

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

## **ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА ПАРКА СРЕДСТВ МЕЖЦЕХОВОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ**

**А.Е. Радаев, В.В. Кобзев**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Россия, 194064, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29*

*При решении задач организационного проектирования объектов промышленной инфраструктуры современных отечественных предприятий вопросы рациональной организации процессов межцеховой транспортировки приобретают особую важность ввиду значительной доли соответствующих затрат в себестоимости изготавливаемой продукции. В статье представлена линейная оптимизационная модель, позволяющая определить потребное количества средств межцехового транспорта, обеспечивающего снабжение предметами производства основных подразделений предприятия. Исходные данные для реализации разработанной модели включают в себя характеристики транспортируемых грузовых единиц (технологической тары), используемых транспортных средств, характеристики элементов промышленной инфраструктуры предприятия в части их размещения, а также потребности в предметах производства. Основным критерием оптимизации являются суммарные затраты на межцеховую транспортировку грузовых единиц между отдельными подразделениями предприятия. Отличительной особенностью разработанной модели является учет соответствия определяемого количества транспортных средств различных моделей исходно задаваемой предпочтительной доле в структуре рассматриваемого парка подвижного состава*

**Ключевые слова:** *промышленное предприятие, межцеховой транспорт, моделирование, оптимизационная модель*

В современных условиях развития отечественной промышленности, характеризующихся глобализацией рынков, ростом конкуренции и, как следствие, усложнением конструкции готовых изделий, соответствующих технологических процессов и обраба-

тываемых грузопотоков, эффективное развитие промышленных предприятий невозможно без тщательной проработки вопросов организации межцехового транспортного обслуживания соответствующих производственно-складских систем, оказывающего значительное влияние на агрегатные показатели эффективности последних, такие, как гибкость, адаптивность, надежность и т.д. Указанное обстоятельство обуславливается как невозможностью (в наиболее общем случае) полного исключения операций межцеховой транспортировки предметов производства из структуры выполняемого технологического процесса (ввиду трудности реализации всех операций процесса в рамках одного территориально обособленного подразделения), так и значительной долей затрат

---

#### **Для цитирования:**

Радаев, А.Е. Оптимизационная модель обоснования состава парка средств межцехового транспорта для обслуживания производственно-складской системы предприятия [Текст] / А.Е. Радаев, В.В. Кобзев // Организатор производства. – 2016. Т.69. – № 2. – С. 92 – 99.

#### **Сведения об авторах:**

Антон Евгеньевич Радаев (канд. экон. наук, канд. техн. наук, [tw-inc@ya.ru](mailto:tw-inc@ya.ru)), доцент кафедры Экономика и менеджмент в машиностроении.

Владимир Васильевич Кобзев (д-р экон. наук, [kobzev\\_vv@mail.ru](mailto:kobzev_vv@mail.ru)), профессор, зав. кафедрой Экономика и менеджмент в машиностроении.

на транспортировку предметов производства в их себестоимости. При этом проведенный на начальных этапах исследования анализ научных трудов в области обоснования состава парка транспортных средств [1, 2, 3, 5, 6], используемого для межцехового транспортного обслуживания подразделений промышленного предприятия, дал следующие результаты:

- существующие аналитические модели обоснования потребности в транспортных средствах являются универсальными и поэтому не учитывают большое количество факторов и специфических особенностей процесса межцеховой транспортировки грузов, в т.ч. наличие в составе парка различных моделей транспортных средств, особенности загрузки и выгрузки перевозимой технологической тары и т.д.;

- существующие оптимизационные модели обоснования состава транспортных средств в своем большинстве не относятся к исследуемой тематике – межцеховой транспортировке предметов производства (предназначены главным образом для предприятий сельского и лесного хозяйства, строительной сферы, а также пассажирских перевозок); оставшаяся часть инструментальных средств представлена в укрупненной форме для описания обобщенной постановки соответствующей задачи.

Таким образом, существующая на сегодняшний день актуальность проблем рациональной организации межцехового транспортного обслуживания подразделений промышленных предприятий, а также ограниченность существующих научных разработок по соответствующей тематике определили целесообразность разработки на дальнейших этапах исследования оптимизационной модели обоснования состава парка средств межцехового транспорта для обслуживания производственно-складской системы промышленного предприятия.

