

УДК 656.052:656.224

А. А. МИХАЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук, Е. П. ГУРСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ И ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

Рассмотрены актуальные проблемы научно-методического обеспечения оптимального развития транспортных систем страны и производства на транспорте, предусматриваемого в Государственных программах развития транспортного комплекса Республики Беларусь. Приводятся основные положения по обоснованию мероприятий эффективного развития транспортного комплекса страны, включаемых в Государственные программы и подпрограммы.

Развитие транспортного комплекса страны обусловлено многими факторами, которые интегрируются в следующих направлениях: усиление транспортной инфраструктуры, создание нового производства транспортных средств, современных материалов и комплектующих частей, используемых при выполнении транспортной деятельности. При разработке стратегии развития транспортной системы, количественных изменений и трансформации их состояний формализуются интегрирующие изменения во времени функцией [6]

$$Z_s(t_z) = \int_0^t F(t) dt. \quad (1)$$

Если речь идёт о транспортном потоке, то он рассматривается как один из вариантов марковского процесса и описывается дифференциальным уравнением вида  $\frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{21}p_2(t) + \lambda_{31}p_3(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13})p_1(t)$ , где  $\lambda_{21}$  – транспортный поток между вторым и первым элементами транспортной сети;  $p_2$  – вероятность состояний транспортного потока.

При оптимизации развития транспортной системы страны, отражаемой в Государственных программах, имеет место оценка её состояния, производственных мощностей по технической эксплуатации и производству транспортных средств, элементов транспортной инфраструктуры. При этом рассматривается вариант, когда первоначальное состояние и развитие транспортной системы связаны между собой с учетом общего её состояния [1]. В таком случае для оценки эффективности развития транспортной системы используется описание переходных процессов с помощью систем дифференциальных уравнений, связывающих координаты состояния с интенсивностями нагрузки на неё, ресурсным обеспечением и результативностью функционирования:

$$\begin{aligned} \partial \bar{Z}(t) &= \Phi[\bar{Z}(t), \bar{Y}(t)]; \\ \bar{Y}(t) &= \varphi[\bar{Z}(t), \bar{X}(t)], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\bar{Z}(t)$  – вектор состояния транспортной системы на момент разработки Государственных программ её развития;  $\partial \bar{Z}(t)$  – интенсивность вектора состояния в зависимости от результативности работы системы;  $\bar{X}(t)$  – вектор входных параметров (объём транспортного потока, ремонтов, производства транспортных средств);  $\bar{Y}(t)$  – вектор результативности работы транспортной

системы (выход экспортного транспортного потока, поступление финансовых средств от функционирования транспортной системы и др.).

От величины вектора результативности зависит потребность в развитии транспортной инфраструктуры, состояние транспортных средств, потребность в обновлении, модернизации и организации их производства.

При разработке Государственных программ устойчивого развития транспортного комплекса страны использована задача оптимизации с ограничениями по объёму транспортного потока, финансированию намеченных мероприятий, их первоочередности и последующей потребности в изменившихся условиях функционирования. Если до 2000-го года основное развитие железнодорожной сети шло по направлению Север – Юг, то в 2010–2020 гг. – Восток – Запад). В данном случае задача оптимизации развития транспортной системы страны заключается в том, чтобы она работала динамично, была задействована вся сеть, а не отдельные её направления.

В теоретическом обосновании оптимального развития транспортной системы страны использованы основы теории транспортных систем и процессов [6]. В частности, развитие транспортной системы представлено уравнением вектора результативности с вектором входного воздействия для каждого элемента системы

$$\bar{Y}(t) = f[\bar{X}(t)], \quad (3)$$

где  $\bar{X}(t)$  – вектор входных параметров транспортной системы (подсистемы);

$$\bar{Y}(t) = f[\bar{X}(t)]. \quad (4)$$

Норма вектора входного воздействия на транспортную систему рассматривается как точка притяжения цели, для которой выполняется развитие системы. Нормальными значениями входных воздействий на систему для разных её элементов могут быть различными, что в итоге соответствует  $\bar{Y}_i(t) \neq \bar{Y}_k(t)$ . При этом значение результативности развития транспортной системы может отличаться от ожидаемого, а отклонения типа  $\Delta Y_i(t) = Y_k(t) - \bar{Y}_i(t)$  приведут к деформации её связей.

