

Е. А. Леонов // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сборник научных статей. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 174–181.

Статья поступила 06.12.2021

УДК 656.13

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ПРИМЕНЕНИЕМ СЕКТОРАЛЬНОГО МЕТОДА**

*Семченков С. С.*, ст. преп., *Капский Д. В.*, декан, д-р тех. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: *d.kapsky@bntu.by*

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF ROUTE PASSENGER TRANSPORT USING THE SPECTRAL METHOD**

*S. Semtchenkov*, senior lecturer,  
*D. Kapski*, Dean, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus,  
e-mail: *d.kapsky@bntu.by*

*В составе затрат предприятий транспорта доля заработной платы водителей эксплуатационного парка составляет 30–50 %, формируется интерес к рассмотрению данной статьи затрат в части именно эффективности организации перевозочного процесса (снижение непроизводственных затрат, повышение средней эксплуатационной скорости и т. д.), так как условия оплаты труда водителей транспортных средств ни в коем случае не должны быть ухудшены. Для снижения уровня непроизводственных затрат на ос-*

нове предложенной модели и целевой функции разработан секторальный метод организации работы водителей, отличающийся совмещением и чередованием маршрутов внутри сектора и обеспечивающий равномерную сменяемость (чередование) водителей по этим маршрутам, учитывающий среднюю продолжительность рабочей смены водителя на маршрутах, входящих в сектор. Для реализации секторального метода разработана методика оптимального формирования секторов, основанная на подборе такой комбинации маршрутов в секторе, которая будет реализовывать принцип обеспечения равноценной производственной нагрузки, при этом дополнительно учитывать ряд критериев, влияющих на выбор совмещаемых маршрутов. Подбор и расстановка водителей на каждое маршрутное транспортное средство в рамках каждого сектора осуществляются только в пределах, сформированных формулой сектора с учетом налагаемых ограничений. Для реализации разработанной методики формирования секторов автором разработан алгоритм и компьютерная программа, существенно облегчающая внедрение секторального метода и его практическую реализацию.

Ключевые слова: маршрутный пассажирский транспорт, организация перевозок, маршрутные транспортные средства, санпр режима труда и отдыха водителей, график работ

*As part of the costs of transport enterprises, the share of the wages of drivers of the operating fleet is 30–50 %, interest is being formed in considering this cost item in terms of the efficiency of organizing the transportation process (reducing non-production costs, increasing the average operating speed, etc.), since the conditions the wages of drivers of vehicles should in no way be worsened. To reduce the level of non-production costs, on the basis of the proposed model and target function, a sectoral method for organizing the work of drivers has been developed, which is characterized by the combination and alternation of routes within the sector and ensures uniform turnover (alternation) of drivers along these routes, taking into account the average duration of a driver's work shift on routes included in the sector. To implement the sectoral method, a technique has been developed for the optimal formation of sectors, based on the selection of such a combination of routes in the sector, which will implement the principle of ensuring an equal-value production load, while additionally taking into account a number of criteria affecting the choice*

*of combined routes. The selection and placement of drivers for each route vehicle within each sector is carried out only within the limits formed by the sector formula, taking into account the imposed restrictions. To implement the developed methodology for the formation of sectors, the author has developed an algorithm and a computer program that greatly facilitates the introduction of the sectoral method and its practical implementation.*

*Keywords: route passenger transport, organization of transportation, route vehicles, CAD work and rest regime of drivers, work schedule*