Основными положениями разработанной оптимизационной модели являются следующие:

- рассматриваемая производственно-складская система включает в себя внутри-производственные складские объекты для хранения предметов производства (сырья, материалов, полуфабрикатов, предметов незавершенного производства, деталей и т.д.), а также подразделения предприятия (далее называемые подразделениями-потребителями), снабжаемые предметами производства для реализации последующих (после хранения) операций технологического процесса;

- транспортировка предметов производства из складских объектов к подразделениям-потребителям осуществляется в унифицированной технологической таре – ящичных поддонах – с использованием транспортных средств (ТС) с определенными массо-габаритными характеристиками; при этом загруженный предметами производства ящичный поддон отождествляется с грузовой единицей (ГЕ), а единица подвижного состава, загруженная ящичными поддонами с предметами производства, – с транспортной партией; процесс доставки транспортной партии со склада определенному подразделению-потребителю с последующим возвращением ТС на склад отождествляется с ездой;

- снабжение подразделений-потребителей предметами производства осуществляется на регулярной основе в рамках повторяющихся рабочих временных периодов фиксированной протяженности (например, смен) на базе плановой потребности подразделений предприятия в предметах производства;

- каждое из используемых для межцеховой транспортировки ТС закрепляется за отдельным складским объектом и осуществляет перевозку предметов производства только из него; при этом функционирование отдельного ТС в рамках конкретного рабочего периода описывается последовательностью выполняемых заданий, предполагающих перевозку определенного количества ГЕ со склада конкретному подразделению-

потребителю; таким образом, каждое отдельное задание, выполняемое ТС, в общем случае предполагает определенное количество ездов со склада к соответствующему подразделению-потребителю и обратно;

- оценка суммарных денежных затрат на межцеховую транспортировку ГЕ в рамках производственно-складской системы производится на базе двух основных составляющих: условно-постоянных затрат на содержание парка ТС (определяются приведенными затратами на аренду, техобслуживание, планово-предупредительный ремонт и т.д. за рассматриваемый период) и условно-переменных затрат на выполнение ездов (включают приведенные к единице времени работы ТС затраты на топливо, заработную плату операторов и т.д.).

При этом реализация разработанной модели обеспечит определение количества ТС различных моделей в составе транспортного парка для межцеховой перевозки ГЕ, обеспечивающего удовлетворение потребностей подразделений-потребителей в предметах производства в рамках рассматриваемого рабочего периода с минимальными суммарными затратами на транспортировку ГЕ.

Исходные данные для реализации оптимизационной модели включают в себя:

- характеристики ГЕ – длина  $l^U$  (м); ширина  $b^U$  (м); высота с грузом  $H^U$  (м); масса с грузом  $m^U$  (кг);

- характеристики каждой  $\nu$ -й модели ТС ( $\nu=1, 2, \dots, V$ , где  $V$  – общее количество моделей ТС в составе парка) – длина  $L_\nu$ , ширина  $B_\nu$  и высота  $H_\nu$  полезного объема кузова (м); грузоподъемность  $G_\nu$  (кг); средняя маршрутная скорость  $\nu_\nu$  (км/ч); длительность загрузки  $t_\nu^{in}$  и выгрузки  $t_\nu^{out}$  ГЕ из кузова (с); условно-постоянные за рабочий период  $C_{0\nu}^T$  (руб./ед.·пер.) и условно-переменные  $C_{1\nu}^T$  (руб./ед.·ч) затраты на еди-

ницу подвижного состава; предпочтительная доля  $\delta_\nu$  в структуре парка ТС; минимально допустимая загруженность ТС  $\gamma_\nu^{\min}$ ; максимальная продолжительность работы (наряда)  $T_\nu^P$  (ч) в рамках рассматриваемого периода;

- характеристики рассматриваемой производственно-складской системы в части масштаба планировки (км), ориентации осей прямоугольной системы координат, расположения начала координат, а также коэффициента учета особенностей транспортной инфраструктуры  $k^T$  [4] при планировании маршрутов межцеховой транспортировки ГЕ;

- характеристики каждого  $w$ -го складского объекта ( $w=1, 2, \dots, W$ , где  $W$  – общее количество складских объектов) в составе рассматриваемой производственно-складской системы в части его расположения – значения координат по осям абсцисс  $x_w$  и ординат  $y_w$  используемой прямоугольной системы (км);

- характеристики каждого  $j$ -го подразделения-потребителя ( $j=1, 2, \dots, n$ , где  $n$  – общее количество потребителей) в составе рассматриваемой производственно-складской системы в части расположения – значения координат по осям абсцисс  $x_j$  и ординат  $y_j$  используемой прямоугольной системы (км), а также потребного количества ГЕ  $D_{jw}$  за рассматриваемый рабочий период (шт./пер.).

