снижении ритма

Таблица 3. Показатели работы насыщенной системы при изменении ритма работы системы

R, ч	Количество машинозаяздов (ездок) ($Z_{н.п.}$)	Выработка системы (Q_p), т	Потребность в подвижном составе (Аз), ед.	Выработка системы (P_p), ткм
0,116	103	1300	27	34905
0,132	91	910	27	30890
0,150	80	800	24	27155
0,183	66	660	19	22065
0,217	56	560	17	18670
0,250	48	480	15	16290
0,283	43	430	15	14260
0,317	38	380	14	12560

Таблица 4. Показатели работы автомобилей в насыщенной системе при изменении ритма работы системы

R, ч	Z_e		Q_p , т		P_p , ткм	
	$1^{то}$	$14^{то}$	$1^{то}$	$14^{то}$	$1^{то}$	$14^{то}$
0,116	4	4	40	40	1325	1140
0,132	3	4	30	40	1300	1100
0,150	3	4	30	40	1275	1080
0,183	3	3	30	30	1230	1050
0,217	3	3	30	40	1300	1095
0,250	3	3	30	30	1300	1030
0,283	3	3	30	30	1255	910
0,317	3	3	30	30	1280	910

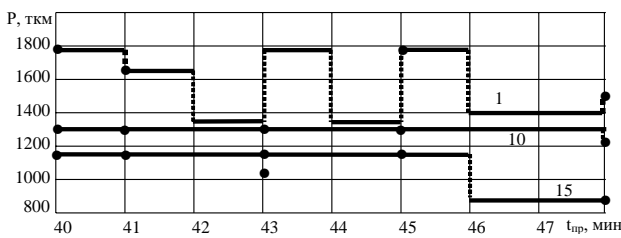


Рисунок 4. Изменение величины транспортной работы автомобиля в системе при росте времени погрузки-разгрузки

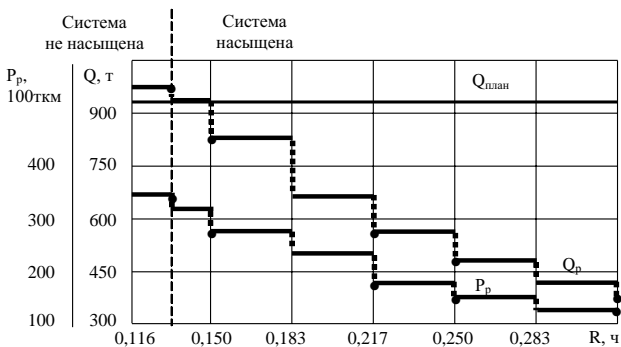


Рисунок 5. Зависимость изменения объема перевезенного груза и величины транспортной работы при изменении ритма работы насыщенной средней системы

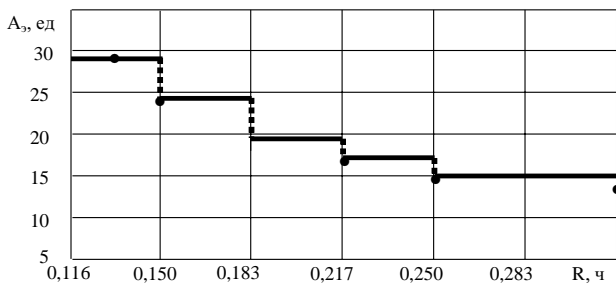


Рисунок 6. Зависимость изменения количества автомобилей при изменении ритма работы насыщенной средней системы

работы системы может быть получено лишь в том случае, если за плановое время нахождения в наряде автомобиль сможет выполнить хотя бы одну дополнительную езду. В нашем случае совершенствование погрузочно-разгрузочных работ в системе, сокращение ритма с 0,317 ч до 0,150 ч для 1-го вышедшего автомобиля не привело к повышению эффективности его работы, т. к. за время нахождения в системе данный автомобиль выполняет только 3 ездки. В отличие от 1-го автомобиля выработка в тоннах 14-го вышедшего на линию автомобиля в данном интервале изменения ритма может расти, падать, а также оставаться неизменной.

Как следует из анализа графических зависимостей, представленных на рис. 8, при изменении ритма работы системы величина транспортной работы автомобиля может увеличиваться, уменьшаться и оставаться неизменной в значительном интервале изменения ритма. Причем не наблюдается монотонного изменения функции, а закономерность соответствует разрывной линии.

Анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы:

- изменение ритма работы системы приводит к изменению количества машинозаяздов, которое может обслужить центральный пункт за время функционирования;
- при достижении определенной величины ритма (в нашем случае при $R = 0,130$ ч) система из не насыщенного состояния переходит в насыщенное;

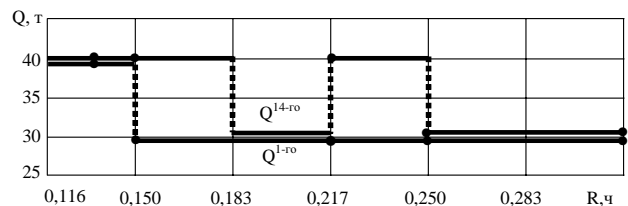


Рисунок 7. Зависимость изменения выработки автомобиля при изменении ритма работы насыщенной средней системы

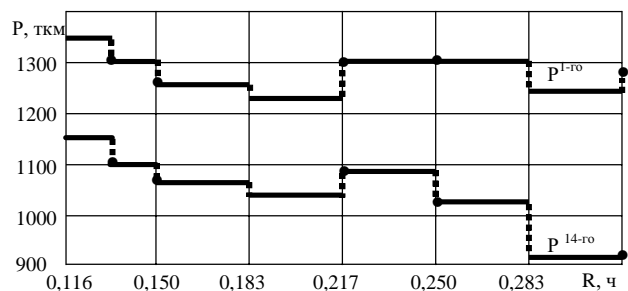


Рисунок 8. Зависимость изменения транспортной работы автомобиля при изменении ритма работы насыщенной средней системы

– графическая зависимость изменения выработки насыщенной средней системы имеет вид разрывной линейной функции. Увеличение выработки произойдет в том случае, если величина ритма уменьшится настолько, что грузовые посты центрального пункта системы способны будут обслужить хотя бы на один машиноезд больше;

– имеется рациональное значение ритма, соответствующее максимальной величине выра-

ботки системы и рациональной потребности транспортных средств;

– при изменении ритма выработка автомобиля может возрастать, уменьшаться, а также в пределах значительного интервала изменения времени оставаться постоянной;

– при изменении ритма потребность в транспортных средствах изменяется дискретно сразу на целую величину, причем потребность может оставаться неизменной в определенном интервале изменения ритма.

Список использованной литературы:

1. Лейдерман С.Р. Эксплуатация грузовых автомобилей. – М.: Транспорт, 1966. – 150 с.
2. Афанасьев Л.Л. и др. Единая транспортная система и автомобильные перевозки. Учеб. для вузов / Л.Л. Афанасьев, Н.Б. Островский, С.М. Цукерберг. М.: Транспорт, 1984. – 333 с.
3. Каниовский П.В. Эксплуатация автомобильного транспорта. – М.: Изд-во Мин. коммунальн. РСФСР, 1947. – 303 с.
4. Николин В.И., Мочалин С.М., Витвицкий Е.Е., Николин И.В. Проектирование автотранспортных систем доставки грузов: Монография. – Омск, Изд-во СибАДИ, 2001. – 178 с.
5. Мочалин С.М. Научные основы совершенствования теории грузовых автомобильных перевозок по радиальным маршрутам: Монография. – Омск: Изд-во «Вариант-Сибирь», 2003. – 246 с.