## **Введение**

Рассмотрению вопроса эффективности перевозок с точки зрения организации процесса перевозок в различные периоды развития науки, экономики и общества посвящались работы Зильбертала А. Х. [1], Гудкова В.А., Вельможина А. В. [2], Спирина И. В. [3], Седюкевича В. Н. [4], Скирковского С. В. [5] и др. В частности, Седюкевичем В. Н. отмечается, что в целях оценки эффективности и качества перевозок можно использовать затраты перевозчика на перевозку одного пассажира, которые определяются удельными затратами на 1 км пробега транспортного средства, средней длиной поездки пассажира (в прямо пропорциональной зависимости), а также пассажироместимостью транспортного средства и коэффициентом использования пассажироместимости (в обратно пропорциональной зависимости) [4]. Развивая эту тему, Скирковский С. В. разработал методику повышения эффективности перевозок пассажиров, основанную на нахождении оптимальных значений пассажироместимости используемых для обслуживания данного маршрута транспортных средств и учитывающую ряд социально-экономических факторов [5]. При устойчивом характере пассажиропотока применяется маршрутная технология обслуживания, при этом учет потребностей пассажиров в совершении поездок во времени обеспечивается организацией работы по расписанию движения [4], которое составляется в соответствии с выявленными закономерностями изменения пассажиропотоков по характерным дням недели (рабочие дни, выходные дни), сезонам года для каждого маршрута. В свою очередь, график работ, являющийся документом среднесрочного планирования, служит осно-

вой для организации эксплуатационной работы и определяет качество функционирования всех служб предприятия маршрутного пассажирского транспорта [6, 7]. Следует отметить, что имеются некоторые работы, рассматривающие вопросы оптимизации работы транспортных средств, осуществляемой на этапе составления расписания движения транспортного средства, но только в течение одного календарного дня (зарубежный подход) [например, 8, 9], и решаемые, как правило, методами теории расписания (например, путем решения задачи построения расписания выполнения  $N$  заданий на  $M$  машинах при различной и для каждого из заданий очередности следования операций [10]), но при этом, опять же, не затрагивающие принципы составления графика работ. Имеющиеся исследования, в целом, ограничиваются решением вопросов составления расписания движения и не принимают во внимание, что основополагающим документом для организации эксплуатационной работы является именно месячный график работ [11]. Таким образом, рассмотренными научными работами не решена задача повышения эффективности работы маршрутного пассажирского транспорта путем системного снижения непроизводительных затрат на этапе составления графика работ в рамках среднесрочного планирования.

### **Повышение эффективности работы маршрутного пассажирского транспорта применением секторального метода**

Для определения степени неравномерности в качестве оценочного критерия предложен критерий средней продолжительности рабочей смены водителя на маршруте  $t_{срми}$ , отличающийся учетом режима работы маршрута в течение времени суток, а именно, продолжительности конкретных рабочих смен водителей по дням недели и количества таких дней в рассматриваемом календарном периоде, значение которого определяется по формуле (1):

$$t_{срми} = \frac{n_{р\partial} \cdot \sum_{j=1}^{n_{pi}} t_j + n_{\partial\partial} \cdot \sum_{j=1}^{n_{ei}} t_j}{n_{pi} \cdot n_{р\partial} + n_{ei} \cdot n_{\partial\partial}}, \quad (1)$$

где  $t_j$  – продолжительность  $j$ -ой рабочей смены;  $n_{рд}$ ,  $n_{вд}$  – количество рабочих и выходных дней соответственно в календарном месяце;  $n_{рi}$ ,  $n_{ви}$  – количество рабочих смен на  $i$ -м маршруте по расписанию рабочих и выходных дней соответственно.

Дополнительно вводится критерий средней продолжительности рабочей смены водителя в целом по рассматриваемым маршрутам  $t_{срм}$ , значение которого определяется по формуле (2):

$$t_{срм} = \frac{n_{рд} \cdot \sum_{j=1}^{n_{рм}} t_j + n_{вд} \cdot \sum_{j=1}^{n_{вм}} t_j}{n_{рм} \cdot n_{рд} + n_{вм} \cdot n_{вд}}, \quad (2),$$

где  $t_j$  – продолжительность  $j$ -ой рабочей смены;  $n_{рд}$ ,  $n_{вд}$  – количество рабочих и выходных дней соответственно в календарном месяце;  $n_{рм}$ ,  $n_{вм}$  – количество рабочих смен в целом по рассматриваемым маршрутам по расписанию рабочих и выходных дней соответственно.

Тогда для каждого маршрута по формуле (3) можно определить отклонение  $\Delta_{и}$  средней продолжительности рабочей смены на маршруте от средней продолжительности рабочей смены по рассматриваемым маршрутам:

$$\Delta_{и} = t_{срми} - t_{срм}. \quad (3),$$

Если  $\Delta_{и} < 0$ , то у водителя  $i$ -го маршрута возникает неоплачиваемая недоработка в эквиваленте, рассчитанном по штатному расписанию.

