

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТОРФОБРИКЕТНОГО ПРЕССА

Инж. МОРОЗЬКО О. А., канд. техн. наук, доц. ПЕТРЕНКО Ю. Н.

*Белорусский национальный технический университет*

Мировой опыт использования торфа, его широкая распространенность в Беларуси доказывают необходимость повышения эффективности и объемов применения этого природного сырья в энергетике и сельском хозяйстве. Использование торфа в республике осуществляется по пяти основным направлениям: топливно-энергетическое, сельскохозяйственное, химико-технологическое, медицинское, природоохранное [1].

В Республике Беларусь имеется возможность увеличения объемов добычи торфа в 2,0–2,5 раза для топливно-энергетических целей и сельского хозяйства, что важно для увеличения доли торфа в производстве тепловой и электрической энергии за счет местных природных ресурсов.

Основной задачей торфяной промышленности является обеспечение потребности населения и коммунально-бытовых потребителей, топливно-энергетического комплекса республики в торфяном топливе и продукции на основе торфа – топливных брикетах, кусковом торфе, торфе топливном и т. д.

Основная продукция торфопредприятий – торфяные топливные брикеты. В 2006 г. произведено 1240 тыс. т брикетов, из которых топливоснабжающим организациям областей реализовано 808,1 тыс. т, или 78,5 % от общего объема реализации данного топлива в республике [1]. Эта работа сфокусирована на производстве торфяных брикетов для нужд энергетики, а именно на составной части завода по производству данного вида продукции – торфобрикетном прессе.

Согласно представленной выше информации целесообразно рассмотреть имеющегося в эксплуатации торфобрикетного пресса МС1600-35Т с целью его усовершенствования. Для анализа работы существует необходимость разработки полнофункциональной трехмерной модели привода данного типа пресса, что позволит минимизировать затраты при его модернизации.

На рынке программного обеспечения существует множество продуктов, позволяющих спроектировать трехмерные модели различных механизмов. Однако применительно к приводу торфобрикетного пресса, состоящего из таких основных типов кинематических передач, как клиноременная и косозубая, а также кривошипно-шатунный механизм (рис. 1), ввиду некоторых факторов, рассмотренных ниже, наиболее целесообразно использовать SolidWorks 2009 [2].

На основании имеющейся конструкторской документации был построен трехмерный сборочный чертеж привода двухштемпельного торфобрикетного пресса. При помощи задания различного рода сопряжений между деталями сборочный чертеж был преобразован в динамически подвижную модель. Имитация вращения вала электродвигателя с заданной частотой осуществляется при помощи команды «вращающийся двигатель» приложения SolidWorks

Simulation. На следующем этапе проектирования были добавлены материалы каждого компонента сборки. Массы и координаты центров масс вычислены автоматически [3].

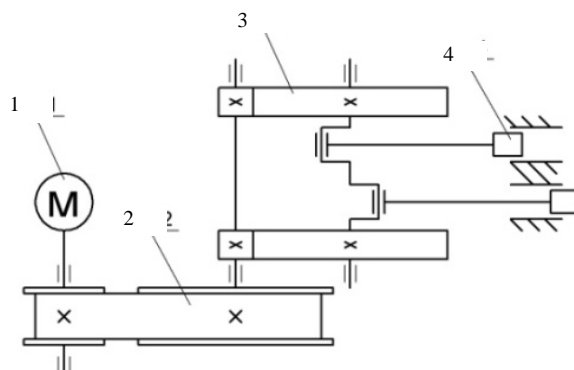


Рис. 1. Кинематическая схема привода торфобрикетного пресса: 1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – косозубая передача; 4 – кривошипно-шатунный механизм

Таким образом, была получена трехмерная взаимосвязанная динамическая модель привода двухштемпельного пресса MC1600-35T (рис. 2).

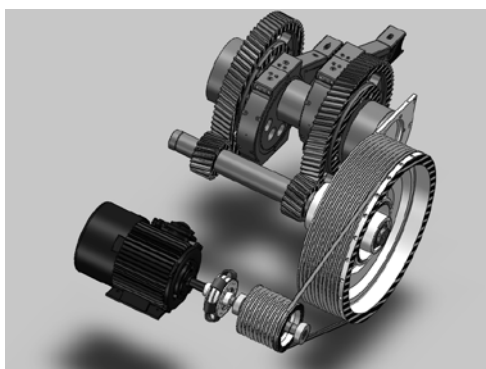


Рис. 2. Модель привода торфобрикетного пресса MC1600-35T в SolidWorks 2009

С целью оптимизации времени для расчета, улучшения наглядности и ограничения необходимых вычислительных ресурсов компьютера данная модель представлена в несколько упрощенном виде. В частности, отсутствуют такие детали, как основание, корпус, крышки, болты, тормозные колодки и некоторые другие. Однако отсутствующие детали либо заменены соответствующими сопряжениями, что никак не повлияет на расчеты, либо их отсутствие может повлиять на расчеты незначительно.

