

УДК 656.13.05

## СНИЖЕНИЕ НЕПРОДУКТИВНЫХ ЗАТРАТ МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА СЕКТОРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

**С.С. СЕМЧЕНКОВ, д-р техн. наук, доц. Д.В. КАПСКИЙ**  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

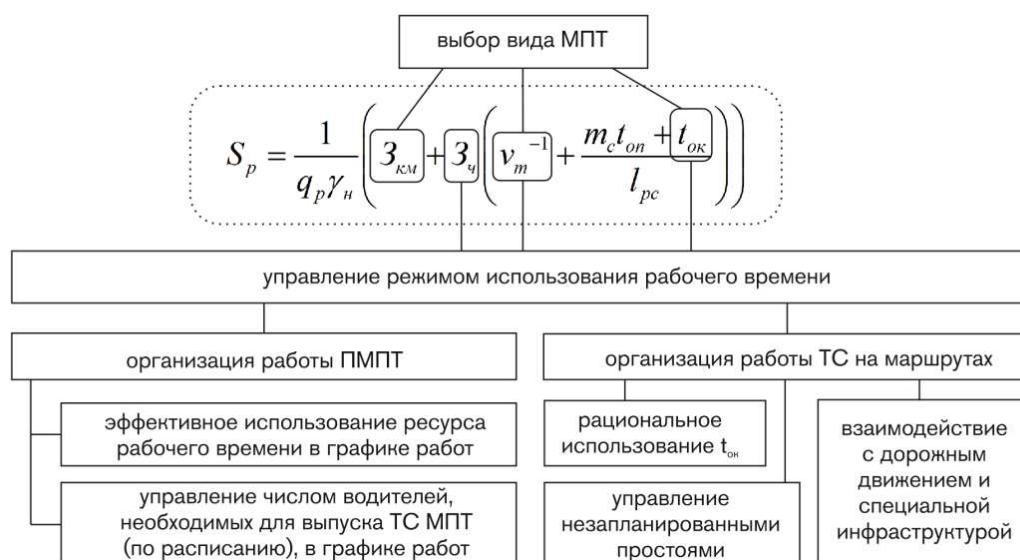
Рассмотрены вопросы снижения непродуктивных затрат маршрутного пассажирского транспорта с целью повышения эффективности на основе совершенствования процесса организации перевозок пассажиров, эксплуатационной работы с учетом особенностей различных видов транспорта. Представлены методы, методики и алгоритмы, предназначенные для реализации отдельных предложений.

**Ключевые слова:** маршрутный пассажирский транспорт, непродуктивные затраты, секторальный метод, повышение эффективности работы.

**Введение.** Маршрутный пассажирский транспорт (далее – МПТ) обеспечивает основные передвижения населения, имеет неопределимое значение в экономическом развитии городов, улучшении экологической обстановки, сокращении истощения природных ресурсов, повышении безопасности участников дорожного движения, обеспечении устойчивой мобильности населения и имеет большое социальное значение. Большая роль МПТ и дальнейшее его развитие вызывают определенный научный интерес в области проработки вопросов повышения эффективности МПТ (далее – ЭМПТ), обеспечиваемой совершенствованием процессов организации перевозок на основе модернизации деятельности эксплуатационных предприятий МПТ (далее – ПМПТ).

**Основная часть.** *Возможные пути повышения ЭМПТ.* Было проведено детальное исследование существующих методов и алгоритмов организации эксплуатационной работы ПМПТ, в результате которого введено понятие непродуктивных затрат в отношении необязательных затрат, возникающих в результате определенных недостатков и несовершенств организации их работы, обусловленных отсутствием научно обоснованных методик, отвечающих современным условиям.

Были предложены новые возможные пути повышения ЭМПТ, заключающиеся в устранении причин возникновения непродуктивных затрат ПМПТ, которые представлены на рисунке в виде схемы, иллюстрированной с использованием зависимости для определения удельной себестоимости перевозок на единицу транспортной работы  $S_p$  как важнейшего показателя эффективности при выполнении перевозок пассажиров, предложенной в [1].