Если  $\Delta_{и} > 0$ , то у водителя  $i$ -го маршрута возникает оплачиваемая переработка, в эквиваленте, рассчитанном по штатному расписанию в увеличенном размере [11].

Отклонение рабочего времени водителей  $T_{\Delta i}$  в целом по маршруту, с учетом числа водителей  $n_{вод}$ , которые заняты обслуживанием  $i$ -го маршрута, и количество рабочих смен  $n_{рс}$ , планируемого для каждого из водителей в месяц, исходя из нормы рабочего времени по производственному календарю, определяется по формуле (4):

$$T_{\Delta i} = n_{вод} \cdot n_{рс} \cdot \Delta_{и}. \quad (4)$$

Теперь можно оценить уровень непроизводственных затрат  $L_{cyi}$ , возникающих в связи с необходимостью оплаты сверхурочного времени в размере  $l_{cy} = 8$  BYN за каждый час сверхурочного времени водителям, имеющим переработку, по формуле (5):

$$L_{cyi} = \max(l_{cy} \cdot T_{\Delta i}; 0) . \quad (5)$$

Результаты расчета для условного месяца с  $n_{рд} = 20$ ,  $n_{вд} = 10$ , выполненного по данным для некоторых маршрутов трамвая в г. Минске (по состоянию на 2019 г.), сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет значений оценочных критериев и уровня непроизводственных затрат, связанных с оплатой в условном месяце

Маршрут	$t_{срр}$ , ч	$n_{pi}$	$t_{срв}$ , ч	$n_{vi}$	$t_{срmi}$ , ч	$\Delta t_i = t_{срmi} - t_{срm}$ , ч	$n_{вод}$	$T_{\Delta i}$ , ч	$L_{cyi}$ , BYN
1	7,77	24	7,55	18	7,71	-0,29	33	-171,6	-
3	7,72	26	7,57	18	7,68	-0,32	35	-224,0	-
4	8,90	10	8,30	8	8,73	0,73	14	204,4	1635,20
5	8,70	10	8,90	8	8,76	0,76	14	212,8	1702,40
В целом по рассматриваемым маршрутам:						$t_{срm}$ , ч	8,0	$L_{сум}$ , BYN	3337,60

Для сокращения уровня непроизводственных затрат  $L_{cy}$ , возникающих в связи с необходимостью оплаты сверхурочного времени, из формулы (5) вытекает объективная необходимость минимизации  $T_{\Delta i}$  при неизменном  $l_{cy}$ . Таким образом, рассмотренная выше модель сводится к минимизации по критерию оптимальности (6) с использованием следующей зависимости:

$$L_{cyi} = \max \left( l_{cy} \cdot n_{вод} \cdot n_{pc} \left[ \frac{n_{pд} \sum_{j=1}^{n_{pi}} t_j + n_{вд} \sum_{j=1}^{n_{vi}} t_j}{n_{pi} n_{pд} + n_{vi} n_{вд}} - \frac{n_{pм} \sum_{j=1}^{n_{pm}} t_j + n_{вд} \sum_{j=1}^{n_{vm}} t_j}{n_{pm} n_{pд} + n_{vm} n_{вд}} \right]; 0 \right) \rightarrow \min \cdot (6)$$

Для решения поставленной задачи предложен секторальный метод организации работы водителей, отличающийся совмещением и чередованием маршрутов внутри сектора и обеспечивающий равномерную сменяемость (чередование) водителей по этим маршрутам, учитывающий среднюю продолжительность рабочей смены водителя на маршрутах, входящих в сектор. Таким образом, сектор – это своеобразная универсальная маршрутно-производственная структура включающая, как правило, два маршрута, подобранных на основе описанного выше принципа в соответствии с критерием оптимальности (6) с учетом влияния дополнительного критерия схожести трассы маршрута и других критериев, которые могут быть использованы, и тем самым гарантирующая равномерное обеспечение работой водителей в течение месяца так, что влияние факторов, определяющих уровень непроизводственных затрат  $L_{cy}$  будет сведено к минимуму. В соответствии с секторальным методом транспортные средства с водителями, их обслуживающими, закрепляются за секторами, включающими в себя несколько маршрутов, равномерно чередуются между ними, что в конечном счете обеспечивает сокращение уровня  $L_{cy}$  на 70–95 %.