Необходимо отметить, что на развитие транспортной системы влияют два вида факторов: 1) внутренние, предусматривающие использование резервов собственных ресурсов; 2) внешние – привлечение ресурсов извне при внешнем воздействии на ход развития. Для самой транспортной системы рассматривается вариант аддитивного принуждения к развитию отдельных тех-

нологических элементов с учетом суммарного внутреннего и внешнего взаимодействия, т. е.

$$U(t_z) = \sum_{k=1}^K u_k[x_k(t_z)] + \sum_{m=1}^K u_m[m_k(t_z)], \quad (5)$$

где  $u_k[x_k(t_z)]$  – внутреннее и  $u_m[m_k(t_z)]$  внешнее воздействия на развитие транспортной системы (характерно для проведения электрификации направления Минск – Вильнюс, расположенного в двух экономических системах ЕС и ЕАЭС).

Оптимальная интеграция мероприятий по развитию транспортной системы с учетом использования возможностей новых субъектов (при производстве вагонов и электропоездов) достигается при выполнении условия

$$\sum_{k=1}^m u_k(t_z) = \frac{h_e^2}{2m\beta_k} + \frac{m\beta_k \bar{Y}(t)}{2}. \quad (6)$$

С учетом дополнительно возникающих и реализованных мероприятий развития определяется предел их количественного увеличения:

$$\frac{m\beta_k \bar{Y}^2(t)}{2} < \frac{h_e^2(m-1)}{2m\beta_k}. \quad (7)$$

При этом учитывается коэффициент устойчивого развития как самой транспортной системы  $h_e$ , так и обеспечивающих эту устойчивость организаций. При этом рассматривается значительная нагрузка на бюджет.

С учетом (1)–(8) определяется эффективность реализованной программы развития транспортной системы по основополагающим показателям [9]:

– *степень реализации мероприятий*, запланированных в программе,

$$\beta_i^{\text{факт}} = \frac{N_i^{\text{факт}}}{N_i^{\text{пл}}}, \quad (8)$$

где  $N_i^{\text{факт}}$  – количество мероприятий, выполненных в полном объеме в установленный в Государственной программе отчетный период, из количества запланированных мероприятий;  $N_i^{\text{пл}}$  – количество мероприятий, запланированных в установленный в Государственной программе отчетный период;

– *степень достижения планового значения целевого показателя*

$$\beta_i^{\text{план}} = \frac{W_i^{\text{факт}}}{W_i^{\text{пл}}}, \quad (9)$$

где  $W_i^{\text{факт}}$  – значение целевого показателя, характеризующего задачи программы, фактически достигнутое на конец отчетного периода;  $W_i^{\text{пл}}$  – плановое значение целевого показателя, характеризующего задачи программы;

– *степень решения задач программы*

$$\beta_{\text{реш}}^i = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i^{\text{факт}}}{N_i^{\text{пл}}}, \quad (10)$$

где  $\sum_{i=1}^N \beta_i^{\text{факт}}$  – степень достижения планового значения целевого показателя, характеризующего задачи программы;  $N_i^{\text{пл}}$  – количество целевых показателей, характеризующих задачи программы;

– *эффективность реализации программы*, оцениваемая в зависимости от значений степени решения задач подпрограммы и степени реализации мероприятий программы:

$$\pi_{\text{пл}}^i = \frac{\beta_{\text{реш}}^i + \beta_i^{\text{факт}}}{2f_i^{\text{факт}} / f_i^{\text{план}}}, \quad (11)$$

где  $\beta_{\text{реш}}^i$  – степень решения задач программы;  $\beta_i^{\text{факт}}$  – степень реализации мероприятий;  $f_i^{\text{факт}}$  – объем фактически освоенных финансовых средств на реализацию подпрограммы в отчетном году;  $f_i^{\text{план}}$  – объем запланированных финансовых средств на реализацию подпрограммы в отчетном году;

– *степень достижения планового значения целевого показателя*, характеризующего цель Государственной программы,

$$\beta_{\text{реш}}^{\text{г.п}} = \frac{W_i^{\text{факт}}}{W_i^{\text{пл}}}, \quad (12)$$

где  $W_i^{\text{факт}}$  – значение целевого показателя, характеризующего задачи подпрограммы, фактически достигнутое на конец отчетного периода;  $W_i^{\text{пл}}$  – плановое значение целевого показателя, характеризующего задачи программы;

– *степень достижения цели Государственной программы*

$$\beta_{\text{реш}}^{\text{г.п}} = \frac{\sum_{i=1}^K (\beta_{\text{реш}}^{\text{г.п}})_i}{N_i^{\text{факт}}}, \quad (13)$$

где  $(\beta_{\text{реш}}^{\text{г.п}})_i$  – степень достижения планового значения целевого показателя, характеризующего цель Государственной программы;  $N_i^{\text{факт}}$  – фактическое количество целевых показателей.

