

ТРАНСПОРТ

УДК 621.878.6

А. Д. Бужинский

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПОГРУЗЧИКА

Проведена оценка эффективности применения системы энергосбережения фронтального одноковшового погрузчика на примере МоАЗ-4048. Рассмотрено два различных исполнения гидросистемы погрузчика и произведен анализ влияния каждого из исполнений на показатели качества погрузчика. В результате сделаны выводы касательно повышения топливной экономичности погрузчика с системой энергосбережения по сравнению с его базовым исполнением.

Одноковшовые пневмоколесные фронтальные погрузчики занимают одно из ведущих мест в семействе строительно-дорожных машин [1]. Это обусловлено их высокой универсальностью и способностью выполнять возложенные на них функции в различных условиях работы. В результате этого наблюдается увеличение парка одноковшовых погрузчиков, повышение их технического уровня, мощности, расширение их функциональных возможностей, что еще больше расширяет их область применения в народном хозяйстве [2, 3]. Вместе с этим наблюдается и повышение требований, предъявляемых потребителями к погрузчикам, основными из которых являются высокая надежность, производительность, экологичность и низкие эксплуатационные издержки.

За всю историю развития строительного и дорожного машиностроения задача снижения эксплуатационных издержек за счет уменьшения расхода топлива не выделялась по степени важности среди прочих проблем совершенствования машин. В связи с постоянным ростом цен на энергоносители одним из основных путей повышения эффективности эксплуатации строительно-дорожных машин (СДМ) стала экономия энергоресурсов [4].

На рис. 1 представлен результат расчета стоимости 1 маш.-ч работы погрузчика.

Как видно из диаграммы на рис. 1, затраты на топливо составляют значительную часть стоимости 1 маш.-ч работы погрузчика, а именно 43,9 %. При этом, учитывая тенденцию к увеличению стоимости топлива, величина составляющей затрат на топливо в общей стоимости 1 маш.-ч будет повышаться. На основании этого можно сделать вывод, что исследования в области снижения энергопотребления СДМ являются актуальными и требуют внимания.

Широкое использование гидропривода в строительных, дорожных и подъемно-транспортных машинах позволило повысить их производительность, сделать более мобильным рабочее оборудование, облегчить работу оператора. В ряде машин (экскаваторы, погрузчики) гидропривод используется не только для управления рабочим оборудованием, но и для привода ходового оборудования и рулевого управления. В связи с тем, что на привод гидросистемы затрачивается все большая часть мощности двигателя внутреннего сгорания, возникает задача рассмотрения гидропривода машины с точки зрения потребления им энергии двигателя и в связи с этим оптимизации гидропривода. Использование различных конструктивных решений, с точки зрения энергозатрат, судя по зарубежным публикациям, может дать значительную экономию топлива [5].

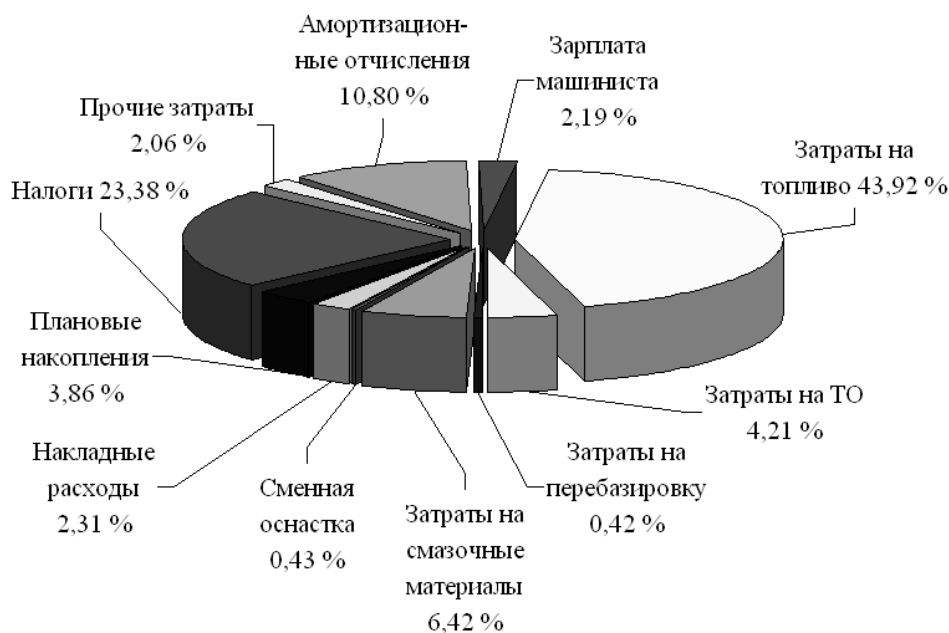


Рис. 1. Составляющие планово-расчетной стоимости 1 маш.-ч работы погрузчика МоА3-4048