Для реализации секторального метода разработана методика оптимального формирования секторов, основанная на подборе такой комбинации маршрутов в секторе, которая будет реализовывать принцип обеспечения равноценной производственной нагрузки, при этом дополнительно учитывать ряд критериев, влияющих на выбор совмещаемых маршрутов. К таким критериям относятся:

1. Модуль отклонения средней продолжительность рабочей смены водителя в паре объединяемых маршрутов от средней продолжительности рабочей смены водителя в целом по рассматриваемым маршрутам  $|\Delta t_{cpij}|$ , значение которого определяется по формуле (7), как показатель приближения к средней продолжительности рабочей смены:

$$|\Delta t_{cpij}| = \left| \frac{n_{p\partial} \left( \sum_{k=1}^{n_{pi}} t_k + \sum_{k=1}^{n_{pj}} t_k \right) + n_{e\partial} \left( \sum_{k=1}^{n_{ei}} t_k + \sum_{k=1}^{n_{ej}} t_k \right)}{n_{p\partial} (n_{pi} + n_{pj}) + n_{e\partial} (n_{ei} + n_{ej})} - \frac{n_{p\partial} \sum_{k=1}^{n_{pm}} t_k + n_{e\partial} \sum_{k=1}^{n_{em}} t_k}{n_{pm} n_{p\partial} + n_{em} n_{e\partial}} \right|, \quad (7)$$

где  $t_k$  – продолжительность  $k$ -ой рабочей смены;  $n_{рд}$ ,  $n_{вд}$  – количество рабочих и выходных дней соответственно в календарном месяце;  $n_{pi}$ ,  $n_{vi}$  – количество рабочих смен на  $i$ -ом маршруте по расписанию рабочих и выходных дней соответственно;  $n_{pj}$ ,  $n_{vj}$  – количество рабочих смен на  $j$ -ом маршруте по расписанию рабочих и выходных дней соответственно;  $n_{рм}$ ,  $n_{вм}$  – количество рабочих смен в целом по рассматриваемым маршрутам по расписанию рабочих и выходных дней соответственно.

2. Коэффициент схожести трасс маршрута  $k_{схij}$ , характеризующий общность трасс объединяемых маршрутов и вычисляемый по формуле (8)

$$k_{схij} = \frac{2d_{об}}{d_i + d_j}, \quad (8)$$

где  $k_{схij}$  – продолжительность  $k$ -ой рабочей смены;  $d_{об}$  – протяженность общей части трассы  $i$ -го и  $j$ -го маршрутов;  $d_i$ ,  $d_j$  – протяженность трассы  $i$ -го и  $j$ -го маршрутов.

Для подготовки исходных данных удобно представить маршрутную сеть в виде скелетной схемы (рисунок 1), формализованного типа, с обозначением каждой узловой точки, как вершины графа и присвоением каждому ребру графа значения (в рассматриваемом примере  $d_{12} = 0,6$  км;  $d_{23} = 0,6$  км;  $d_{34} = 0,7$  км;  $d_{45} = 5,8$  км;  $d_{46} = 3,4$  км;  $d_{37} = 0,5$  км;  $d_{78} = 3,3$  км).