Динамика внедрения мероприятий по развитию транспортной системы страны по соответствующим периодам представлена на рисунке 1 [3].

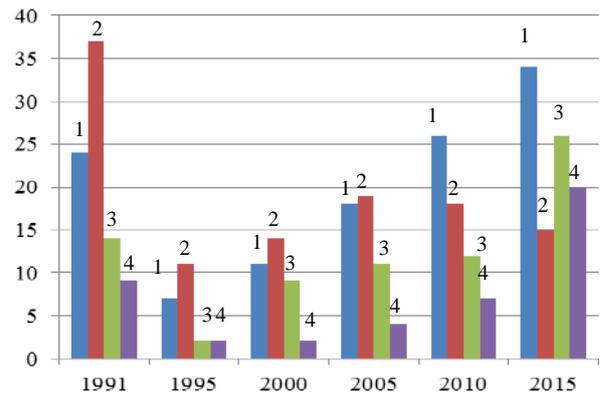


Рисунок 1 – Динамика внедрения мероприятий по развитию транспортной системы страны (млн дол.):

1 – автомобильный; 2 – железнодорожный; 3 – воздушный; 4 – водный

Из приведенной диаграммы видно, что по истечении шести пятилеток развития, в периоды 1995–2005 гг. в программах развития предусматривалось минимальное количество мероприятий. Это связано с гармонизацией развития транспортной системы и экономики страны в целом. Соответствующим изменениям подвергалось и финансирование мероприятий (рисунок 2).

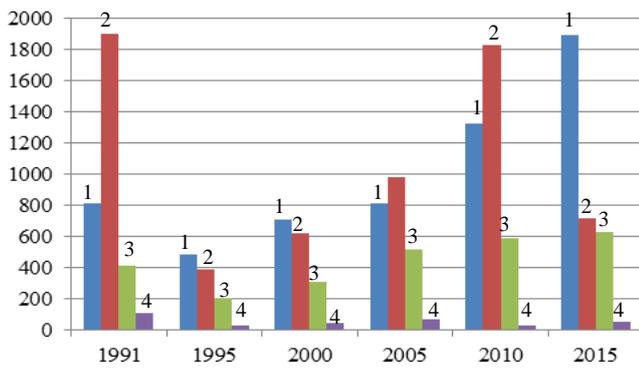


Рисунок 2 – Динамика финансирования развития транспортной системы страны (млн дол.):  
1 – автомобильный; 2 – железнодорожный; 3 – воздушный;  
4 – водный

На приведенной диаграмме отмечено, что наибольшее финансирование в 1991 г. выполнялось в мероприятия по развитию железнодорожного транспорта. В период функционирования республиканской транспортной системы в независимом регламенте (1995–2015 гг.) основное финансирование выполнялось на автомобильном транспорте. Это связано с тем, что развитию автомобильных дорог в регионе оказывалось минимальное необходимое внимание. По Программе развития транспортной системы Республики Беларусь в 2011–2015 гг. были модернизированы пять автомагистралей в соответствии со стандартами ЕС, связавших г. Минск с областными центрами страны.

Изменение условий функционирования транспортной системы страны и переход на условия бизнеса при освоении рынка транспортных услуг потребовало существенных вложений в транспортную инфраструктуру, её модернизацию и обновление [2]. Это связано также с тем, что за пользование транспортной инфраструктурой на всех видах транспорта создана возможность получения значительных доходов. Динамика финансирования обновления транспортной инфраструктуры в стране показана на рисунке 3.