$q_p$  – пассажироместность ТС, пасс.;  $\gamma_n$  – коэффициент использования пассажироместности;  $Z_{км}$  – переменные затраты на 1 км пробега ТС, BYN/км;  $Z_{ч}$  – постоянные затраты на 1 ч работы ТС, BYN/км;  $v_m$  – техническая скорость ТС, км/ч;  $m_c$  – количество остановочных пунктов;  $t_{он}$  – время нахождения ТС на остановочных пунктах, ч;  $t_{ок}$  – время нахождения ТС на конечных станциях, ч;  $l_{рс}$  – средняя дальность поездки пассажира, км

Рисунок. – Возможные пути повышения ЭМПТ

Согласно рисунку, снижение непродуктивных затрат в конечном счете приведет к снижению удельных затрат на 1 км пробега ТС и 1 ч работы ТС и повышению ЭМПТ.

*Управление режимом использования рабочего времени организацией работы ПМПТ.*

1. Эффективное использование ресурса рабочего времени водителей в графике работ, режима использования рабочего времени (далее – РИРВ) реализовано авторским секторальным методом (далее – СМ), который организовал работу водителей таким образом, что это привело к снижению непродуктивных затрат, ассоциированных с оплатой сверхурочных работ одних водителей при неполном использовании фонда рабочего времени другими.

Разработанный СМ организации и управления работой водителей и ТС при работе на сформированной маршрутной сети и по заданным расписаниям движения заключается в совмещении и чередовании маршрутов внутри сектора и обеспечивает равномерную сменяемость (чередование) водителей по этим маршрутам, учитывая среднюю продолжительность рабочей смены водителя на маршрутах, входящих в сектор.

В рамках СМ разработаны и проверены математические модели работы ТС и водителя на маршрутах ПМПТ, введено понятие сектора как технико-экономической единицы, сформированной по принципу обеспечения равноценной производственной нагрузки, заключающемуся в совмещении в секторе именно таких маршрутов (или их выпусков), которые при равномерном чередовании по ним водителей в течение месяца будут компенсировать имеющиеся неравномерности продолжительности рабочих смен по отдельным маршрутам, и учитывающему при этом среднюю продолжительность рабочей смены по каждому из совмещаемых маршрутов.

Сектор рассматривается как объединение маршрутов и водителей, каждый из которых взаимозаменяем в границах сектора. При этом высокая степень их совместимости позволяет говорить о секторе как о некоей универсальной среде, обеспечивающей выполнение принципа равноценности на экономическом уровне и конгруэнтности на транспортном. Основной принцип работы внутри сектора – «коммутиция» маршрутов и «коммутиция» водителей, закрепленных за этим сектором. Таким образом, сектор является управляемой системой «ТС–водитель–маршрут–режим работы», обладающей возможностями контролировать и управлять состоянием отдельных элементов сектора, а также осуществлять оперативный мониторинг, выявлять и оперативно разрешать проблемы, возникающие внутри сектора, анализировать эффективность.

Закономерности, гарантируемые при использовании СМ на основе соблюдения правил проектирования и формирования секторов, формулируются в виде законов, которые отражают свойства системы «ТС–водитель–маршрут–режим работы»: закон изотропности продолжительности рабочего времени внутри системы сектора, закон сохранения равенства пробега внутри системы сектора.

Спроектированные сектора отвечают следующим требованиям: комплементарность (возможность объединения маршрутов в сектор по признаку общности значимых параметров), масштабируемость (возможность увеличения количества элементов сектора за счет маршрутов, их протяженности и связей на основе учета значимых критериев, что обеспечит сохранение стабильности свойств сектора), производительности (обеспечение требуемых значений эффективности работы, пропускная способность сектора), управляемость (обеспечение возможности как централизованного, так и децентрализованного управления секторами, доступного мониторинга состояния сектора, планирования их развития, возможности эффективного управления человеческим ресурсом сектора), готовность (способность, характеризующая периодом времени, за который сектор может быть введен в работу, то есть может быть развернута работа в секторе), отказоустойчивость (способность быстрого реагирования на отказ отдельных элементов сектора, возможность замены в случае поломки ТС или невыхода водителя), безопасность (способность сектора обеспечивать высокий уровень безопасности путем подбора водителей на основе сочетания рейтинга безопасности водителя и рейтинга безопасности сектора, что условно является элементом проактивного подхода к обеспечению безопасности движения и перевозок), надежность.