В связи с этим в последнее время наметилась тенденция к увеличению количества исследований в области энергосбережения, при этом вопросы, касающиеся эффективного использования энергоресурсов, поставлены на государственный уровень и отражены в указах и директивах Президента Республики Беларусь, а также в постановлениях Совета Министров.

В результате анализа имеющихся технических решений и исследований в данной области была предложена система энергосбережения одноковшового фронтального погрузчика, на которую получен патент на изобретение Республики Беларусь [6]. На рис. 2 представлена принципиальная гидравлическая схема энергосберегающей системы погрузчика. Суть системы энергосбережения в использовании рабочей жидкости гидросистемы, находящейся под давлением от действия весовой нагрузки рабочего оборудования при его опускании. Эффект достигается за счет того, что рабочая жидкость, выходящая из поршневых полостей гидроци-

линдров стрелы, направляется на вход насосов гидросистемы, которые начинают работать как насос-моторы, снижая тем самым потребляемую ими мощность, а следовательно, и расхода топлива. Трудностью использования рабочей жидкости при опускании рабочего оборудования является различие объема рабочей жидкости, подаваемой в штоковые полости и выходящей из поршневых полостей гидроцилиндров. В представленном техническом решении эта проблема решается за счет установки двух насосов. При опускании рабочего оборудования один из насосов подает рабочую жидкость в штоковые полости гидроцилиндров, а выход второго соединен с гидробаком. При этом подача насосов подобрана таким образом, что их суммарный расход обеспечивается выходящей из поршневых полостей гидроцилиндров жидкостью. Подбор необходимых подач насосов осуществляется за счет рабочих объемов насосов при одинаковой частоте вращения приводных валов или за счет

частоты вращения приводных валов, при одинаковых рабочих объемах насосов. Например, для гидроцилиндров с коэффициентом мультипликации 1,25 подачи насосов должны находиться в соотношении 1/4. При этом насос с большим рабочим объемом в процессе работы энергосберегающей системы подает рабочую жидкость в штоковые полости гидроци-

линдров, а меньший – в бак. При работе гидросистемы на подъем рабочего оборудования объединенный поток от двух насосов подается в поршневые полости гидроцилиндров стрелы. Аналогично при работе погрузчика в транспортном режиме объединенный поток от двух насосов перекачивается в гидробак.

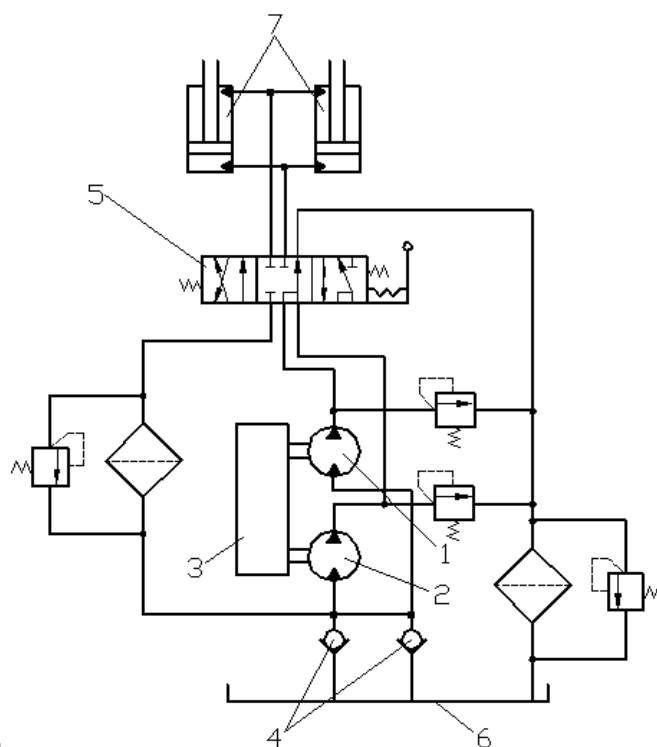


Рис. 2. Энергосберегающая система машины: 1, 2 – насосы; 3 – редуктор отбора мощности; 4 – обратные клапана; 5 – распределитель; 6 – гидробак; 7 – гидроцилиндры стрелы

Используя методы математического моделирования [7] для предложенной системы энергосбережения, была составлена динамическая модель погрузчика с системой энергосбережения, по которой записана математическая модель.

