

ОГРАНИЧЕНИЯ РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЯ ОТЦЕПОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

Досліджено діючі обмеження режимів гальмування відцепів на гірках, розроблено методику побудови області допустимих швидкостей виходу відцепів з гальмівних позицій.

Исследованы действующие ограничения режимов торможения отцепов на горках, разработана методика построения области допустимых скоростей выхода отцепов из тормозных позиций.

The operating limitations of braking modes for cuts on humps are explored; a procedure of construction of region of permissible speeds for exit of cuts from the retarding positions is developed.

Одним из основных путей увеличения перерабатывающей способности сортировочных станций, повышения качества сортировочного процесса, а также сокращения расхода энергоресурсов, связанных с расформированием составов, является автоматизация сортировочных горок. В настоящее время разрабатываются системы автоматизации сортировочного процесса нового класса, базирующиеся на широком использовании микропроцессорной техники [1, 2]. Использование ЭВМ в системах управления технологическими процессами на горках позволяет реализовать достаточно сложные математические модели процесса расформирования и за счет этого существенно повысить качество и точность управления. В этой связи повышается актуальность разработки новых методов автоматизированного управления процессом роспуска составов на сортировочных горках.

Одной из основных функций системы автоматизации расформирования составов является управление замедлителями тормозных позиций (ТП) спускной части горки для обеспечения разделения отцепов на разделительных элементах. Математическая модель управляемого скатывания отцепа с горки для решения указанной задачи приведена в [3]. В данной работе выполнены исследования влияния режимов торможения на качество интервального регулирования скорости отцепов. Установлено, что для каждого отцепа существует область допустимых режимов торможения (ОДР), конфигурация и размеры которой существенно зависят от его параметров и условий скатывания.

Анализ существующих ограничений режимов торможения, связанных с мощностью замедлителей, условиями скатывания отцепов на спускной части горки, а также требованиями

прицельного регулирования их скорости, выполнены в [4]. В работе приведены исследования зависимостей параметров ОДР от сопротивления движению отцепов, их длины и потребной дальности скатывания в различных условиях.

Следует заметить, что в работах [3, 4] режим торможения определяется величиной погашаемой энергетической высоты h_n , которая реализуется при равномерном торможении отцепа во всей зоне действия замедлителей тормозной позиции L_t . При этом на отцеп действует сила, удельная величина которой w_t пропорциональна погашаемой энергетической высоте h_n . В то же время в реальных условиях режим торможения определяется заданной скоростью U выхода отцепа из ТП. При этом на тормозимый отцеп действует сила, удельная величина которой w_t пропорциональна номинальной мощности N замедлителя, а торможение осуществляется в некоторой зоне L_3 , являющейся частью полной зоны торможения L_t ($L_3 \leq L_t$). Поэтому для разработки методов и технологических алгоритмов управления процессом роспуска составов на автоматизированных горках была усовершенствована модель управляемого скатывания отцепов применительно к указанным реальным условиям торможения скатывающихся отцепов [5]. Данная модель была использована для исследования влияния режимов торможения на качество сортировочного процесса, а также для разработки методики их оптимизации.

Как было отмечено выше, на автоматизированных горках режимы торможения определяются совокупностью значений скорости выхода отцепов из ТП спускной части горки. Поэтому

для решения задачи оптимизации необходимо предварительно установить допустимые значения этих скоростей для каждого отцепа расформируемого состава. В этой связи в настоящей статье были выполнены исследования области допустимых скоростей (ОДС) выхода отцепов из ТП сортировочной горки. Указанная область определяет совокупность ограничений, которые необходимо учитывать при решении задачи оптимизации режимов торможения скатывающихся отцепов.

На сортировочных горках, оборудованных тремя ТП, режим скатывания отцепа может быть представлен вектором $U = (U', U'', U''')$ скоростей выхода из верхней (ВТП), средней (СТП) и парковой (ПТП) тормозных позиций. При этом из трех компонент вектора U наиболее сложными для определения являются первые две, которые определяют качество интервального регулирования скорости отцепа и, в то же время, влияют на режим прицельного торможения. Третья компонента U''' может быть однозначно определена из условия обеспечения необходимой скорости отцепа в точке прицеливания. В этой связи в дальнейшем режим скатывания отцепа представляется вектором $U = (U', U'')$, все возможные значения которого принадлежат области допустимых скоростей (ОДС) выхода из ВТП и СТП.