Построенная модель Solid Works 2009 пригодна для анализа прочности, а также иных анализов механической природы (приложение COSMOS-Xpress, COSMOSWorks и пр.). Однако она не отображает процессы преобразования электрической энергии сети во вращательную энергию привода (возвратно-поступательное движение штемпеля), а также процессы управления этим движением. Поэтому для осуществления имитационного моделирования именно электрических и электронных составляющих механизмов широко

применяется среда MATLAB r2009a. Данный программный продукт хорошо применим и для привода пресса MC1600-35T.

Проблема связи модели привода торфобрикетного пресса, разработанной при помощи SolidWorks 2009, и модели, разработанной в среде MATLAB r2009a, решается при помощи добавления в SolidWorks 2009 приложения SimMechanics Link (\*.xml) [4]. Последнее преобразует трехмерную модель SolidWorks (\*.sldasm) в формат, совместимый с приложением SimMechanics среды MATLAB (\*.xml).

Таким образом, добавляя к имеющейся имитационной модели механической части привода имитационные модели электродвигателя, преобразователя частоты и системы управления преобразователем, состоящие из набора стандартных блоков библиотек Simulink среды MATLAB, можно получить полноценную трехмерную модель привода двухштемпельного торфобрикетного пресса MC1600-35T. Данная модель представлена на рис. 3.

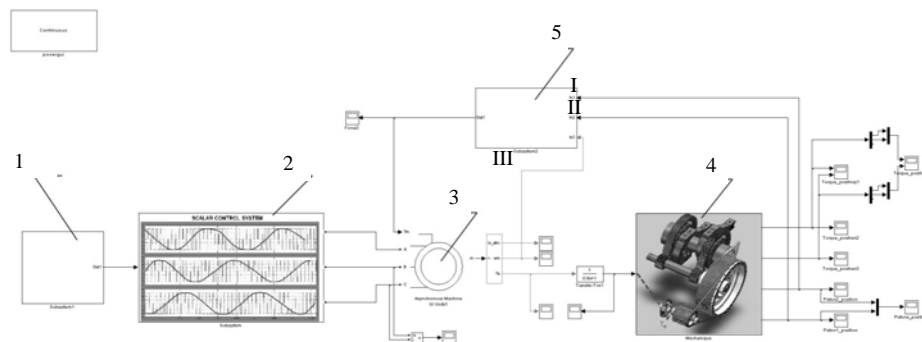


Рис. 3. Полная модель привода торфобрикетного пресса: 1 – блок задания сигнала скорости вращения; 2 – АИН со скалярным управлением; 3 – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; 4 – механическая подсистема; 5 – подсистема задания статического момента АД

Блок 5 «Подсистема задания статического момента АД» на основании входных сигналов о положении штемпеля (поршня, piston) автоматически вычисляет статический момент, прикладываемый к электродвигателю, что соответствует реальности. Третий входной сигнал при необходимости имитирует подачу торфа в прессовую камеру лишь после разгона привода до номинальной (заданной) скорости вхолостую. К данной модели прикреплен визуальный образ, представленный на рис. 4.

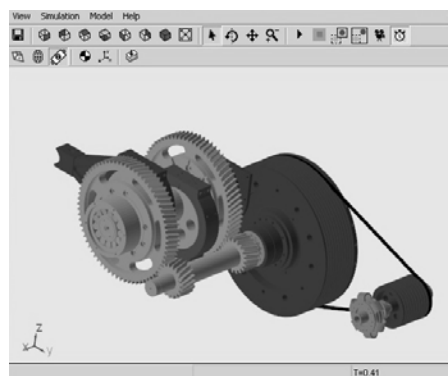


Рис. 4. Визуализация торфобрикетного пресса в MATLAB

Теперь на основании созданной модели можно получить любые интересующие нас графики. Так, в результате имитационного моделирования при условиях производства брикета из торфа зольностью не более 23 % и влажностью не более 20 % (марка БТ-7 ТУ РБ 02999284,311–2000 [5]) был получен график изменения электромагнитного момента двигателя (рис. 5).