Используя полученную математическую модель, был произведен анализ эффективности использования предложенной системы энергосбережения применительно к погрузчику МоАЗ–4048. В ходе исследования рассматривались и сопоставлялись энергопотребления следую-

щих исполнений погрузчиков, а именно:

- базовый погрузчик МоАЗ–4048 без системы энергосбережения;
- базовый погрузчик МоАЗ–4048 с системой энергосбережения.

С помощью разработанной математической модели на ЭВМ анализировался процесс работы гидросистемы погрузчика при опускании рабочего оборудования. Предполагалось, что погрузчик производит выгрузку материала в транспортное средство, а затем возвращается к месту загрузки с одновременным опус-

канием рабочего оборудования.

Принималось, что передача включена, трогание осуществлялось за счет увеличения подачи топлива. Вязкость рабочей жидкости принималась для рабочей температуры (50 °С). Рабочая жидкость ВМГЗ. Ход штоков гидроцилиндров стрелы погрузчика МоАЗ-4048 составляет 1 м.

В качестве оценочных показателей эффективности работы системы энергосбережения приняты:

1) мощность, затрачиваемая на привод насосов в процессе опускания рабочего оборудования N_H , Вт

$$N_H = (P_{\text{вых1}} - P_{\text{ex}}) \cdot Q_1 \cdot \eta_1 + (P_{\text{вых2}} - P_{\text{ex}}) \cdot Q_2 \cdot \eta_2, \quad (1)$$

где $P_{\text{вых1}}$ – давление на выходе из первого насоса, определяемое с учетом потерь, Па; $P_{\text{вых2}}$ – давление на выходе из второго насоса, определяемое с учетом потерь, Па; P_{ex} – давление на входе в насосы, определяемое с учетом потерь, Па; Q_1 – подача первого насоса, м³/с; Q_2 – подача второго насоса, м³/с; η_1 – полный КПД первого насоса; η_2 – полный КПД второго насоса;

2) средняя мощность, затрачиваемая на привод насосов $N_{\text{HЦ}}$, кВт, в процессе опускания рабочего оборудования

$$N_{\text{HЦ}} = \int_0^l N_H(l) dl, \quad (2)$$

где $N_H(l)$ – функция зависимости мощности, затрачиваемой на привод насосов, от хода штока; l – ход штока (изменяется от 0 до 1), м;

3) мгновенное значение часового расхода топлива на привод насосов в процессе опускания рабочего оборудования G_T , л/ч

$$G_T = \frac{q_e N_H}{1000 \cdot \rho}, \quad (3)$$

где q_e – удельный расход топлива двигателя ЯМЗ-236Б, $q_e = 224$ г/(кВт·ч); N_H – мощность, затрачиваемая на привод насосов, кВт; ρ – плотность дизельного топли-

ва, $\rho = 890$ кг/м³;

4) цикловые затраты топлива на привод насосов за период работы энергосберегающей системы (за время опускания рабочего оборудования) G_P , л

$$G_P = \frac{t}{3600} \int_0^l G_T(l) dl, \quad (4)$$

где t – время работы системы энергосбережения (время опускания рабочего оборудования), с.

С помощью математической модели системы энергосбережения были проведены исследования о влиянии энергосберегающей системы на показатели качества погрузчика. На рис. 3–6 представлены графики, отражающие влияние системы энергосбережения на показатели качества различных исполнений погрузчика.

В процессе опускания рабочего оборудования давление в поршневых полостях гидроцилиндров стрелы изменяется по зависимости, приведенной на рис. 3.

Как видно из графиков на рис. 3, давление в поршневых полостях гидроцилиндров стрелы при порожнем ковше в начале опускания находится в пределах 5 МПа. Далее, при опускании, величина давления снижается из-за изменения плеч действующих сил и в опущенном положении достигает значения 2 МПа. Именно это давление (от 5 до 2 МПа), за вычетом гидравлических потерь, и использует система энергосбережения.