Ограничения, образующие ОДС, определяются четырьмя группами факторов:

- тормозной мощностью замедлителей ТП;
- допустимой скоростью скатывания отцепа на спускной части горки;
- требованиями прицельного регулирования скорости отцепа.
- возможностью реализации заданной скорости выхода отцепа из ТП.

Для примера на рис. 1 показаны ограничения скоростей выхода (U', U'') для отцепа ОХ (очень хороший бегун), который скатывается в неблагоприятных зимних условиях при встречном ветре на горке с тремя ТП. Тормозные позиции на спускной части горки оборудованы двумя замедлителями КНП-5; на ПТП установлено по три замедлителя РНЗ-2.

Ограничения скоростей выхода отцепа из ТП, связанные с тормозной мощностью замедлителей, могут быть представлены как

$$U'_{\min} \leq u' \leq U'_{\max}; \quad (1)$$

$$U''_{\min} \leq u'' \leq U''_{\max}, \quad (2)$$

где U'_{\min}, U'_{\max} – соответственно, минимальная и максимальная скорости выхода отцепа из ВТП;

U''_{\min}, U''_{\max} – то же, из СТП.

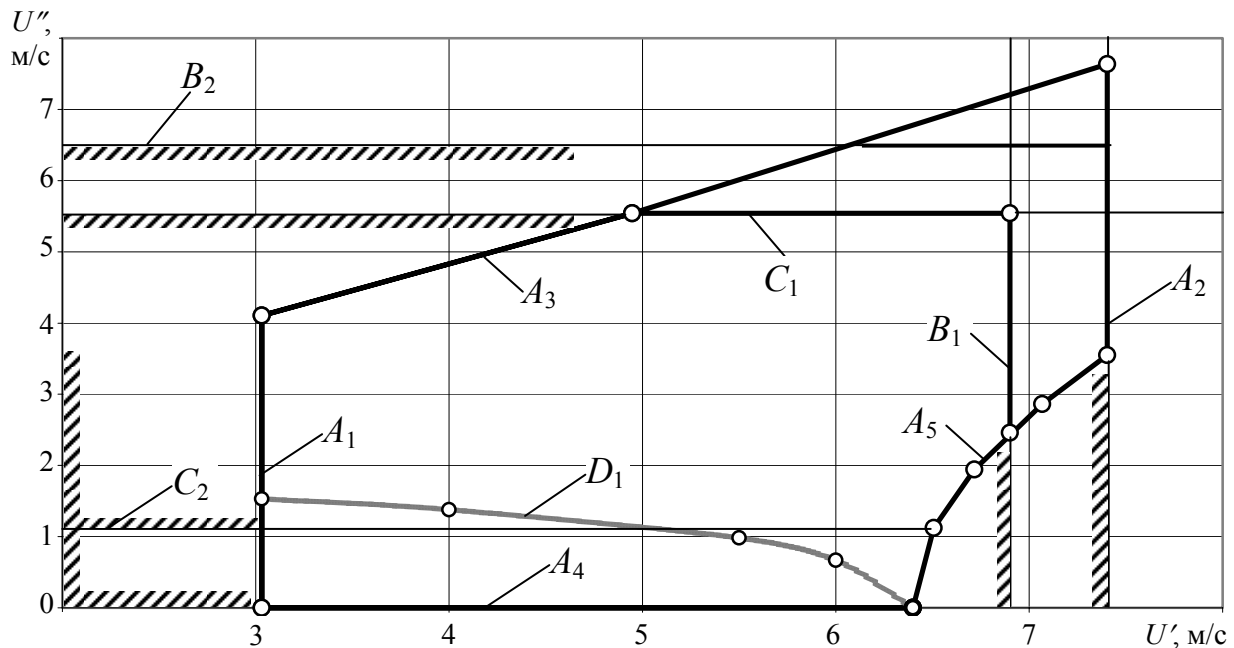


Рис. 1. Ограничения скоростей выхода отцепа ОХ из тормозных позиций спускной части горки

При этом максимальные скорости выхода будут иметь место при отсутствии торможения на соответствующей ТП ($h = 0$), а минимальные – при полном использовании номинальной мощности замедлителей ($h = H$).

Графически ограничения (1) представляют собой вертикальные линии, параллельные оси ординат (на рис. 1 скорости U'_{\min} соответствует линия A_1 , скорости U'_{\max} – линия A_2).