3. Признак наличия общей конечной станции  $k_{осij}$ , на которой производятся пересменка водителей (с 1-ой на 2-ую смены), принимающий значения 1, если маршруты  $i, j$  имеют такую конечную станцию, и 0, если не имеют. Данный критерий введен, т. к. конечная станция рассматривается как постоянное место контакта водителей с непосредственным руководителем, позволяет оптимизировать работу руководителя, исключая необходимость «поиска водителя» в различных точках маршрутной сети для проведения предупредительной, профилактической, информационной работы (справочно: в рабочее время водителя включается подготовительное время 15–20 мин. перед началом работы во вторую смену). Фактически далее решение задачи сводится к математической задаче линейного программиро-

вания специального вида (транспортной задаче [12]), в которой в качестве «запасов»  $a_i$  и «потребностей»  $b_j$ , соответствующих паре объединяемых маршрутов  $i$  и  $j$ , выступают единичные значения, а в качестве «удельных стоимостей транспортировки»  $d_{ij}$  из  $i$ -го в  $j$ -й пункты выступают значения искусственной целевой функции  $W_{ij}$ , определенные для каждого возможного сочетания маршрутов  $i$  и  $j$  по формуле (9). По сути  $W_{ij}$  является суммой нормированных значений рассмотренных выше критериев с учетом весовых коэффициентов, значения которых могут варьироваться и выбираться индивидуально для каждого предприятия транспорта в зависимости от принятых приоритетов:

В результате решения транспортной задачи будут получены  $x_{ij} = 1$ , показывающие какой  $i$ -й маршрут должен быть объединен с  $j$ -м маршрутом в единый сектор.

Также следует отметить, что важным условием объединения маршрутов в сектора является принцип единства используемых в каждом секторе транспортных средств по признаку схожести параметров транспортного средства (одного типа, вида, класса пассажироместности, схемы, концепции, например, одиночный, сочлененный, троллейбусы, построенные по концепции ИМС, троллейбусы, построенные по концепции ИМФ и т. д.), что гарантирует сектору универсальность.

$$W_{ij} = w_{\Delta t_{cpij}} \left| \overline{\Delta t_{cpij}} \right| + w_{k_{cxij}} \left( 1 - \overline{k_{cxij}} \right) + w_{k_{ocij}} \left( 1 - \overline{k_{ocij}} \right), \quad (9)$$

где  $\left| \overline{\Delta t_{cpij}} \right|$  – нормированное значение модуля отклонений  $|\Delta t_{cpij}|$ ;  $\overline{k_{cxij}}$  – нормированное значение коэффициента  $k_{cxij}$ ;  $\overline{k_{ocij}}$  – нормирование значения признака  $k_{ocij}$ ;  $w_{\Delta t_{cpij}}$ ,  $w_{k_{cxij}}$ ,  $w_{k_{ocij}}$  – весовые коэффициенты, определяющие значимость каждого из критериев (в рассматриваемом примере принимаются  $w_{\Delta t_{cpij}} = 0,5$ ,  $w_{k_{cxij}} = 0,25$ ,  $w_{k_{ocij}} = 0,25$ ).

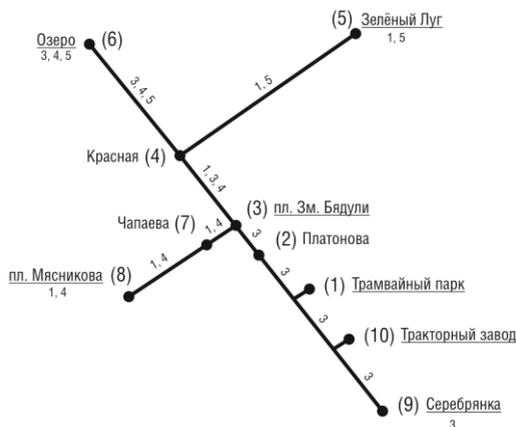


Рисунок 1 – Формализованная схема маршрутной сети

Так как  $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$  транспортная задача является «сбалансированной» и далее фактически требуется найти такой план, т. е. такие  $x_{ij} \geq 0$ , чтобы «суммарная стоимость перевозок»  $Q \rightarrow \min$ , то есть

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( w_{\Delta t_{cpij}} |\overline{\Delta t_{cpij}}| + w_{k_{csij}} (1 - \overline{k_{csij}}) + w_{k_{ocij}} (1 - \overline{k_{ocij}}) \right) x_{ij} \rightarrow \min .$$

В таблице 2 сведены значения критериев для решения задачи по исходным данным, приведенным в таблице 1, при этом следует обратить внимание, что «диагональ» ( $i = j$ ) не заполняется, так как маршрут не может «объединяться» сам с собой, а заполнение элементов правее этой диагонали не имеет смысла, так как приведёт лишь к дублированию с последующим «избыточным» решением.