На рис. 4 представлены графики, отражающие зависимость затрачиваемой мощности на привод насосов гидросистемы в зависимости от хода штока гидроцилиндров, полученные в результате расчета по математической модели. При этом графики, расположенные в положительной половине системы координат, означают, что насосы работают в режиме гидромоторов, т. е. вырабатывают мощность и снижают нагрузку двигателя, а в отрицательной, что они мощность потребляют.

Как видно из графиков, для базового погрузчика, не оборудованного системой энергосбережения, имеют место затраты мощности (за исключением небольшого участка в начале процесса опускания, что

объясняется невысокими скоростями движения рабочей жидкости, так как идет переход двигателя с холостых на рабочие обороты), идущие на привод насосов гидросистемы.

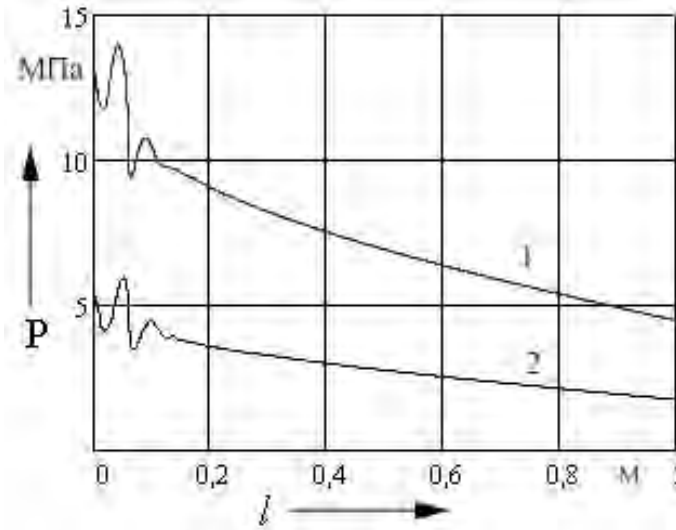


Рис. 3. Давление в поршневых полостях гидроцилиндров стрелы при опускании рабочего оборудования: 1 – с материалом в ковше номинальной вместимости; 2 – с порожним ковшом

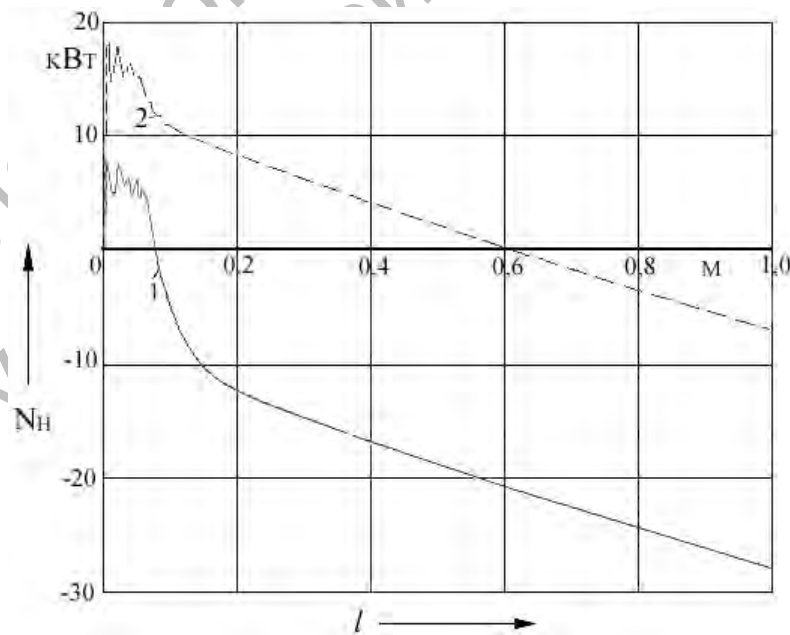


Рис. 4. Мощность, затрачиваемая на привод насосов: 1 – базовый погрузчик МоА3-4048 без системы энергосбережения; 2 – базовый погрузчик МоА3-4048 с системой энергосбережения