Учитывая высокую степень гетерогенности маршрутов (как правило), проектирование секторов – сложная и ответственная задача, которая решается с помощью разработанной методики проектирования секторов (далее – МПС), обеспечивающей формирование равнозначных по своим параметрам секторов и реализуемой с помощью разработанного алгоритма формирования сектора. При этом важным условием объединения маршрутов в сектора является принцип единства используемых в каждом секторе ТС по признаку схожести параметров ТС одного типа, вида, класса пассажироместности, схемы, концепции реализации, что гарантирует сектору универсальность на основе взаимозаменяемости ТС и водителей.

Подробно СМ и порядок применения МПС описаны в [2].

2. Управление числом водителей, необходимых для выпуска ТС МПТ на линию по заданному расписанию, для снижения непродуктивных затрат, ассоциированных с оплатой в повышенном размере работы водителей, привлекаемых к работе для компенсации неравномерности распределения водителей по сменам и числам месяца.

В рамках СМ разработана методика составления графика отпусков водителей, отличающаяся определением дня начала трудового отпуска водителя с детализацией до 10-дневного периода (декады) в рамках каждого

месяца, что позволяет равномерно распределить 39-дневные отпуска водителей с учетом сезонности по принципу «занятости свободных ячеек», что приводит к значительному снижению степени неравномерности распределения водителей, не находящихся в трудовом отпуске, по числам каждого месяца.

В рамках СМ разработана методика назначения режимов сменности водителей на основе использования формализованных шаблонов графиков их работы, которая исключает интерференцию последовательностей чередования водителей по сменам, устраняя внутримесячную неравномерность числа водителей, необходимых для выпуска ТС МПТ.

Для реализации методики предложен способ формализованного представления режимов работы водителей, закрепленных за ТС (далее — команда), основанный на выделении в режиме сменности циклически повторяющихся последовательностей (рабочих циклов) и сведении их в матрицу (1) шаблона секвенции:

$${}^m_n G_d = \begin{pmatrix} g_{11} & \dots & \dots & \dots & g_{1d} \\ \dots & \dots & g_{ij} & \dots & \dots \\ g_{n1} & \dots & \dots & \dots & g_{nd} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

- где  $i$  – порядковый номер водителя;
- $j$  – порядковый номер рабочего дня в цикле;
- $g_{ij}$  – признак режима работы водителя (условное обозначение вида смены);
- $m$  – уникальный номер (индекс, обозначение);
- $n$  – число водителей команды;
- $d$  – продолжительность цикла.

Оригинальная типология режимов работы команд сформирована на основе выделения всех возможных неповторяющихся последовательностей серий рабочих смен и выходных дней в шаблоны секвенций, построенные по принципу гармонизации графика работ водителей, обеспечивающие не только соблюдение режимов труда и отдыха, но и равномерное распределение водителей по календарным дням месяца, объединенные по признаку в классы (2), типичные представители которых приведены в [3]:

$${}_3 G_{12} = \{ {}^A_3 G_{12}; {}^B_3 G_{12}; {}^C_3 G_{12}; {}^D_3 G_{12} \}, \quad (2)$$

$${}_2 G_{12} = \{ {}^E_2 G_{12}; {}^F_2 G_{12}; {}^G_2 G_{12}; {}^H_2 G_{12}; {}^I_2 G_{12}; {}^J_2 G_{12} \}.$$

Для определения режимов работы ТС и водителей каждый сектор описывается условной формулой сектора, отражающей количество и тип шаблонов секвенций. Для формирования формулы сектора разработан алгоритм, отличающийся подбором из числа кодированных шаблонов секвенций в соответствии с принципами СМ [4].

В дальнейшем при составлении графика работ базовая сетка графика формируется из шаблонов с повторением элементов рабочего цикла водителя. Подбор и расстановка водителей на каждое ТС осуществляются только в пределах сформированных формулой сектора сеток графика с учетом налагаемых ограничений (наличие допуска для работы на ТС, 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.).

*Управление РИРВ организацией работы ТС на маршрутах.* Универсальность принципов СМ позволяет использовать его для снижения непродуктивных затрат путем сокращения избыточного времени нахождения ТС на конечных станциях в разработанной автором модели (3) работы ТС на маршруте.

$$\begin{cases} t_{об} = t_{окА} + t_{АБ} + t_{окБ} + t_{БА}, \\ t_{окА} = t_{окоА} + t_{окдА}, \\ t_{окБ} = t_{окоБ} + t_{окдБ}, \\ t_{об} = A_m I, \end{cases}, \quad (3)$$

- где  $t_{об}$  – полное время оборота ТС на маршруте, мин;
- $t_{окА}, t_{окБ}$  – время стоянки на ст. А и ст. Б соответственно, мин;
- $t_{окоА}, t_{окоБ}$  – время обязательной стоянки на ст. А и ст. Б соответственно, мин;
- $t_{окдА}, t_{окдБ}$  – время дополнительной стоянки на ст. А и ст. Б соответственно, мин;
- $t_{АБ}, t_{БА}$  – время движения от ст. А к ст. Б и от ст. Б к ст. А соответственно, мин;

$A_m$  – количество ТС на маршруте, ед.;

$I$  – интервал движения на маршруте, мин.