В таблице 3 показаны оптимальные сочетания маршрутов, формирующих сектора, полученные решением транспортной задачи любым известным для этого методом.

Из таблицы 3 видно, что  $x_{51} = 1$ ,  $x_{43} = 1$ , что указывает на необходимость объединения в сектора маршрутов № 5 и 1 (сектор «5–1»), и маршрутов № 4 и 3 (сектор «4–3»).

Таблица 2 – Значения критериев, определяющих выбор совмещаемых маршрутов

Пара объединяемых маршрутов	1	3	4	5	max
а) значения модуля отклонений $ \Delta t_{epij} $					0,371
1	–	–	–	–	–
3	0,153	–	–	–	–
4	0,006	0,010	–	–	–
5	0,011	0,006	0,371	–	–
б) значения коэффициента схожести трасс маршрутов $k_{exij}$					0,595
1	–	–	–	–	–
3	0,059	–	–	–	–
4	0,495	0,387	–	–	–
5	0,595	0,302	0,398	–	–
в) значения признака наличия общей конечной станции, на которой производятся смены водителей $k_{ocij}$					1
1	–	–	–	–	–
3	0	–	–	–	–
4	0	1	–	–	–
5	1	1	1	–	–
г) значения искусственной функции $W_{ij}$ как $d_{ij}$					
1	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	–
3	0,681	$\infty$	$\infty$	$\infty$	–
4	0,301	0,101	$\infty$	$\infty$	–
5	0,014	0,131	0,583	$\infty$	–

В качестве оценочного критерия целесообразно определить среднюю продолжительность рабочих смен в секторе  $t_{c(ij)}$ , образованном  $i$ -м и  $j$ -м маршрутами, по формуле (10):

$$t_{c(ij)} = \frac{n_{p\partial} \left( \sum_{k=1}^{n_{pi}} t_k + \sum_{k=1}^{n_{pj}} t_k \right) + n_{e\partial} \left( \sum_{k=1}^{n_{ei}} t_k + \sum_{k=1}^{n_{ej}} t_k \right)}{n_{p\partial} (n_{pi} + n_{pj}) + n_{e\partial} (n_{ei} + n_{ej})}, \quad (10)$$

где  $t_k$  – продолжительность  $k$ -ой рабочей смены;  $n_{рд}$ ,  $n_{вд}$  – количество рабочих и выходных дней соответственно в календарном месяце;  $n_{pi}$ ,  $n_{vi}$  – количество рабочих смен на  $i$ -ом маршруте по расписанию рабочих и выходных дней соответственно;  $n_{pj}$ ,  $n_{vj}$  – количество рабочих смен на  $j$ -ом маршруте по расписанию рабочих и выходных дней соответственно.

Таблица 3 – Найденные оптимальные сочетания маршрутов, формирующих сектора

Пара объединяемых маршрутов $i, j$		1	3	4	5
$a_i / b_i$		1	1	1	1
1	1	999999 9	999999 9	9999999	9999999
3	1	0,681	999999 9	9999999	9999999
4	1	0,301	1 0,101	9999999	9999999
5	1	1 0,014	0,131	0,583	9999999

Значения данного показателя, для созданных секторов  $t_{c(51)} = 8,02$ ,  $t_{c(43)} = 7,98$ . При этом значения отклонений от средней продолжительности рабочей смены по маршрутам составляют  $\Delta_{t(51)} = 8,02 - 8,00 = 0,02$  и  $\Delta_{t(43)} = 7,98 - 8,00 = -0,02$ , что не является критичным.