На основе вышеперечисленных исходных данных в рамках реализации оптимизационной модели производится расчет следующих характеристик:

- вместимость  $r_\nu$  (шт.) каждой  $\nu$ -й модели ТС в составе парка; при возможности укладки ГЕ в кузов ТС без возможности переворачивания технологической тары:

$$r_v = \min \left( \max \left( \left\lfloor \frac{L_v}{l^U} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{B_v}{b^U} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{L_v}{b^U} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{B_v}{l^U} \right\rfloor \right) \cdot \left\lfloor \frac{H_v}{H^U} \right\rfloor, \left\lfloor \frac{G_v}{m^U} \right\rfloor \right), \quad v=1, 2, \dots, V, \quad (1)$$

где  $\lfloor \dots \rfloor$  – результат округления соответствующего расчетного значения до ближайшего меньшего целого;

- наикратчайшее расстояние  $L_{jw}$  (км) между каждым  $j$ -м подразделением-

$$L_{jw} = \sqrt{(x_j - x_w)^2 + (y_j - y_w)^2}, \quad j=1, 2, \dots, n; w=1, 2, \dots, W; \quad (2)$$

- длительность перемещения  $t_{jvw}^R$  (ч/ед.) для определенной  $v$ -й модели ТС от каждого  $w$ -го склада до каждого  $j$ -го подразделения-

$$t_{jvw}^R = \frac{2 \cdot L_{jw} \cdot k^{TI}}{v_v}; \quad j=1, 2, \dots, n; v=1, 2, \dots, V; w=1, 2, \dots, W; \quad (3)$$

- условно-переменные затраты на одну езду  $c_{jvw}$  (руб./ед.) от каждого  $w$ -го склада до каждого  $j$ -го подразделения-потребителя

$$c_{jvw}^T = t_{jvw}^R \cdot C_{1v}^T, \quad j=1, 2, \dots, n; v=1, 2, \dots, V; w=1, 2, \dots, W; \quad (4)$$

Искомые переменными разработанной оптимизационной модели являются следующие:

- количество ГЕ  $x_{jvw}$  (шт./пер.), доставляемое каждому  $j$ -му подразделению-потребителю из каждого  $w$ -го склада в составе рассматриваемой производственно-складской системы с использованием ТС определенной  $v$ -й модели в рамках рассматриваемого расчетного периода ( $j=1, 2, \dots, n; v=1, 2, \dots, V; w=1, 2, \dots, W$ );

- количество ездов  $b_{jvw}$  (ед./пер.), выполненных ТС определенной  $v$ -й модели из каждого  $w$ -го склада к каждому  $j$ -му подразделению-потребителю и обратно за рассматриваемый расчетный период ( $j=1, 2, \dots, n; v=1, 2, \dots, V; w=1, 2, \dots, W$ );

- логические переменные  $y_{jvw}$ , определяющие целесообразность использования ТС определенной  $v$ -й модели при обслуживании

потребителем и каждым  $w$ -м складским объектом в составе рассматриваемой производственно-складской системы, определяемое выражением:

потребителя и обратно, определяемая согласно формуле:

и обратно для определенной  $v$ -й модели ТС в составе парка, определяемые формулой:

каждого  $j$ -го подразделения-потребителя из каждого  $w$ -го складского объекта ( $j=1, 2, \dots, n; v=1, 2, \dots, V; w=1, 2, \dots, W$ );  $y_{jvw} = 1$ , если использование  $v$ -й модели ТС целесообразно, в противном случае  $y_{jvw} = 0$ ;

- количество ТС  $z_{vw}$  (ед.) определенной  $v$ -й модели, выделяемое для обслуживания подразделений-потребителей из каждого  $w$ -го склада в составе рассматриваемой производственно-складской системы ( $v=1, 2, \dots, V; w=1, 2, \dots, W$ ).