Исследованием установлено, что время стоянок  $t_{окдА}$  и  $t_{окдБ}$  не может быть менее минимального времени, необходимого для санитарно-бытовых нужд водителя, компенсации возможного опоздания по прибытию, отправления ТС в следующий рейс по расписанию, на зарядку бортовых накопителей энергии новых видов МПТ [5–7]. Введено понятие времени дополнительных стоянок  $t_{окдА}$  и  $t_{окдБ}$ , возникающих сверх  $t_{окдА}$  и  $t_{окдБ}$  при обеспечении установленного интервала  $I$ , что приводит к снижению средней эксплуатационной скорости  $v_s$  и росту непродуктивных затрат.

Возможность применения СМ для организации работы ТС на маршрутах МПТ заключается в выделении и секторальном совмещении маршрутов, имеющих общие сегменты, на основе правил «коммутации» и совмещения маршрутов внутри сектора с сохранением обязательного последовательного чередования работы по ним, рациональным распределением водительских и технических ресурсов сектора. Реализация СМ для организации работы ТС на маршрутах МПТ осуществляется путем выделения на каждом маршруте внутри сектора совместных сегментов (участков маршрута), которые обслуживаются по принципу равенства сетевого интервала с гарантированным исключением эффекта Нониуса, что влечет за собой не только равномерное распределение производственной нагрузки, но и снижает экономические потери пассажиров, заключающиеся в трате их времени на излишнее ожидание ТС МПТ на остановочных пунктах, при этом предотвращаются перегрузки ТС и не допускается усложнение работы водителей на маршрутах. Такие инфраструктурные совмещения маршрутов (и даже видов МПТ) также являются решением для повышения пропускной способности и производительности сектора за счет минимизации  $t_{окдА}$  и  $t_{окдБ}$  при выполнении назначенных условий для применения СМ для организации работы ТС на маршрутах МПТ. Ожидаемый экономический эффект от обслуживания каждого двух маршрутов СМ при выполнении необходимых условий выражается для автобуса на 10-летний период (жизненный цикл одного ТС) в текущих ценах 1 662 500 BYN, для троллейбуса на 15-летний период – 2 418 750 BYN, для трамвая на 30-летний период – 47 737 500 BYN.

С целью снижения непродуктивных затрат, связанных с оплатой простоев водителей ТС МПТ, предлагается создание службы аварийных комиссаров, что сократит время простоев ТС МПТ, для чего предложен четкий алгоритм действий всех служб, разработаны концепция, структура и порядок работы службы аварийных комиссаров, наделенных правом оформления ДТП (без пострадавших), не привлекая сотрудников ГАИ, подготовлены предложения о внесении необходимых изменений, наделяющих аварийных комиссаров соответствующими юридическими полномочиями по оформлению ДТП.

С целью повышения ЭМПТ путем увеличения технической скорости  $v_m$  при улучшении условий взаимодействия с дорожным движением и специальной инфраструктурой выполнено детальное изучение особенностей взаимодействия ТС всех видов МПТ с организацией дорожного движения, которое подробно изложено в [5], и разработана концепция по обеспечению их продуктивного взаимодействия.

Выполнено детальное изучение эксплуатационных возможностей новых, инновационных видов ТС МПТ с дополнительным категорированием видов и оценкой их влияния на ЭМПТ, с разработкой концепции выбора МПТ с учетом эффективности вложений в развитие, эксплуатацию, реновацию инфраструктуры, приобретение ТС для работы на маршруте с дифференцированным учетом срока службы, оценкой уровня эксплуатационных расходов, а также методики повышения ЭМПТ за счет рационального использования РИРВ, которые описаны в [5–8], определены границы эффективного использования электробусов различных концепций. Также стоит отметить, что перспективным является развитие инновационных видов электрического МПТ, являющегося приоритетным для нашей страны, благодаря развитию атомной энергетики. Для массовых перевозок пассажиров преимущество имеет использование троллейбусов ИМС, обеспечивающих равномерную распределенную нагрузку на электрическую сеть в течение суток, не увеличивающих время обязательных стоянок на конечных станциях, что не вызывает рост непродуктивных затрат, и не требующих дополнительных затрат времени на длительную зарядку и дополнительных вложений в инфраструктуру, а также рельсовых видов МПТ (легкорельсового транспорта и трамваев) в соответствующих условиях.