Для данного сектора можно определить уровень затрат

$$L_{cy(секм)} = L_{cy(51)} + L_{cy(43)} = \max(l_{cy} \cdot T_{D(51)}; 0) + \max(l_{cy} \cdot T_{D(43)}; 0) = \max(8 \cdot 47 \cdot 20 \cdot 0,02; 0) + \max(8 \cdot 47 \cdot 20 \cdot [-0,02]; 0) = 150,40 \text{ BYN.}$$

Сравнение полученного значения с  $L_{сум}$  (до применения секторального метода) показывает, что уровень непроизводственных затрат, связанных с необходимостью оплаты водителям времени сверхурочной работы, сокращен на 95 %. Таким образом, годовой эффект от объединения четырех маршрутов в два сектора в данном примере можно оценить в 38 246,40 BYN. Предложен способ представления режимов сменности водителей, отличающийся предварительным выделением всех возможных неповторяющихся последовательностей серий рабочих смен (первая, вторая) и выходных дней, в виде буквенного (буквенно-цифрового) уникального кода и упорядочиванием их с формированием шаблонов графиков сменности, как своеобразных

типовых модулей, имеющих буквенное уникальное обозначение, и построенных по принципу гармонизации графика работ водителей, обеспечивающих не только соблюдение режимов труда и отдыха, но и равномерное распределение водителей по календарным дням месяца (с учетом неравномерности рабочие–выходные дни, первая–вторая смена и т. д.). Для комплектования сектора транспортными средствами и водителями определяется необходимое количество транспортных средств и водительских бригад (по критерию продолжительности рабочего цикла водителя), каждый сектор описывается условной формулой сектора, отражающей количество и тип сеток графика (например, 2A2B2C2D означает, что в секторе используется 8 маршрутных транспортных средств, при этом водители двух маршрутных транспортных средств работают по шаблону с кодом А, двух – В, двух – С, двух – D). Формула сектора составляется по принципу равенства количеств «каждого кода» сетки до достижения нужного количества транспортных средств (в случае, если количество транспортных средств не кратно 4 в случае вариантов А, В, С, D и не кратно 6 в случае вариантов Е, F, G, H, I, J, то используется чередование кодов «через один»). Подбор и расстановка водителей на каждое маршрутное транспортное средство в рамках каждого сектора осуществляются только в пределах сформированных формулой сектора сеток графика с учетом налагаемых ограничений (наличие допуска для работы на транспортных средствах, которыми должен быть укомплектован сектор, наличие допуска для работы на маршрутах сектора, в перспективе с учетом показателей рейтинга безопасности сектора, основанного на учете приведенного количества ДТП, произошедших на маршрутах сектора, с учетом показателей рейтинга профессиональной безопасности водителя и др.). Для реализации разработанной методики формирования секторов разработан алгоритм (укрупненный алгоритм приведен на рисунке 2) и компьютерная программа, существенно облегчающая внедрение секторального метода и его практическую реализацию. Разработанная компьютерная программа автоматизирует процессы трудоемких вычислений, а также предлагает варианты комплектования сектора транспортными средствами и водителями на основе автоматизированного проектирования режимов рабочего времени и отдыха водителя с учетом описанных условий и требований, что значительно снижает трудоемкость принятия решений и позволяет организо-

вызвать работу маршрутного пассажирского транспорта в условиях непрерывного совершенствования и оптимизации маршрутной сети и динамичного изменения объемов выполняемой транспортной работы.

