

2 **Кексель, О. С.** Методика исследований в социальной работе и социальная статистика : учеб. пособие / О. С. Кексель. – Томск : ТПУ, 2003. – 155 с.

3 **Ковалев, А. И.** Маркетинговый анализ : учеб. / А. И. Ковалев, В. В. Войленко. – М. : Центр экономики и маркетинга, 1996. – 176 с.

*E. BUGAEVA*

*K. BELAYA*

*Belarusian State University of Transport*

## **APPLICATION OF MARKET RESEARCHES IN QUESTIONING OF PASSENGERS OF RAILWAY TRANSPORT**

Market researches in the sphere of passenger traffic are conducted, and also the author's questionnaire is developed for studying of demand and priorities of passengers on railway transport.

Получено 11.09.2015

---

---

**ISSN 2225-6741. Рынок транспортных услуг  
(проблемы повышения эффективности).  
Вып. 8. Гомель, 2015**

---

УДК 625.151.2

*С. Г. БУРЯКОВСКИЙ*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта*

*А. А. РАФАЛЬСКИЙ*

*В. В. СМИРНОВ*

*Инженерная компания «ЭЛАКС»*

## **СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА**

Рассматриваются, с точки зрения эффективности, динамические свойства электромеханической системы железнодорожного стрелочного перевода с электродвигателем постоянного тока при управлении от системы подчиненного регулирования, системы модального регулирования и системы с наблюдателем состояния.

В современную эпоху развития мирового сообщества, когда рост экономики отдельной страны или региона во многом определяется транспортной

политикой государства, весьма важными критериями эффективности работы транспорта являются скорость и пропускная способность станций. На железных дорогах передовых в техническом отношении стран удалось существенно повысить их эффективность, внедрив высокоскоростной электрический транспорт, достигнув при этом значительного экономического эффекта всей отрасли в целом. Стрелочный перевод является одним из важных элементов железнодорожного транспорта, который принимает непосредственное участие в безопасности движения и координации пропускной способности отрасли. Его надежность напрямую влияет на качество и безопасность железнодорожных перевозок [1]. В свою очередь надежность зависит от многих факторов, одним из которых является выбор типа приводной системы. Существующая система управления электрическим приводом стрелочного перевода (релейно-контакторная) является устаревшей, и в большинстве случаев не способна решить такие устоявшиеся проблемы в эксплуатации как: снег или камень, блокирующий рамный рельс; примерзание остряка к рамному рельсу; образование льда в замыкающем устройстве или на остряке [2]. Также она не выполняет полного мониторинга состояния привода и процесса качества перевода, что является недопустимым для скоростных железных дорог. Использование таких систем управления негативно отражается на железнодорожную отрасль и ведет к увеличению себестоимости предоставляемых ей услуг. Поэтому применение микропроцессорной централизации и диспетчеризации не только соответствует общей тенденции развития транспорта, но и позволит получить значительный технико-экономический эффект за счет снижения потребности в техническом обслуживании объектов инфраструктуры железнодорожной автоматики. Существует несколько направлений усовершенствования привода стрелочного перевода с использованием микропроцессорной техники, которые способны решить указанные проблемы: 1) тиристорный преобразователь и двигатель постоянного тока; 2) преобразователь частоты и асинхронный двигатель; 3) двигатель с катящимся ротором. В данной статье будет рассмотрен первый вариант, который обладает относительно низкой величиной капитальных затрат, но не является оптимальным техническим решением ввиду использования двигателя постоянного тока со всеми его недостатками.

Целью данной статьи является исследование и сравнение динамических свойств широко применяемой системы подчиненного регулирования – СПР (рисунок 1) с системой модального управления – СМУ (рисунок 2) и системой управления с наблюдателем – СУН (рисунок 3) при разных видах нагрузок. Объектом исследования является двухмассовая электромеханическая система стрелочного перевода с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения.