**Заключение.** Введено использование понятия непродуктивных затрат, определены пути повышения ЭМПТ путем управления непродуктивными затратами СМ и РИРВ, разработаны математические модели работы водителя и ТС на маршруте, введены понятия основного и дополнительного времени стоянок ТС на конечных станциях. В результате применения СМ работа ТС и их водителей организовывается так, что это обеспечивает сокращение уровня непродуктивных затрат на оплату сверхурочного времени на 70–95%. СМ повышает информированность водителей и улучшает осведомленность о типичных дорожно-транспортных ситуациях на маршрутах, положительно влияет на повышение безопасности дорожного движения. Для реализации СМ разработана МПС, алгоритм формирования сектора и алгоритм формирования формулы сектора для составления графиков работы ТС и водителей СМ, режимам труда и отдыха водителей, построенных при этом с учетом принципа социальной справедливости, а также для обеспечения надежности водителей путем соблюдения режимов труда и отдыха водителей, равномерного предоставления непрерывных периодов отдыха для восстано-

ления работоспособности. Разработана методика применения СМ для секторального обслуживания маршрутной сети, которая позволяет снизить непродуктивные и эксплуатационные затраты ПМППТ, повысить ЭМПТ. Наличие доступных и понятных авторских методик позволяет в значительной степени сократить временные и стоимостные затраты внутри сектора и ПМППТ в целом, что несомненно переводит понятие «управление» ПМППТ на качественно новый уровень.

Поскольку основной причиной возникновения непродуктивных затрат являются недостатки и несовершенства в организации работы ПМППТ, повышение ЭМПТ достигается внедрением СМ. При этом стоит отметить, что СМ является не капиталоемким, а наукоемким, поэтому он внедряется легко и оперативно, в связи с чем можно ожидать не только значимых, но и быстрых результатов по повышению ЭМПТ.

Стоит заметить, что принципы СМ справедливы и для беспилотных ТС, являющихся перспективными для развития транспортного сектора нашей страны. Для них будет применима и МПС, уравнивающая пробег ТС, тем самым балансирующая межремонтные интервалы во времени, обеспечивающая возможность прогнозирования и рационального планирования технического обслуживания и ремонта, равномерный износ и производственную нагрузку на беспилотные ТС, справедливы алгоритмы и положения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Седюкевич, В.Н. Автомобильные перевозки грузов и пассажиров : учеб. пособие / В.Н. Седюкевич, А.Я. Андреев. – Минск : РИВШ, 2020. – 328 с.
2. Семченков, С.С. Повышение эффективности работы маршрутного пассажирского транспорта применением секторального метода / С.С. Семченков, Д.В. Капский // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сб. науч. ст. – Минск : БНТУ, 2021. – С. 170–185.
3. Капский, Д.В. Некоторые вопросы системного подхода к планированию работы водителей городского пассажирского транспорта / Д.В. Капский, Е.Н. Кот, С.С. Семченков // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов / науч. ред. С.А. Ваксман. – Екатеринбург : АМБ, 2020. – С. 269–280.
4. Семченков, С.С. Методика автоматизации процессов организации работы водителей маршрутных транспортных средств / С.С. Семченков, Д.В. Капский // Новости науки и технологий. – Минск : БелИСА, 2021. – С. 74–82.
5. Капский, Д.В. Организация дорожного движения с учетом маршрутного пассажирского транспорта / Д.В. Капский, С.С. Семченков, Е.Н. Кот // Экономика Северо-Запада: Проблемы и перспективы развития / Ин-т проблем регион. экономики РАН. – СПб. : ИПРЭРАН, 2021. – С. 66–77.
6. Маршрутный транспорт городов Полоцка и Новополоцка: эффективность и тенденции развития / Д.В. Капский [и др.]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 308 с.
7. Развитие городского транспорта в городах Полоцке и Новополоцке / Д.В. Капский [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2020. – № 11. – С. 85–97.
8. Оценка состояния транспортной системы городов Полоцка и Новополоцка / Д.В. Капский [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2020. – № 11. – С. 98–102.