Следует заметить, что минимальная скорость выхода отцепа из ВТП $U'_{\min} \geq 0$; ее конкретное значение зависит от соотношения высоты горки, номинальной мощности замедлителей ВТП, параметров отцепа и условий скатывания. Значение $U'_{\min} = 0$ может иметь место, если мощность замедлителей ВТП достаточна для остановки данного отцепа на позиции; в этом случае линия ограничения совпадает с осью ординат. В противном случае величина $U'_{\min} > 0$ и представляет собой скорость выхода отцепа из ВТП при его полном торможении на этой позиции (в примере на рис. 1 $U'_{\min} = 3,03$ м/с – линия A_1).

Максимальная скорость выхода отцепа U'_{\max} соответствует режиму скатывания отцепа без торможения на ВТП (в примере на рис. 1 $U'_{\max} = 7,40$ м/с – линия A_2).

В отличие от ограничений (1), которые, как было показано, представляют собой конкретные числовые значения, ограничения скоростей выхода из СТП, связанные с номинальной мощностью ее замедлителей (2), зависят от степени торможения отцепа на ВТП. Поэтому указанные ограничения U''_{\min} , U''_{\max} следует рассматривать как функции скорости выхода отцепа из ВТП $U''_{\min}(U')$ и $U''_{\max}(U')$.

Ограничение $U''_{\max}(U')$ является практически линейным и представляется на графике наклонной линией (рис. 1, линия A_3), которая отображает зависимость скорости выхода отцепа из СТП от его скорости выхода из ВТП при отсутствии торможения на СТП.

Ограничение $U''_{\min}(U')$ существенно зависит от суммарной номинальной мощности H'' замедлителей СТП; для примера на рис. 2 показано семейство функций $U''_{\min}(U')$ при различных значениях $H'' = 0,4 \dots 2,8$ мэв. Как видно из рисунка, при малых значениях мощности ($H'' = 0,4$ мэв) график $U''_{\min}(U')$ (линия 3-4) представляет собой прямую, практически па-

раллельную линии 1-2 (функция $U''_{\max}(U')$). По мере роста H'' уменьшается скорость выхода отцепа из ВТП и одновременно увеличивается степень нелинейности рассматриваемой зависимости $U''_{\min}(U')$.

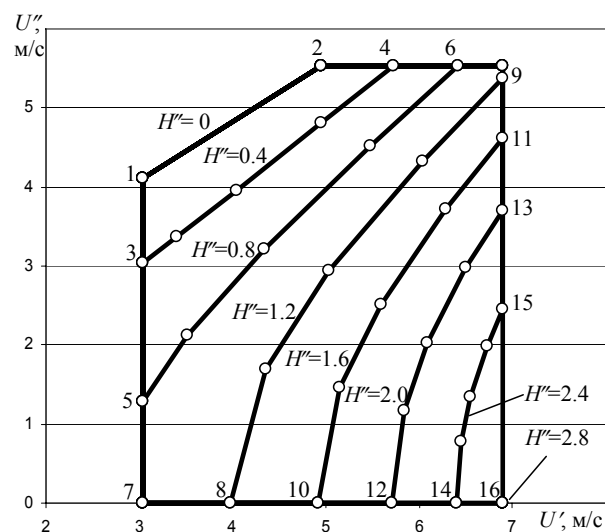


Рис. 2. Ограничения скоростей выхода отцепа ОХ из СТП при разной мощности H'' ее замедлителей

При увеличении H'' до 1,2 мэв и более ограничение $U''_{\min}(U')$ приобретает более сложный характер и представляется на графике двумя линиями. Так, при $H'' = 1,6$ мэв ограничение $U''_{\min}(U')$ представляется прямой 7-10, расположенной на оси абсцисс, и кривой 10-11 (см. рис. 2). Это означает, что при скорости U' выхода отцепа из ВТП меньше 4,92 м/с (точка 10 на графике) мощности СТП достаточно для его остановки ($U'' = 0$); при дальнейшем увеличении скорости U' возрастает и минимальная скорость выхода отцепа из СТП в соответствии с графиком $U''_{\min}(U')$ на участке 10-11.