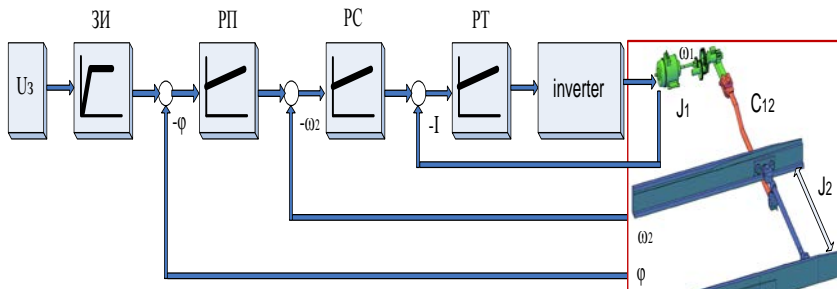


Рисунок 1 – Структурная схема системы подчиненного регулирования двухмассовой системой привода стрелочного перевода

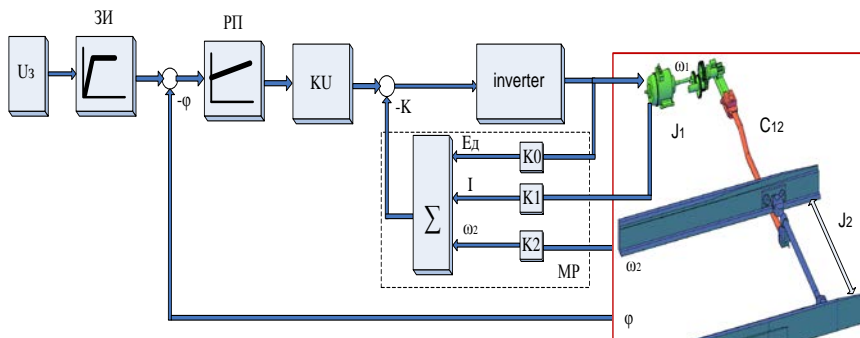


Рисунок 2 – Структурная схема системы модального управления двухмассовой системой привода стрелочного перевода

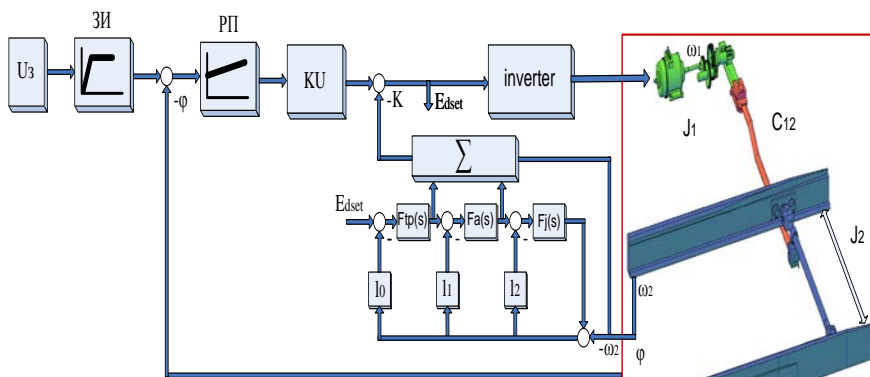


Рисунок 3 – Структурная схема системы «объект – наблюдатель»  
 На структурных схемах введены следующие обозначения:  $U_3$ -напряжение

задания углового положения; ЗИ – задатчик интенсивности; РП, РС, РТ – регуляторы положения, скорости и тока, соответственно; inverter – тиристорный преобразователь,  $\omega_1, \omega_2$  – скорость первой и второй массы,  $\varphi$  – фактическое положение второй массы (значение по датчику)  $J_1$  – момент инерции первой массы (двигатель и редуктор);  $J_2$  – момент инерции второй массы (два остряка),  $C_{12}$  – упругость тяги; МР – модальный регулятор с коэффициентами  $K_0 \dots K_2$ ;  $K_U$  – коэффициент усиления по управлению.

СМУ является современной системой управления, позволяющей реализовать технически оптимальный закон движения при широком диапазоне изменения задания [3]. Однако использование законов модального управления для синтеза регуляторов многомассовых систем является достаточно громоздким и требует в каждом случае специально анализа, что не всегда удобно с точки зрения инженерной практики. Поэтому предлагается применить синтезированный регулятор для одномассовой системы в упруго-массовых системах. При этом данный регулятор должен обеспечить требуемые характеристики переходных процессов.