#### REFERENCES

1. Sedyukevich, V.N. & Andreyev, A.Ya. (2020). *Avtomobil'nyye perevozki gruzov i passazhirov* [Automobile transportation of goods and passengers]. Minsk: RIVSH. (In Russ.).
2. Semchenkov, S.S. & Kapskiy, D.V. (2021). Povysheniye effektivnosti raboty marshrutnogo passazhirskogo transporta primeneniym sektoral'no-go metoda [Improving the efficiency of the route passenger transport using the sectoral method]. *Transport i transportnyye sistemy: konstruirovaniye, ekspluatatsiya, tekhnologii* [Transport and transport systems: design, operation, technologies] (170–185). Minsk: BNTU. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Kapskiy, D.V., Kot, Ye.N. & Semchenkov, S.S. (2020). Nekotoryye voprosy sistemnogo podkhoda k planirovaniyu raboty voditeley gorodskogo passazhirskogo transporta [Some issues of a systematic approach to planning the work of drivers of urban passenger transport]. *Sotsial'no-ekonomicheskiye problemy razvitiya i funktsionirovaniya transportnykh sistem gorodov* [Socio-economic problems of development and functioning of transport systems of cities] (269–280). Yekaterinburg: AMB. (In Russ.).
4. Semchenkov, S.S. & Kapskiy, D.V. (2021). Metodika avtomatizatsii protsessov organizatsii raboty voditeley marshrutnykh transportnykh sredstv [Methodology for automating the processes of organizing the work of drivers of route vehicles]. *Novosti nauki i tekhnologii* [Science and Technology News] (74–82). Minsk: BelISA. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Kapskiy, D.V., Semchenkov, S.S. & Kot, Ye.N. (2021). Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya s uchedom marshrutnogo passazhirskogo transporta [Organization of road traffic taking into account route passenger transport]. *Ekonomika Severo-Zapada: Problemy i perspektivy razvitiya* [Economy of the North-West: Problems and Prospects of Development] (66–77). Saint Petersburg: IPERAN. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Kapskiy, D.V., Ivanov, V.P., Vigerina, T.V., Kot, Ye.N., Kuz'menko, V.N., Mozalevskiy, D.V., ... Kuznetsova, A.A. (2021). *Marshrutnyy transport gorodov Polotska i Novopolotska: effektivnost' i tendentsii razvitiya* [Route transport of the cities of Polotsk and Novopolotsk: efficiency and development trends]. Novopolotsk: Polotsk State University. (In Russ.).
7. Kapskiy, D.V., Golovnich, A.K., Vigerina, T.V., Kuz'menko, V.N., Krasil'nikova, A.S., Gorelik, Ye.N., ... Kot, Ye.N. (2020). Razvitiye gorodskogo transporta v gorodakh Polotske i Novopolotske [Development of urban transport in the cities of Polotsk and Novopolotsk]. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta* [Herald of Polotsk State University], 11, 85–97. (In Russ., abstr. in Engl.).

8. Kapskiy, D.V., Ivanov, V.P., Golovnich, A.K., Kuz'menko, V.N., Krasil'nikova, A.S., Gorelik, Ye.N., ... Kot, Ye.N. (2020). Otsenka sostoyaniya transportnoy sistemy gorodov Polotska i Novopolotska [Assessment of the state of the transport system of the cities of Polotsk and Novopolotsk]. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta* [*Herald of Polotsk State University*], 11, 98–102. (In Russ., abstr. in Engl.).

Поступила 07.02.2022

**REDUCTION OF UNPRODUCTIVE COSTS OF ROUTE PASSENGER TRANSPORT  
BY THE SECTORAL METHOD**

**S. SEMTCHENKOV, D. KAPSKY**

*This article discusses the issues of reducing unproductive costs of route passenger transport in order to increase efficiency by improving the process of organizing passenger transportation, vehicle operation, taking into account the characteristics of various modes of transport. Methods, techniques and algorithms designed for the implementation of individual proposals are considered.*

**Keywords:** *route passenger transport, unproductive costs, operational work, route vehicles, sectoral method, increase in work efficiency.*