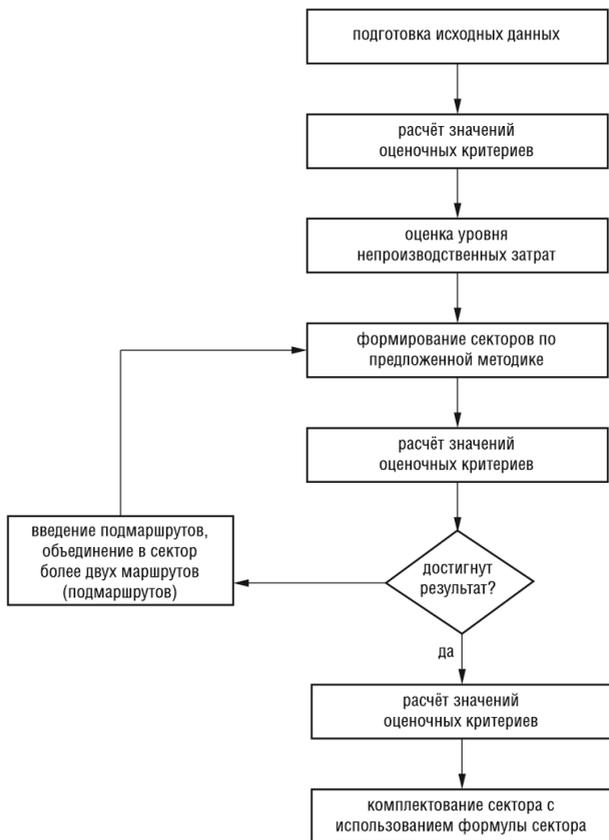


Рисунок 2 – Укрупненный алгоритм реализации разработанной методики

## Выводы

Разработаны новый метод и подходы, с помощью которых можно повысить эффективность маршрутного пассажирского транспорта за счет снижения непроизводственных затрат, а также улучшения качества его работы. Предложенная методика позволяет обеспечить равномерную производственную нагрузку, повысить рентабельность

предприятий маршрутного пассажирского транспорта, улучшить качество организации и управления перевозочными процессами, опосредованно повышает безопасность движения за счет гарантированного обеспечения режимов труда и отдыха, а также уменьшения «накопленной монотонности» и повышения информированности и осведомлённости о дорожно-транспортных ситуациях. Разработанный секторальный метод применим для организации работы маршрутного пассажирского транспорта и внедрен в г. Минске на пяти предприятиях маршрутного пассажирского транспорта крупнейшего перевозчика Беларуси, что подтверждается десятью актами внедрения в производство, отражающими практическую значимость исследования.

Стоит отметить, что секторальный метод можно применять не только для организации работы водителей с использованием существующего расписания движения, но и на этапе составления самого расписания движения и его оптимизации. Поэтому дальнейшее развитие применения метода видится за счет использования его при составлении расписания движения, что в свою очередь повысит эксплуатационную скорость, при определенных условиях обеспечит нужный интервал движения без увеличения стоянок между смежными рейсами.

## Литература

1. Зильберталь, А. Х. Проблемы городского пассажирского транспорта. – М.-Л. : Гострансиздат, 1937. – 272 с.
2. Гудков, В. А. Пассажи́рские автомоби́льные перевозки / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, А. В. Вельможин, С. А. Ширяев. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2004. – 447 с.
3. Спирин, И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками / И. В. Спирин. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
4. Седюкевич, В. Н. Коэффициент использования пассажироместимости транспортных средств как показатель оценки эффективности и качества перевозок / В. Н. Седюкевич, С. П. Якубович // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16-й МНПК. – Минск : БНТУ, 2018. – Т. 3. – С 111.
5. Скирко́вский, С. В. Организация перевозок пассажиров с обособлением параметров системы городского маршрутизированного

транспорта : автореферат диссертации канд. техн. наук : 05.22.10 / С. В. Скирковский; БНТУ. – Минск, 2018. – 21 с.

6. Правила Технической Эксплуатации Трамвая. – Минск : Белинкоммаш, 1996. – 100 с.

7. Правила Технической Эксплуатации Троллейбуса. – Минск : Белинкоммаш, 1996. – 80 с.

8. Dennis Huisman, Richard Freling, Albert P. M. Wagelmans, Multiple-Depot Integrated Vehicle and Crew Scheduling / Dennis Huisman, Richard Freling, Albert P. M. Wagelmans, // Transportation Science 39(4). – Catonsville: Informs, 2005. – P. 491–502.

9. Schneider Lars, Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr Ziele, Methoden, Konzepte / Lars Schneider. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 193 с.

10. Зак, Ю. А. Прикладные задачи теории расписаний и маршрутизации перевозок. – М. : Книжный дом «Либроком», 2018. – 394 с.

11. Выбор формы учета рабочего времени водителей маршрутного пассажирского транспорта / Д. В. Капский, Е. Н. Кот, С. С. Семченков // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сборник научных трудов / Белорусский национальный технический университет; редкол.е: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – Т. 2. – С 105–109.

12. Кузнецов, А. В., Холод, Н. И., Костевич, Л. С. Руководство к решению задач по математическому программированию. – Мн. : Вышэйшая школа, 1978. – 256 с.

Статья поступила 03.12.2021