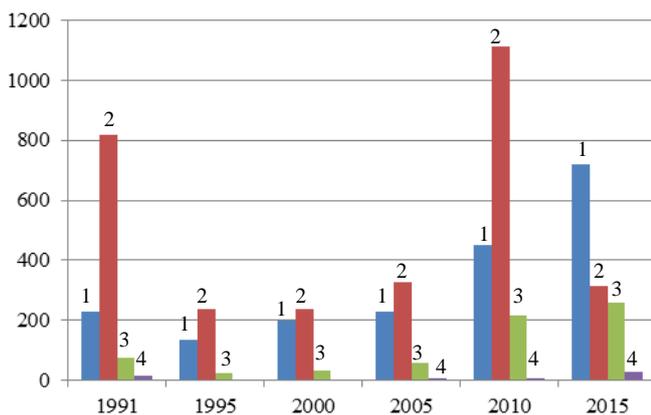


Рисунок 3 – Динамика финансирования обновления транспортной инфраструктуры (млн дол.):  
1 – автомобильный; 2 – железнодорожный; 3 – воздушный;  
4 – водный

Из приведенной диаграммы видно, что постепенно увеличивается финансирование мероприятий, направленных на развитие транспортной инфраструктуры.

При выделении критериев развития транспортной системы используется агрегированное планирование. Этот вид планирования не используется при определении потребности в транспортных средствах различной

модификации в агрегированных показателях (в интеграции с объемами и структурой перевозок, а также с технической эксплуатацией и наличием производственных мощностей транспортных организаций). Оно применяется в основном при формировании планов производства на транспорте: изготовление новых инновационных транспортных средств, техническая их эксплуатация по прогрессивным технологиям, модернизация и обновление [4].

Использование агрегативного планирования позволяет при разработке Государственной программы развития принимать важные глобальные решения при оценке состояния и потребности в транспортных средствах. Эффективность изменения парка транспортных средств (например, на железной дороге) с определенным уровнем износа может быть задано уравнением состояния [4]

$$Z(t_{\text{пл}}) = (1 - \Delta\varphi)z(t_0) + F_t(t_{\text{пл}}), \quad (14)$$

где  $\Delta\varphi$  – процент износа транспортных средств;  $F_t(t)$  – объём капиталовложений в развитие парка транспортных средств за рассматриваемый период.

Эффективность развития парка транспортных средств определяется ожидаемой величиной доходов от их использования в плановый период

$$Y_F(t_{\text{пл}}) = \sum_{j=1}^J [z_j(t_{\text{пл}})d_z + w_j d_w] + F_t(t_{\text{пл}}), \quad (15)$$

где  $z_j(t_{\text{пл}})$  – плановый парк транспортных средств  $j$ -го вида транспорта;  $w_j$  – объём транспортной работы, выполненный парком транспортных средств;  $d_z, d_w$  – доходная ставка от аренды и использования транспортных средств.

В расчетах учитывается объём капиталовложений в развитие парка транспортных средств за рассматриваемый период при условии, что он приобретается у национальных производителей.

При составлении Государственных программ развития (обновления) парка транспортных средств главным критерием принимается степень его износа, что связано в первую очередь с безопасностью выполнения перевозок. Тогда состояние парка транспортных средств можно определить как

$$Z_{\text{тс}}(t_{\text{пл}}) = \sum_{j=1}^J [\mu_0 + n_t(t_{\text{пл}})z(t_0)]_j + \sum_{j=1}^J [\eta_0 - \Delta n_{\text{зам}}(t_{\text{пл}})]_j, \quad (16)$$

где  $\mu_0, \eta_0$  – агрегированные коэффициенты, определяющие износ транспортных средств;  $n_t(t_{\text{пл}}), \Delta n_{\text{зам}}$  – количество приобретаемых (производимых) транспортных средств у национальных производителей и заменяемых по износу [5].

С учетом (17) определено финансирование обеспечения функционального назначения производства новых транспортных средств: для выполнения дополнительного объема перевозок; при изменении логистики перевозок, когда требуется дополнительный подвижной состав; для конкуренции; для поддержания собственного национального машиностроения (отрасли) и др. [11]. С учетом этих факторов в Государственных программах закладывалось финансирование на обновление транспортных средств с функциональным разделением мероприятий (рисунок 4).