Целевая функция оптимизационной модели представляет собой суммарные затраты  $C_\Sigma^T$  (руб./пер.) на межцеховую транспортировку ГЕ из складов к подразделениям-потребителям в рамках рассматриваемого рабочего периода, описываемые выражением:

$$C_\Sigma^T(\{b_{jvw}\}, \{z_{vw}\}) = C_\Sigma^F(\{z_{vw}\}) + C_\Sigma^V(\{b_{jvw}\}) = \sum_{v=1}^V \left( C_{0v}^T \cdot \sum_{w=1}^W z_{vw} \right) + \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^V \sum_{w=1}^W c_{jvw}^T \cdot b_{jvw} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $C_{\Sigma}^F$ ,  $C_{\Sigma}^V$  – соответственно суммарные условно-постоянные и условно-переменные затраты на межцеховую транспортировку ГЕ в рамках рассматриваемого периода (руб./пер.).

Прямые (структурные) ограничения модели, определяющие тип и граничные значения искомым переменных, имеют вид:

$$\begin{cases} x_{jvw} \geq 0; x_{jvw} \in Z; \\ b_{jvw} \in Z; \\ y_{jvw} \in \{0; 1\}; \\ z_{vw} \in Z; \end{cases} \quad (6)$$

$j = 1, 2, \dots, n; v = 1, 2, \dots, V; w = 1, 2, \dots, W$

где  $Z$  – множество целых чисел.

Непрямые (функциональные) ограничения разработанной модели определяются выражением вида:

$$\begin{cases} \sum_{v=1}^V x_{jvw} = D_{jw}; \\ \frac{x_{jvw}}{r_v} \leq b_{jvw} \leq y_{jvw} \cdot M; \\ \frac{\sum_{j=1}^n (t_{jvw}^R \cdot b_{jvw} + (t_v^{in} + t_v^{out}) \cdot x_{jvw})}{T_v^P} \leq z_{vw} \leq \frac{\sum_{j=1}^n (t_{jvw}^R \cdot b_{jvw} + (t_v^{in} + t_v^{out}) \cdot x_{jvw})}{T_v^P} + \Delta_z; \\ \gamma_v^{\min} \cdot y_{jvw} \leq \frac{b_{jvw} \cdot r_v - x_{jvw}}{r_v} \leq 1; \\ \delta_v \cdot \sum_{v=1}^V \sum_{w=1}^W z_{vw} - \Delta_z \leq \sum_{v=1}^V z_{vw} \leq \delta_v \cdot \sum_{v=1}^V \sum_{w=1}^W z_{vw} - \Delta_z; \end{cases} \quad (7)$$

$j = 1, 2, \dots, n; v = 1, 2, \dots, V; w = 1, 2, \dots, W,$

где  $M$  – произвольное большое положительное число, отождествляемое с максимально возможным количеством ездов (ед./пер.) в рамках производственно-складской системы за рассматриваемый период;

$\Delta_z$  – погрешность определения количества ТС (ед.), используемая для искусственного сокращения диапазонов варьирования значений соответствующих искомым переменных модели и назначаемая исходя из условия:

$$1 - [\Delta] < \Delta_z < 1, \quad (8)$$

где  $[\Delta]$  – точность, обеспечиваемая используемым алгоритмом оптимизации при реализации модели в соответствующих про-

граммных средах; например, для настройки «Поиск решения» программы «Microsoft Excel» по умолчанию установлено  $[\Delta] = 10^{-6}$ .

Ограничение в первой строке выражения (7) определяет соответствие количества ГЕ, доставленных различными ТС из отдельного  $w$ -го склада определенному  $j$ -му подразделению-потребителю потребности последнего в предметах производства в рамках рассматриваемого рабочего периода.

Ограничения второй строки выражения (7) определяют отсутствие превышения количества ГЕ, перевозимого в рамках отдельной ездки в кузове ТС конкретной  $v$ -й модели, соответствующей вместимости подвижного состава  $r_v$ , а также возможность орга-

низации ездки с использованием ТС определенной  $v$ -й модели ( $b_{jvw} \geq 0$ ) только в случае целесообразности ( $y_{jvw} = 1$ ) их использования при перевозке ГЕ между конкретными  $w$ -м складом и  $j$ -м потребителем.