Модальный регулятор устанавливается в обратной связи и является безинерционным. На его входе осуществляется алгебраическое суммирование всех обратных связей по вектору состояния. Задача синтеза модального регулятора состоит в нахождении такой матрицы коэффициентов обратных связей, чтобы замкнутая система управления была следующего вида [4]:

$$\dot{X} = (A - BK)X + BV \quad (1)$$

и имела желаемое расположение полюсов на комплексной плоскости, т. е. желаемый характеристический полином

$$F_0(p) - \det(pl - A + KB) = G_{ж}(p), \quad (2)$$

где  $X$  – вектор состояния;  $K$  – матрица, состоящая из коэффициентов обратной связи;  $V$  – матрица задания;  $pI$  – единичная матрица;  $G_{ж}(p)$  – желаемый характеристический полином.

Наиболее распространенными из стандартных форм характеристического полинома, являются: распределение Бесселя, распределение Баттерворта, биномиальное распределение, минимум интегральной квадратичной ошибки и др. При исследовании динамики стрелочного перевода, при различных вариантах нагрузки наилучшие результаты касательно степени устойчивости и колебательности переходного процесса показало распределение Баттерворта, поэтому в качестве желаемого характеристического полинома  $G_{ж}(p)$  принимаем фильтр Баттерворта третьего порядка:

$$G_{ж}(p) = p^3 + 2\omega_0 p^2 + 2\omega_0^2 p + \omega_0^3. \quad (3)$$

После определения матриц  $A$ ,  $B$  и сравнения коэффициентов при соответствующих степенях « $p$ » получим следующее уравнение и формулы коэффициентов:

$$F_0(p) = \det(pI - A + KB) = p^3 + k_2 \cdot p^2 + k_1 \cdot p^1 + k_0, \quad (4)$$

где  $k_0, k_1, k_2$  – коэффициенты обратной связи,

$$k_2 = \left( -\frac{1}{T_M} - \frac{1}{T_\omega} + 2\omega_0 \right) \cdot \frac{T_M}{K_{ТП}} - \text{по напряжению ТП};$$

$$k_1 = \left( -\frac{1}{T_M \cdot T_M} - \frac{K_{ТП} k_2}{T_\omega} - \frac{1}{T_\omega \cdot T_M} + 2\omega_0^2 \right) \cdot \frac{R_\omega T_\omega T_M}{K_{ТП}} - \text{по току},$$

где  $T_\omega, T_M$  – соответственно электромагнитная и электромеханическая постоянные времени привода;  $K_{ТП}$  – коэффициент усиления ТП;  $R_\omega$  – эквивалентное сопротивление силовой цепи привода;  $T_M$  – постоянная времени ТП;  $\omega_0$  – собственная частота колебаний системы.

Не все переменные состояния объекта могут быть доступны для измерения из-за сложности или недостаточной точности соответствующих датчиков. Для таких систем управления применяют специальные динамические подсистемы, называемые наблюдателями.

Разработка наблюдателя заключается в том, чтобы в наборе структуры и параметров матрицы  $L$  ошибка оценивания координат за минимальное время стремилась к нулю.

Составляем описание объекта в форме переменных состояния, и записываем матрицы  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Система электропривода с наблюдателем «тиристорный преобразователь – двигатель» описывается следующей системой дифференциальных уравнений, представленных в пространстве состояния:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = \frac{C\Phi_H}{J} \cdot I \\ \frac{du}{dt} = \frac{C\Phi_H}{L} \cdot u - \frac{R_\omega}{L} \cdot I + \frac{1}{L} \cdot E_d; \quad \dot{x} = Ax + Bx; \quad y = Cx \\ \frac{dE_d}{dt} = \frac{1}{T_M} \cdot E_d + \frac{K_{ТП}}{T_M} \cdot U_y \end{cases} \quad (5)$$

где  $C\Phi_H$  – коэффициент двигателя;  $\bar{x}$  – вектор состояния объекта;

$$L = \begin{vmatrix} l_0 \\ l_1 \\ l_2 \end{vmatrix}, \quad x = \begin{vmatrix} \omega & I & E_d \end{vmatrix}^T,$$

$$A = \begin{vmatrix} 0 & \frac{C\Phi_H}{J} & 0 \\ \frac{C\Phi_H}{L} & -\frac{R_\gamma}{L} & \frac{1}{L} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_M} \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_{\text{ТП}}}{T_M} \end{vmatrix}, \quad C = |0 \ 0 \ 1|. \quad (6)$$