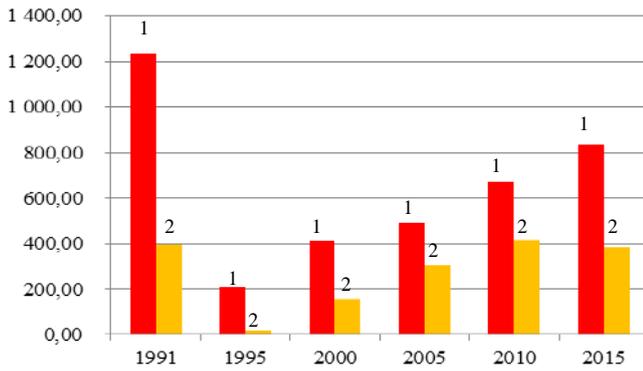


Рисунок 4 – Динамика финансирования обновления транспортных средств (млн дол.) производителями:  
1 – белорусскими; 2 – иностранными

Из приведенной диаграммы видно, что с каждым периодом обновления транспортных средств основная доля финансирования направляется на приобретение их у белорусского производителя [8]. Следует отметить, что в период после 2015 г. значительная часть финансирования направляется на приобретение транспортных средств у иностранного производителя, которые не производятся в стране (авиационная техника, электровозы для грузового и пассажирского движения, автобусы для международного сообщения со странами ЕС, путеремонтная и автодорожная техника, автотранспортные средства для перевозки специальных грузов и др.). В 1991 г. большая доля закупок у иностранного производителя связана с налаживанием совместного производства железнодорожных (грузовых и пассажирских вагонов, маневровых локомотивов) и автодорожных (автобусов на МАЗе, трамваев и троллейбусов) транспортных средств. По результатам выполнения программ обновления транспортных средств достигнута положительная динамика их износа (рисунок 5).

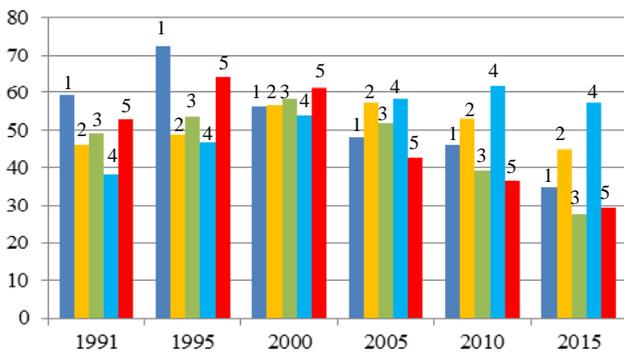


Рисунок 5 – Динамика износа транспортных средств после их обновления по периодам реализации программ развития:  
1 – автомобильный; 2 – железнодорожный; 3 – воздушный;  
4 – водный; 5 – горэлектротранспорт

Из приведенной диаграммы видно, что в период 1991–2005 гг. износ транспортных средств стабильно увеличивался. На момент приобретения республикой независимости (1991 г.) новыми были только пассажирские вагоны, приобретенные в ГДР, электровозы (для грузового и пассажирского движения), тепловозы. На других видах транспорта обновления транспортных средств на этот момент не выполнялось. Однако в период 1995–2015 гг.

шло интенсивное обновление автотранспортных средств и на городском электротранспорте, что связано с организацией на собственных заводах производства в стране автобусов, трамваев и троллейбусов. В последние две пятилетки налажен выпуск грузовых и пассажирских вагонов, маневровых тепловозов, моторвагонных поездов для региональных, межрегиональных и городских перевозок пассажиров (рисунок 6).



Рисунок 6 – Сборка городских электропоездов

Производство вагонов для пассажирских перевозок определило развитие устройств и предприятий по организации технической их эксплуатации. Однако с вводом в эксплуатацию двухэтажных вагонов на РЖД возможности её проведения оказались ограниченными на предприятиях Белорусской железной дороги. С учетом того, что размеры использования таких вагонов в совместной транспортной деятельности РЖД и БЧ будут нарастать в перспективе на направлениях Москва – Брест/Гродно и С.-Петербург – Брест/Гродно, то потребность в данном виде технической эксплуатации значительно возрастет. Для этого потребуются инновационное развитие вагонных (пассажирских) участков в Брестском и Гродненском железнодорожных узлах [7]. Остается проблемной также решение вопроса технической эксплуатации новых транспортных средств специального назначения (танк-контейнеров, специальных контейнеров и др.).

С поступлением на БЧ современных электровозов для грузового и пассажирского движения, российского, китайского и чешского производства, а также модернизированных тепловозов с использованием американского тягового модуля возникла потребность в инновационных технологических линиях для их диагностики и приёмке в эксплуатацию после прохождения операций технической эксплуатации (рисунок 7).