Это является результатом того, что рабочая жидкость из поршневых полостей гидроцилиндров стрелы идет на слив в гидробак, преодолевая сопротивления, при этом для ограничения скорости опускания рабочего оборудования жидкость, идущую в гидробак, при необходимости дросселируют золотником распределителя или установленным дросселем, создавая тем самым дополнительное сопротивление, на преодоление которого затрачивается некоторая часть потребляемой насосами мощности. Оставшаяся часть потребляемой насосами мощности идет на преодоление сопротивлений на участке гидросистемы «гидробак – насосы – распределитель – штоковые полости гидроцилиндров стрелы». Величина затрачиваемой мощности на привод насосов гидросистемы для погрузчика, не оборудованного системой энергосбережения, изменяется от +8 до -27 кВт (знак «+» означает, что насосы вырабатывают мощность, «-» – потребляют мощность).

Для погрузчика с базовой гидросистемой и оборудованного системой энергосбережения период работы насосов гидросистемы в режиме выработки мощности составляет около 60 % всей продолжительности работы гидросистемы в режиме опускания. При этом мощность, подводимая двигателю, изменяется от +18 кВт в начале до -7 кВт в конце режима опускания, с переходом от ее выработки к потреблению при величине хода штока 0,6...0,65 м. Наличие периода, когда происходит потребление мощности насосами гидросистемы, объясняется значительными сопротивлениями, возникающими в базовой гидросистеме погрузчика.

На рис. 5 представлены графики, отражающие величину мгновенного часового расхода топлива на привод насосов в процессе опускания рабочего оборудования в зависимости от хода штока гидроцилиндров стрелы l .

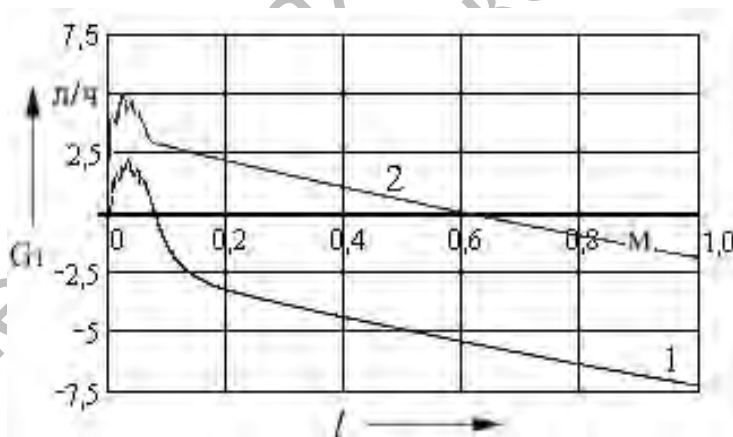


Рис. 5. Мгновенное значение часового расхода топлива на привод насосов в процессе опускания рабочего оборудования: 1 – базовый погрузчик МоА3-4048 без системы энергосбережения; 2 – базовый погрузчик МоА3-4048 с системой энергосбережения

Снижение затрат мощности на привод насосов (см. рис. 1) в процессе функционирования системы энергосбережения позволяет снизить расход топлива за этот период. Части графиков, расположенные в отрицательной области системы координат, отражают потребление мощности на-

сосами, что ведет к расходу топлива. Части же графиков, расположенные в положительной области системы координат, отражают работу насосов в режиме гидромоторов, вырабатывающих мощность, что ведет к дополнительной экономии топлива.

Результат расчета количества топлива, затрачиваемого двигателем на привод насосов за время опускания рабочего оборудования, представлен на диаграмме рис. 6. Цифры означают тип исполнения

погрузчика: 1 – базовый погрузчик МоАЗ–4048 без системы энергосбережения; 2 – базовый погрузчик МоАЗ–4048 с системой энергосбережения.