Дальнейший синтез наблюдателя сводится к определению коэффициентов матрицы. Показанная выше система уравнений имеет следующую передаточную функцию в разомкнутом состоянии:

$$W(p) = \frac{K_{\text{ТП}} K_{\text{Д}}}{(T_M p + 1) \cdot (T_M T_\gamma p^2 + T_M p + 1)}. \quad (7)$$

Из показанной выше передаточной функции находим коэффициенты  $a_2$ ,  $a_1$ ,  $a_0$  для характеристического уравнения:

$$H(p) = p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + a_0, \quad (8)$$

где  $a_2 = \frac{T_\gamma + T_M}{T_\gamma T_M}$ ,  $a_1 = \frac{T_M + T_M}{T_M T_\gamma T_M}$ ,  $a_0 = \frac{1}{T_M T_\gamma T_M}$ .

Для синтеза наблюдателя полного порядка выбираем желаемым полином, в качестве которого применяем полином Баттерворта:

$$H_{\text{ж}}(p) = p^3 + 2\omega_{0\text{н}} p^2 + 2\omega_{0\text{н}}^2 p + \omega_{0\text{н}}, \quad (9)$$

где  $\beta_0 = \omega_{0\text{н}}^3$ ,  $\beta_1 = 2\omega_{0\text{н}}^2$ ,  $\beta_2 = 2\omega_{0\text{н}}$ ,  $\omega_{0\text{н}}$  – собственная частота наблюдателя.

На основании равенства  $H(p) = H_{\text{ж}}(p)$  составляется система уравнений  $a_i = \beta_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Решая эту систему алгебраических уравнений, находим искомые элементы ( $l_0$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ) матрицы  $L$

$$l_0 = 2\omega_{0\text{н}} \frac{T_\gamma + T_M}{T_\gamma T_M}; \quad (10)$$

$$l_1 = \frac{J}{C\Phi_H} \cdot (2\omega_{0\text{н}}^2 - a_1 - 2a_2\omega_{0\text{н}} + a_2^2); \quad (11)$$

$$l_2 = \frac{JL}{C\Phi_H} \cdot \left[ \omega_{0\text{н}}^3 - a_0 + \left( \frac{1}{T_\gamma} - a_2 \right) \cdot (2\omega_{0\text{н}}^2 - a_1) + \left( a_2^2 + \frac{1}{T_M T_\gamma} - a_1 - \frac{a_2}{T_\gamma} \right) \cdot (2\omega_{0\text{н}} - a_2) \right]. \quad (12)$$

Получим уравнение состояния наблюдателя (5) с учетом полученных значений матриц и коэффициентов:

$$\begin{pmatrix} \ddot{\varpi} \\ \dot{\bar{I}} \\ \dot{E_d} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_0 & \frac{C\Phi_H}{J} & 0 \\ -\frac{C\Phi_H}{L} & -\frac{R_2}{L} & \frac{1}{L} \\ -l_2 & 0 & -\frac{1}{T_M} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varpi \\ \bar{I} \\ E_d \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} l_0 \\ l_1 \\ l_2 \end{pmatrix} \cdot \mathbf{u}(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_{TP}}{T_M} \end{pmatrix} \cdot U_y. \quad (13)$$

Далее, для сравнения работы системы управления СПР с системой с модальным регулятором и наблюдателем, было проведено моделирование в программе Matlab. На трех моделях исследовали различные режимы работы стрелочного перевода. На рисунке 4 показано штатное завершение перевода остячков стрелки. На рисунке 5 представлена работа стрелочного перевода, когда на замыкающем остячке появилось образование льда или запрессовался снег между остячком и рельсом. Рисунок 6 демонстрирует работу стрелочного перевода при попадании рабочей характеристики электропривода на падающий участок характеристики трения.