По мере роста мощности СТП увеличивается длина отрезка прямой на оси абсцисс и, соответственно, уменьшается длина криволинейной части ограничения $U''_{\min}(U')$, так что при $H'' = 2,8$ мэв кривая вырождается в точку (рис. 2, точка 16), а все ограничение представляет собой прямую $U'' = 0$ (линия 7-16). Следовательно, при такой мощности отцеп может быть остановлен на СТП при любой скорости выхода из ВТП. В рассматриваемом примере при $H'' = 2,4$ мэв ограничение $U''_{\min}(U')$ представляется двумя линиями – прямой A_4 , совпадающей с осью абсцисс, и кривой A_5 (см. рис. 1).

Рассмотренные ограничения, определяемые значениями номинальной мощности замедлителей ВТП H' и СТП H'' , образуют фигуру, которую в дальнейшем будем называть областью возможных режимов торможения (ОВР). В рассматриваемом примере (см. рис. 1) ОВР образована линиями A_1 ($h' = H'$), A_2 ($h' = 0$), A_3 ($h'' = 0$), а также A_4 и A_5 ($h'' = H''$).

Как известно, на механизированных горках существуют также ограничения максимальной скорости входа отцепов на замедлители, и поэтому необходимо соответственно ограничить скорости их выхода из предшествующих ТП. На трехпозиционных горках такие ограничения определяют максимально допустимые скорости выхода отцепа из ВТП ($U'_{\text{доп}}$) и СТП ($U''_{\text{доп}}$).

Максимальная допустимая скорость выхода отцепа из i -й ТП $U_{\text{доп}}^{(i)}$ определяется из условия обеспечения допустимой скорости $v_{\text{доп}}^{(i+1)}$ входа этого отцепа на следующую $(i+1)$ -ю ТП:

$$U_{\text{доп}}^{(i)} = \max \left\{ U^{(i)} \mid v^{(i+1)}(U^{(i)}) \leq v_{\text{доп}}^{(i+1)} \right\}.$$

Указанное ограничение для ВТП ($i=1$) представляет собой определенное числовое значение $U'_{\text{доп}}$, которое графически изображается вертикальной линией. В приведенном на рис. 1 примере $U'_{\text{доп}} = 6,90$ м/с (линия B_1), при котором скорость входа отцепа на СТП $v'' = 7,0$ м/с. Ограничение для СТП ($i=2$) также является числом $U''_{\text{доп}}$, которое изображается на графике горизонтальной линией. Так, если на горке ПТП оборудована замедлителями Т-50, для которых допустимая скорость входа $v'''_{\text{доп}} = 6,0$ м/с, то $U''_{\text{доп}} = 6,52$ м/с (см. рис. 1, линия B_2).

Таким образом, указанные ограничения графически представляются прямоугольником, который образуют оси координат $U'0U''$, а также линии B_1 , B_2 , соответствующие значениям $U'_{\text{доп}}$ и $U''_{\text{доп}}$.

Третья группа ограничений режимов торможения отцепов на ВТП и СТП определяется требованиями прицельного регулирования скорости. Для их выполнения необходимо, чтобы любой режим, принадлежащий ОДС ($U \in \Omega$), обеспечивал докатывание отцепа до точки прицеливания $s_{\text{п}}$ со скоростью $v_{\text{п}}$, не превышающей допустимой при соударении величины $v_{\text{пд}}$

($0 \leq v_{\text{п}} \leq v_{\text{пд}}$); при этом торможение на ПТП должно осуществляться в пределах её номинальной мощности ($0 \leq h''' \leq H'''$). Указанные ограничения определяются минимальной $U''_{\text{пр.мин}}$ и максимальной $U''_{\text{пр.макс}}$ скоростями выхода отцепа из СТП, при которых выполняются указанные условия прицельного регулирования. При этом минимальная скорость $U''_{\text{пр.мин}}$ должна обеспечить его докатывание до точки прицеливания со скоростью $v_{\text{п}} = 0$ без торможения на ПТП ($h''' = 0$). Максимальная скорость $U''_{\text{пр.макс}}$ должна обеспечить допустимую скорость отцепа в точке прицеливания ($v_{\text{п}} = v_{\text{пд}}$) при полном использовании мощности ПТП ($h''' = H'''$). Формально указанные ограничения скорости выхода отцепа из СТП можно представить как

$$U''_{\text{пр.макс}} = \max \left\{ U'' \mid h''' = H''', v_{\text{п}} = v_{\text{пд}} \right\};$$

$$U''_{\text{пр.мин}} = \min \left\{ U'' \mid h''' = 0, v_{\text{п}} = 0 \right\}.$$