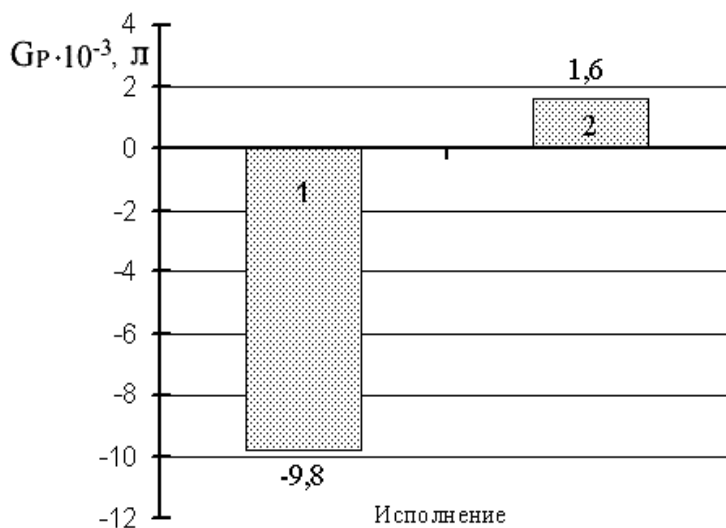


Рис. 6. Цикловые затраты топлива на привод насосов за период работы энергосберегающей системы: 1 – базовый погрузчик МоАЗ–4048 без системы энергосбережения; 2 – базовый погрузчик МоАЗ–4048 с системой энергосбережения

При работе базового погрузчика, не оборудованного системой энергосбережения, затраты топлива на привод насосов за период опускания рабочего оборудования могут составить 0,0098 л (знак минус на рис. 5 означает, что топливо затрачивается). В случае эксплуатации базового погрузчика с системой энергосбережения не только исключаются затраты мощности и топлива на привод насосов в данный период цикла, но и вырабатывается дополнительная мощность, которая позволяет на 0,0016 л за технологический цикл работы погрузчика снизить расход топлива. В результате величина снижения расхода топлива в случае применения системы энергосбережения за период ее работы может составить 0,0114 л.

Если задаться продолжительностью рабочего цикла погрузчика, к примеру 45 с, то за 1 ч эксплуатации снижение затрат топлива при использовании погрузчика, оборудованного системой энергосбере-

жения, может составить около 0,9 л. Это составляет 3,2 % максимального часового расхода топлива базового погрузчика МоАЗ–4048 (28,5 л/ч согласно данным завода-изготовителя).

Тогда снижение расхода топлива за 8-часовую смену составит около 7,3 л, что в годовых масштабах, при годовой наработке машины 3000 ч, может дать экономию топлива в пределах 2700 л. При нынешних ценах на топливо (1690 белорус. р. или 0,78 у. е.) это составляет 2100 у. е./г.

Полученные результаты показывают, что использование системы энергосбережения позволяет повысить топливную экономичность машины, а следовательно, снизить издержки на ее эксплуатацию.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы: использование системы энергосбережения, в погрузчике с базовой гидросистемой,

дает возможность снизить часовой расход топлива на 3,1...3,3 % от нормативного его значения, равного 28,5 л/ч (согласно данным завода-изготовителя), что в годовых масштабах может составить 2700 л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чебанов, Л. С.** Эффективность применения погрузчиков в строительстве / Л. С. Чебанов. – Киев : Будивельник, 1987. – 80 с. : ил.
2. **Базанов, А. Ф.** Самоходные погрузчики / А. Ф. Базанов, Г. В. Забегалов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Машиностроение, 1979. – 406 с. : ил.
3. **Казаринов, В. М.** Одноковшовые погрузчики в строительстве / В. М. Казаринов, Л. Г. Фохт. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Стройиздат, 1975. –

273 с. : ил.

4. **Якушев, А. Е.** Исследование энергосберегающих систем / А. Е. Якушев // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 12. – С. 35–38.

5. **Щемелев, А. М.** Проектирование гидропривода машин для земляных работ / А. М. Щемелев. – Могилев : ММИ, 1995.

6. **Пат. 9305 РБ, МПК Е 02 F 9/22.** Энергосберегающая гидравлическая система погрузчика / А. М. Щемелев, А. Д. Бужинский ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20041230 ; заявл. 24.12.04 ; опубл. 30.06.07, Бюл. № 3 (56). – 4 с. : ил.

7. **Тарасик, В. П.** Математическое моделирование технических систем : учебник для вузов / В. П. Тарасик. – Минск : ДизайнПРО, 1997. – 640 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 24.03.2008

A. D. Buzhinski **Effectiveness of the application** **of a loader energy saving system**

The paper gives the estimation of the efficiency of the application of a loader energy saving system by the example of MoA3-4048. Considered are two various executions of a loader hydrosystem and the analysis of the influence of each of the executions on the parameters of a loader quality is made. As a result, conclusions are made concerning the increase in the fuel profitability of the loader with the energy saving system in comparison with its base execution.