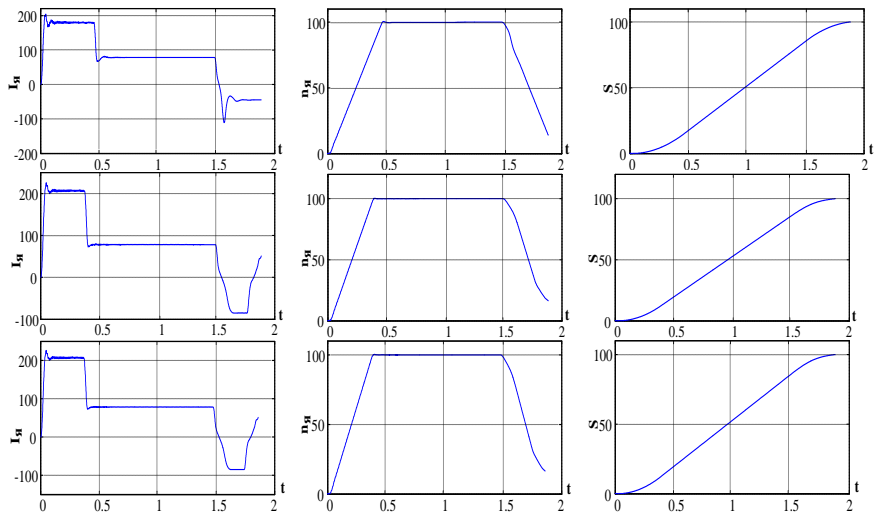


Рисунок 4 – Штатный перевод остячков стрелки:  
 а – система СПР; б – система СМУ; в – система СУН

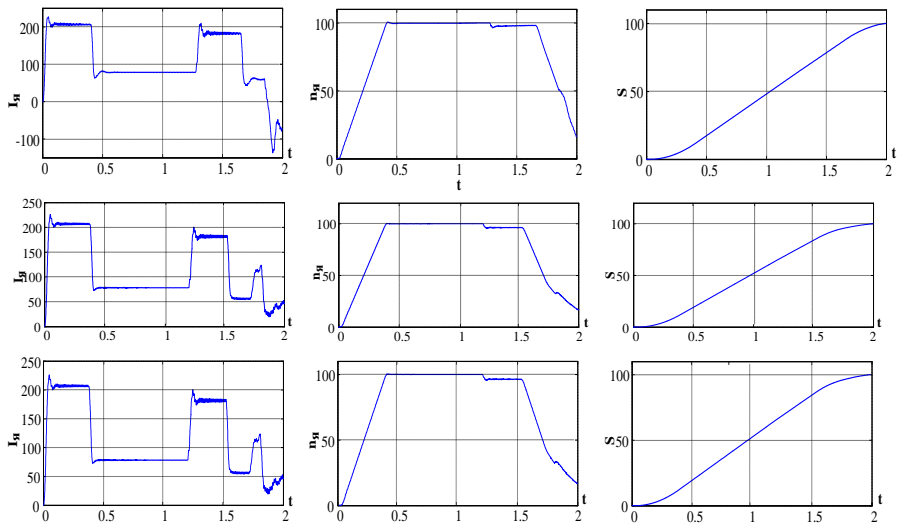


Рисунок 5 – Перевод остяков стрелки, когда снег блокирует рамный рельс:  
*a* – система СПР; *b* – система СМУ; *в* – система СУН

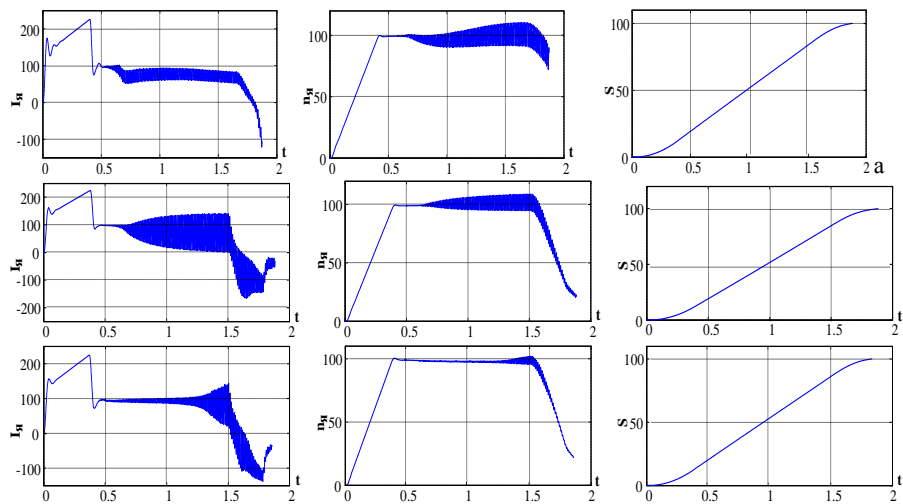


Рисунок 6 – Нестационарный режим перевода остяков стрелки:  
*a* – система СПР; *b* – система СМУ; *в* – система СУН



Из результатов моделирования следует, что синтезированный модальный регулятор и наблюдатель для одномассовой системы позволяет достичь меньшего перерегулирования, чем в системе СПР.