Ограничения третьей строки выражения (7) обеспечивают отсутствие превышения фактического времени работы каждого из ТС определенной  $v$ -й модели, обслуживающих потребителей из каждого отдельного  $w$ -го склада, максимальной продолжительности работы  $T_v^P$ .

Ограничения в четвертой строке выражения (7) определяют необходимость превышения фактической загрузки ТС определенной  $v$ -й модели, используемых ( $y_{jvw} = 1$ ) при перевозке ГЕ из отдельного  $w$ -го склада конкретному  $j$ -му подразделению-потребителю, соответствующего минимально допустимого значения  $\gamma_v^{\min}$ .

Ограничения последней строки выражения (7) определяют для каждой отдельной  $v$ -й модели ТС приближенное (ввиду дискретности искомых величин) соответствие расчетного и исходного (предпочтительного)  $\delta_v$  значений доли числа ТС определенной  $v$ -й модели в общем количестве единиц подвижного состава.

Разработанная оптимизационная модель базируется на следующих допущениях:

- средняя маршрутная скорость движения ТС не зависит от степени загрузки единицы подвижного состава;

- затраты на выполнение погрузочно-разгрузочных работ по отношению к рассматриваемым моделям ТС составляют пренебрежимо малую долю в суммарных затратах на перемещение ГЕ в рамках производственно-складской системы и потому не учитываются в рамках модели.

Также важно отметить, что разработанная оптимизационная модель описывает процессы перемещения предметов производства между отдельными подразделениями исключительно в составе промышленной

инфраструктуры предприятия. Тем не менее, модель может быть использована и для описания внешних грузопотоков предприятия (например, перемещение заготовок со складов снабжения, находящихся за пределами предприятия, в обрабатывающие цехи на территории завода) – при этом структура модели в части целевой функции, прямых и функциональных ограничений принципиально не изменится, однако при расчете длительности  $t_{jvw}^R$  перемещения ТС в рамках ездки в выражении (3) целесообразно использовать дополнительный множитель – коэффициент  $k_v^{TL}$  учета простоев ТС рассматриваемой  $v$ -й модели в ожидании разрешающих сигналов светофоров в рамках ездки, подробно описанный в работе [4].

На последующих этапах исследования предполагается усовершенствование вышеописанной оптимизационной модели на базе существующих научных разработок для достижения большей точности результатов за счет дополнительного учета:

- возможности выполнения каждой единицей подвижного состава заданий для различных складов и подразделений-потребителей посредством планирования сборно-развозочных маршрутов;

- возможности учета общей длительности работы отдельных единиц подвижного состава, а также надежности выполнения назначенных маршрутов в качестве дополнительных критериев оптимизации состава парка ТС.

### Библиографический список

1. Ивенина, Е. М. Математическая постановка задач обоснования качественного состава авиационного парка [Текст] / Е. М. Ивенина, И. Б. Ивенин // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. — 2010. — № 157. — С. 12-17.

2. Казанцев, А. К. Управление операциями [Текст]: учебник / А. К. Казанцев, В. В.

Кобзев, В. М. Макаров — М.: Инфра-М, 2013. — 478 с.

3. Квашин, В. П. Обоснование состава машинно-тракторного парка [Текст] / В. П. Квашин, С. В. Захаров, О. В. Захарова // Вестник Омского государственного аграрного университета. — 2015. — № 1 (17). — С. 69-72.

4. Радаев, А. Е. Методика формирования структуры складской распределительной сети промышленных предприятий в условиях мегаполиса [Текст] / А. Е. Радаев, В. В. Кобзев // Научно-технические ведомости СПбГПУ (серия «Экономические науки»). — 2015. — № 6 (233). — С. 183-195.

5. Раюшкина, А. А. Экономическое обоснование обновления парка подвижного состава городского пассажирского транспорта [Текст] / А. А. Раюшкина, А. В. Крашенинников // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2011. — Т. 4. — № 12 (85). — С. 96-98.

6. Экономическое обоснование номенклатурного и количественного состава комбайнового парка сельскохозяйственных организаций [Текст] / Ю. И. Бершицкий и др. // Экономика и предпринимательство. — 2015. — № 9-1 (62-1). — С. 775-779.