Графически указанные ограничения представляются двумя горизонтальными линиями, которые соответствуют значениям $U''_{\text{пр.макс}}$ и $U''_{\text{пр.мин}}$. В рассматриваемом примере на рис. 1 при дальности скатывания $s_{\text{п}} = 400$ м ограничение $U''_{\text{пр.макс}} = 5,54$ м/с показано линией C_1 (при $v_{\text{п}} = 1,5$ м/с и $h''' = 1,2$ мЭВ). Ограничение $U''_{\text{пр.мин}} = 0$ и совпадает с осью абсцисс; это означает, что даже при полной остановке на СТП данный отцеп после растормаживания докатывается до заданной точки с безопасной при соударении скоростью ($0 \leq v_{\text{п}} \leq v_{\text{пд}}$) при $h''' = 0$. При возрастании требуемой дальности скатывания $s_{\text{п}}$ минимальная скорость выхода отцепа из СТП $U''_{\text{пр.мин}}$ также должна быть увеличена; так, при $s_{\text{п}} = 800$ м величина $U''_{\text{пр.мин}} = 1,10$ м/с (см. рис. 1, линия C_2).

Ограничения скорости выхода отцепа из ТП могут быть связаны и с возможностью ее реализации на данной позиции. Как показал анализ, при определенных сочетаниях значений фактической скорости v входа отцепа на ТП и заданной скорости выхода U_3 последняя не может быть реализована, если торможение осуществляется головной частью ТП. В подобных случаях при попытке реализовать скорость U_3

отцеп либо останавливается на ТП, либо после прекращения торможения при достижении скорости, близкой к нулю, вновь ускоряется и имеет в момент выхода из ТП скорость выше заданной, т.е. $U > U_3$. Обычно данный режим движения имеет место на СТП в тех случаях, когда отцеп входит на нее с низкой скоростью v'' после достаточно интенсивного торможения на ВТП, а заданная скорость выхода U_3'' также невелика. При этом следует заметить, что реализация указанной скорости U_3'' обычно возможна, если торможение отцепа производится хвостовой частью СТП.

Для учета указанного ограничения режима торможения необходимо в ОДС выделить область скоростей U , реализация которых невозможна при торможении отцепа головной частью ТП. Для построения границы данной области следует рассмотреть ряд возможных значений скорости выхода отцепа из ВТП U' и для каждого из них найти с использованием имитационного моделирования скатывания соответствующую скорость выхода из СТП U'' . При этом отцеп тормозится от момента входа на СТП до тех пор, пока его скорость не приблизится к нулю; после этого торможение прекращается до выхода отцепа из СТП, в момент которого фиксируется искомая скорость U'' .

Для примера на рис. 3. приведен график скорости отцепа ОХ при реализации указанного режима на СТП. Следует указать, что у данного отцепа было полное торможение на ВТП и, соответственно, минимальная скорость выхода $U' = 3,03$ м/с.

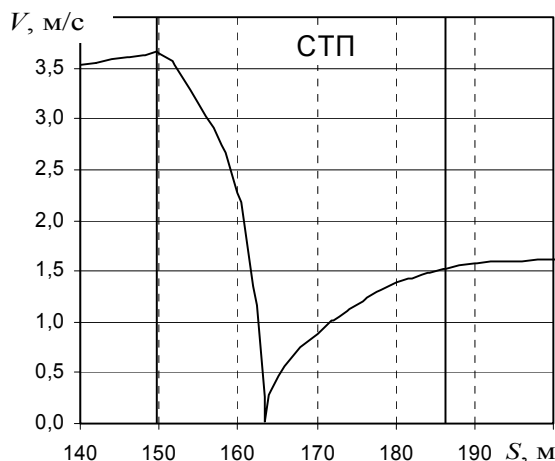


Рис. 3. График скорости отцепа ОХ при торможении головной частью СТП и минимальной возможной скорости выхода

Как видно из приведенного рисунка, отцеп вошел на СТП со скоростью $v'' = 3,66$ м/с. В результате торможения отцепа головной частью СТП на участке длиной $L_T = 13,51$ м его скорость резко уменьшалась до $v = 0,01$ м/с в точке $s = 163,33$ м, после чего торможение было прекращено; в дальнейшем скорость отцепа вновь возросла и достигла при выходе из СТП величины $U'' = 1,53$ м/с.