Рисунок 7 – Стенд диагностики электровоза при приёмке его в эксплуатацию

Большое значение для железнодорожного транспорта имеет организация производства основных быстроизнашиваемых элементов вагонов и локомотивов, например, колесных пар (рисунок 8).



Рисунок 8 – Автоматизированная линия по производству колесных пар

Организация такого производства требует на начальном этапе значительных капитальных вложений, которые начинают окупаться на 2–3-й год их выпуска (с учетом странового эффекта, рисунок 9).

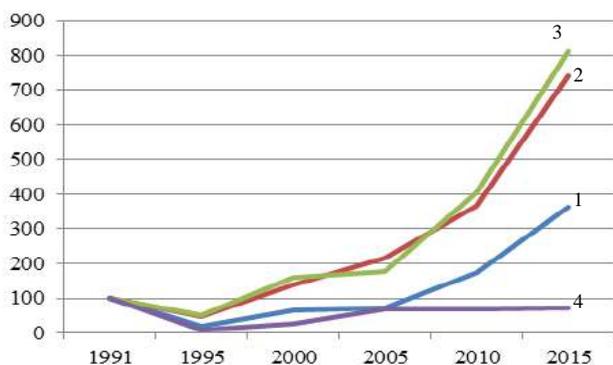


Рисунок 9 – Страновой эффект собственного производства транспортных средств:  
1 – зарплата; 2 – затраты; 3 – налоги; 4 – импортозамещение

Страновой эффект учитывает создание новых рабочих мест и сохранение занятости, повышение социальной стабильности в стране, увеличение платежеспособности населения, рост экспорта, валютных и налоговых поступлений [10].

Получено 25.09.2017

**A. A. Mikhalchenka, E. P. Gurskiy.** Optimization of development of transport systems of the country and manufacture on transport.

The actual problems of scientific and methodical support of the optimal development of transport systems of the country and production on transport, envisaged in the State programs for the development of the transport complex of the Republic of Belarus, are considered. The main provisions for substantiating the measures of effective development of the country's transport complex included in the State programs and subprogrammes are given.

## Выводы:

1 Развитие транспортной системы Республики Беларусь по всем их элементам за последние 24 года имеет положительную тенденцию. Из анализа статистических данных можно отметить значительное усиление транспортной инфраструктуры, создание новых видов инновационного производства.

2 За рассматриваемый период изменился статус транспортной системы страны – переход от решаемых ею задач стратегического объекта к задачам развития бизнеса на рынке транспортных услуг.

3 Принят новый подход к обновлению транспортных средств, который предусматривает оптимизацию их производства на национальных машиностроительных предприятиях и приобретение у иностранных производителей с учетом интегрального странового эффекта.

## Список литературы

1 **Ветвицкий, Е. Е.** Моделирование транспортных процессов : учеб. пособие / Е. Е. Ветвицкий – Омск : СабАДИ, 2017. – 178 с.

2 **Сурип, А. В.** Инновационный менеджмент : учеб. / А. В. Сурип, О. П. Молчанова. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 368 с.

3 **Михальченко, А. А.** Маркетинг на транспорте : учеб. пособие / А. А. Михальченко, М. И. Шкурин. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 263 с.

4 **Negoita, C. V.** Management Applications of System Theory : teach. aid / C. V. Negoita. – Bucharest : UNR, 1986. – 243 p.

5 **Минько, Р. Н.** Организация производства на транспорте : учеб. пособие / Р. Н. Минько. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 263 с.

6 Основы теории транспортных систем и процессов : учеб. пособие / А. А. Михальченко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 382 с.

7 **Синельников, А. Ф.** Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования : [монография] / А. Ф. Синельников. – М. : Изд. центр «Академия», 2013. – 320 с.

8 **Сенько, В. И.** Планирование инновационного развития производственной мощности вагоноремонтной базы : В. И. Сенько, Е. П. Гурский, А. А. Михальченко // Вестник БелГУТа : Наука и транспорт. – 2014. – № 1(28). – С. 4–8.

9 Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2016. – 286 с.

10 Расчёты эффективности хозяйственных мероприятий : А. А. Бевзелюк [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1989. – 112 с.

11 **Сенько, В. И.** Информационные модели в управлении вагонными парками : [монография] / В. И. Сенько, Е. П. Гурский. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 296 с.