Поступила в редакцию – 12 апреля 2016 г.  
Принята в печать – 24 июня 2016 г.

## THE OPTIMIZATION MODEL OF SUBSTANTIATION FOR THE FLEET OF INTER-WORKSHOP TRANSPORT MEANS FOR SERVICING THE PRODUCTION AND STORAGE SYSTEM OF AN ENTERPRISE

**A.E. Radaev, V.V. Kobzev**

St.-Petersburg Polytechnical University of Peter the Great,  
29, Polytekhnicheskaya st., St.Petersburg 194064, Russian Federation

### Abstract

In solving the tasks concerned with organizational planning of industrial infrastructure objects of modern domestic enterprises, the issues of rational organization of inter-workshop transport processes are of particular importance, in view of the significant proportion of related expenditure in the cost of manufactured products. The article presents the linear optimization model, which permits to determine the required amount of inter-workshop transport means for supplying the main enterprise departments with production items. The initial data for implementing the developed model include the characteristics of transported cargo units (process containers), the means of transport used, the features of industrial enterprise infrastructure elements in terms of their location, and the needs for production items. The main criterion of optimization is the total cost of inter-workshop transportation of cargo units between separate enterprise departments. The distinctive feature of the elaborated model is consideration of correspondence between the specified number of vehicles of various models and the preferred pre-defined share in the structure of the rolling stock under review

**Key words:** industrial enterprise, inter-workshop transport, modelling, optimization model

**For citing:**

Radaev, A.E., Kobzev, V.V. (2016) Optimizacionnaja model' obosnovanija sostava parka sredstv mezhchegovogo transporta dlja obsluzhivanija proizvodstvenno-skladskoj sistemy promyshlennogo predpriyatija [Tekst] [The optimization model of substantiation for the fleet of inter-workshop transport means for servicing the production and storage system of an enterprise [Text]]. Organizator proizvodstva [Organizer of Production], 2, 69, 92 – 99.

**On authors:**

**Anton Evgenievich Radaev** (Candidate of Economic Science, Candidate of Technical Science, *tw-inc@ya.ru*), Assistant Professor of the Chair of Economics and Management in Machine Construction.

**Vladimir Vasilievich Kobzev** (Doctor of Economic Science, *kobzev\_vv@mail.ru*), Professor head of the Department of Economics and Management in Machine Construction.

**References**

1. Ivenina, E. M., Ivenin, I. B. (2010). Matematicheskaja postanovka zadach obosnovanija kachestvennogo sostava aviacionnogo parka [The mathematical formulation of problems concerned with substantiating the qualitative structure of aircraft fleet]. The Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation. 157, 12-17.
2. Kazantsev, A. K., Kobzev, V. V., Makarov, V. M. (2013). Upravlenie operacijami [Operation management]. Moscow. INFRA-M, 478.
3. Kvashin, V. P., Zakharov, S. V., Zakharova, O. V. (2015). Obosnovanie sostava mashinno-traktornogo parka [The substantiation for the rolling stock of machine-tractor park]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [The Bulletin of Omsk State Agricultural University], 1, 17, 69-72.
4. Radayev, A. E., Kobzev, V. V. (2015). Metodika formirovanija struktury skladskoj raspredelitel'noj seti promyshlennyh predpriyatij v uslovijah megapolisa [The methodology of creating the structure of storage and distribution network of industrial enterprises in metropolitan conditions]. Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU (serija «JEkonomicheskie nauki») [The Scientific and Technical Bulletin of St.Petersburg State Polytechnical University (series: «Economic Science»)], 6, 233, 183-195.
5. Rayushkina, A. A., Krashennnikov, A. V. (2011). JEkonomicheskoe obosnovanie obnovenija parka podvizhnogo sostava gorodskogo passazhirskogo transporta [The economic substantiation for renovating the rolling stock of the urban public transport]. Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [The News of Volgograd State Technical University], 12, 85, 96-98.
6. Bershitskiy, Yu. I. (2015). JEkonomicheskoe obosnovanie nomenklaturnogo i kolichestvennogo sostava kombajnovogo parka sel'skohozjajstvennyh organizacij [The economic substantiation of nomenclature and quantitative composition of combine harvester fleet of agricultural organizations]. JEkonomika i predprinimatel'stvo [Economics and Entrepreneurship], 9-1, 62-1, 775-779.