В результате моделирования была получена точка ОДС $U = (3,03; 1,53)$, принадлежащая границе зоны ограничений скоростей выхода отцепа ОХ по условиям их реализации; полностью указанная граница показана на рис. 1 (линия D_1).

Таким образом, выполненный анализ показал, что каждая из скоростей выхода U' , U'' может иметь несколько ограничений разного характера. Если эти ограничения представлены группой параллельных линий, то только одно из них может быть активным. Известно, что если существуют ограничения, которые не активны в точке оптимума, то их можно исключить из модели и за счет этого уменьшить размерность задачи оптимизации.

В рассмотренном примере ОДС представляет собой неправильный шестиугольник с вершинами 1-2-3-4-5-6 (см. рис. 4); при этом вершине 1 соответствует быстрый режим скатывания отцепа (Б), а вершине 4 – медленный (М). Указанные режимы обеспечивают, соответственно, минимальное и максимальное время скатывания отцепа с горки.

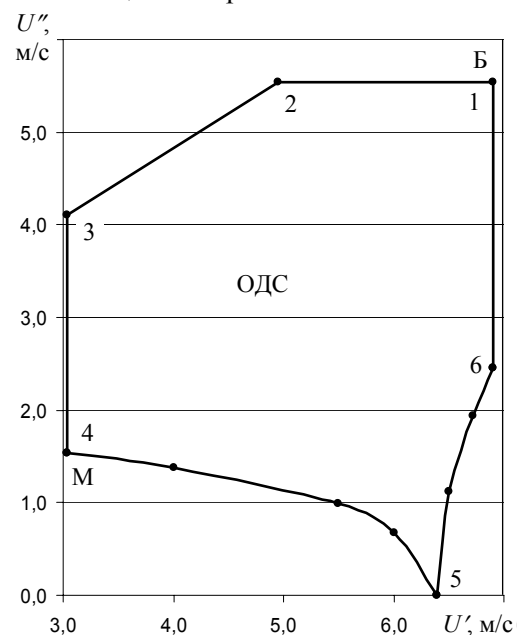


Рис. 4. ОДС отцепа ОХ с активными ограничениями скоростей выхода из ТП

Все стороны указанного шестиугольника представляют собой ограничения, которые могут быть активными, т.е. на них может быть расположен оптимальный режим торможения.

На основе выполненных исследований была формализована методика и разработан алгоритм построения ОДС с учетом конструкции горки, параметров отцепа и условий скатывания. Методика основана на использовании имитационного моделирования скатывания отцепа с горки; она позволяет также идентифицировать и исключить неактивные ограничения скоростей выхода отцепа из ТП.

В заключение с использованием указанной методики были построены ОДС для различных отцепов, условий скатывания и дальности пробега в сортировочный парк. Результаты исследований показали, что конфигурация, размеры и положение ОДС существенно зависят от конструкции горки, а также от параметров отцепа и условий скатывания. Таким образом, для оптимизации режимов торможения отцепов расформируемого состава необходимо для каждого из них предварительно определить указанную область.

Полученные результаты исследований могут быть использованы для разработки методов оптимального управления процессом скатывания с горки отцепов расформируемого состава. Указанные методы необходимы для создания систем автоматизации сортировочного процесса на горках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка адаптивной автоматической системы управления работой сортировочной горки [Текст] / Е. Н. Лебединская и др. // Вестн. ВНИИЖТа. – 1999. – № 3. – С. 32-34.
2. Савицкий, А. Г. Управление движением составов и отцепов на автоматизированных сортировочных горках [Текст] / А. Г. Савицкий, В. И. Шелухин, В. Н. Соколов // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – № 7. – С. 15-19.
3. Бобровский, В. И. Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – № 3. – С. 3-8.
4. Бобровский, В. И. Анализ эффективности режимов торможения отцепов на сортировочных горках [Текст] / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Н. В. Рогов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 11. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С. 103-111.
5. Бобровский, В. И. Моделирование торможения отцепов на замедлителях при их скатывании с сортировочных горок [Текст] / В. И. Бобровский, А. В. Кудряшов, Л. О. Ефимова // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології / Матеріали IV міжн. наук.-практ. конф. – К.: ДЕГУТ, 2008. – С. 118-119.

Поступила в редколлегию 24.03.2009.