На рисунке 5 показано, что все исследуемые системы введут себя идентично, выбивают снег или лед, попавшие между остряком и рельсом, завершая при этом процесс перевода стрелки, что видно по координате перемещения остряка ( $S$ ), при этом появляется незначительная просадка координаты скорости и увеличение координаты тока. Из рисунка 6 следует, что при попадании характеристики электропривода на падающий участок характеристики трения, возникают колебания во всех трех системах, при этом амплитуда колебания скорости меньше ( $n_y$ ), а амплитуда тока ( $I_y$ ) – больше в системе СУН, чем в СМУ и СПР. Это говорит о том, что ни одна из систем не обладает робастностью по отношению к показателям качества динамики при вариации параметров характеристики трения.

Исследование динамики электропривода стрелочного перевода при различных видах нагрузки показало:

1) экономически, вероятно будет целесообразно использовать традиционные СПР при существующих скоростях движения, поскольку они дешевле и проще в эксплуатации. Однако системы с синтезированным модальным регулятором и наблюдателем имеют преимущество перед СПР в качестве регулирования координаты скорости. Поэтому их целесообразно использовать для скоростных магистралей с критичным показателем времени и качества перевода остряков;

2) рассматриваемые системы управления обеспечивают надежный перевод остряков стрелки с заданными динамическими характеристиками системы как в штатном режиме, так и при попадании снега между остряком и рельсом. Но при работе на падающем участке характеристики трения происходит существенное изменение динамических свойств системы;

3) синтезированные регуляторы модального управления и наблюдателя возможно эффективно использовать в сложных, многомассовых системах, тем самым снижая риск выхода из строя такого узла автоматики, как стрелочный перевод и обеспечивая надежную, ритмичную работу ж.-д. транспорта, одновременно улучшая экономические показатели на обслуживание важнейших (с точки зрения надежности) узлов и механизмов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Резников, Ю. М.** Стрелочные электроприводы электрической и горючей централизации / Ю. М. Резников. – М. : Транспорт, 1975. – 152 с.

2 **Смирнов, В. В.** Регулируемый стрелочный электропривод / С. Г. Буряковский, В. В. Смирнов // Локомотив-інформ : Міжнар. Інформац. наук.-техн. журнал. – Харків : Техностандарт. – 2010. – № 7. – С. 8–9.

3 Автоматизированные электромеханические системы с модальными регуляторами и наблюдателями состояния : сб. научных статей; под ред. В. Б. Клепикова, Л. В. Акимова. – Харьков : ХГПУ. – 1997. – 89 с.

4 Акимов, Л. В. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния / Л. В. Акимов, В. И. Колотило, В. С. Марков. – Харьков : ХГПУ, 2000. – 93 с.

*S. BURYAKOVSKIY*

*Ukrainian State University of Railway Transport*

*A. RAFALSKIY*

*V. SMIRNOV*

*Engineering company «ELAKS»*

## **THE COMPARISON OF EFFICIENCY OF MODERN CONTROL SYSTEMS FOR THE DC DRIVE OF THE RAILROAD SWITCH.**

In article are considered efficiency dynamic properties of electromechanical system of the railway railroad switch with the DC electric motor controlling system of the subordinated regulation, systems of modal regulation and system with the observer of a state.

Получено 26.10.2015

---

**ISSN 2225-6741. Рынок транспортных услуг  
(проблемы повышения эффективности).  
Вып. 8. Гомель, 2015**

---

УДК 330.142.212

*Е. О. ДРУЖИНИНА*

*Брестский государственный технический университет*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРАКТИКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО ОТВЕТСТВЕННОГО ИНВЕСТИРОВАНИЯ**

Рассмотрены содержание и методы регулирования инвестиционной деятельности, исследованы направления совершенствования социально ответственного инвестирования. Обоснована значимость рыночных инструментов регулирования инвестиционных проектов. Предложено методическое обеспечение оценки социальной ответственности инвестиционного проекта как финансовой основы для регулирования инвестиционных процессов с использованием рыночных методов.

Осуществление инвестиционной деятельности в условиях нестабильности внешней среды, ограниченности финансовых ресурсов, повышении тре-