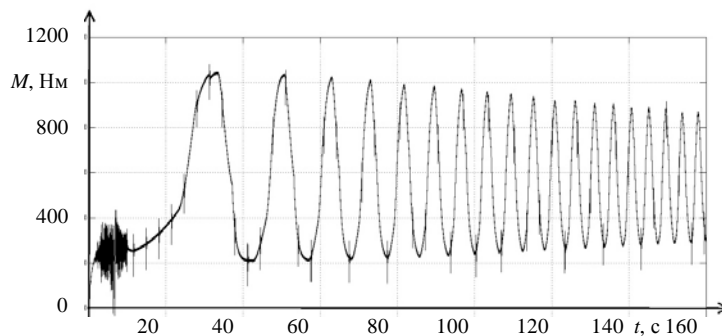


Рис. 5. График изменения электромагнитного момента двигателя

В результате проделанной работы построена полноценная имитационная модель привода двухштемпельного торфобрикетного пресса МС1600-35Т. Применение данной модели целесообразно для проведения различного рода модернизаций привода пресса, а также для анализа их эффективности.

Основными преимуществами использования разработанной модели являются:

- комплектность. Модель позволяет анализировать результаты расчета механических и электрических параметров (величин) одновременно, а не по отдельности;
- взаимосвязанность. При изменении какого-либо параметра (величины) изменения отражаются на всей модели;
- наглядность. Все основные части привода объединены в подсистемы с применением визуальных образов, что позволяет даже неопытному специалисту легко ориентироваться и находить интересующие имитационные блоки.

К возможным недостаткам построенной модели можно отнести лишь достаточно высокие требования к вычислительным ресурсам компьютера, однако этот недостаток становится все менее актуальным ввиду интенсивного развития вычислительной техники.

Теперь с помощью имеющейся модели в качестве конкретного примера проведем сравнительный анализ целесообразности применения различных вариантов АИН (рис. 3, блок 2). Применяемая на данный момент силовая цепь электропривода торфобрикетного пресса схематично изображена на рис. 6.

Инвертор состоит из шести биполярных транзисторов Т1–Т6. Сопротивление R1 ограничивает пусковой ток и перезаряд конденсатора С1 звена постоянного тока. Катушка реле L1 находится без питания, пока конденсатор полностью не зарядится. При обрыве фазы катушка реле автоматически выключается.

Для генерирования сигналов ШИМ и соединения импульсов управления непосредственно с силовыми транзисторами используется высоко-

интегрированная схема, представленная на рис. 7. В данном случае управление и интерфейс осуществляются соответственно четырьмя и шестью стандартными цепями КМОП логики (CMOS).

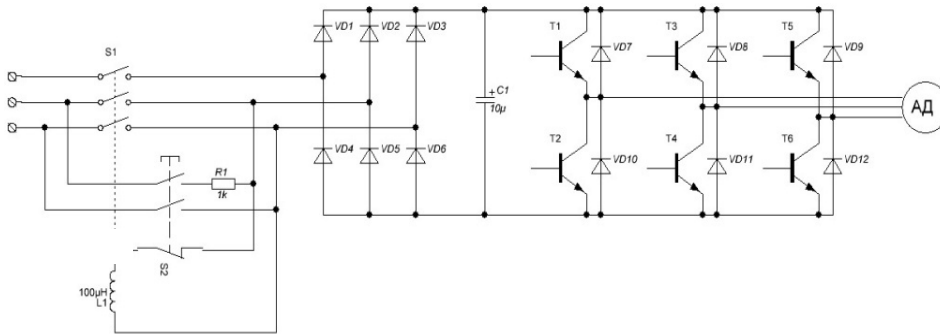


Рис. 6. Схема силовой цепи привода

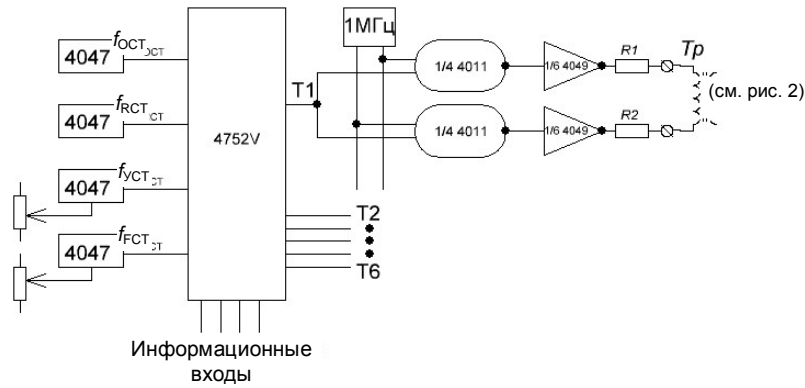


Рис. 7. ШИМ генератор и его интерфейс с силовым транзистором

Обозначим буквой  $A^*$  отношение амплитуды синусоидального к амплитуде несущего пилообразного сигналов. Пример сгенерированных импульсов на основе пилообразного несущего напряжения при частоте модуляции  $m_f = 15$  (отношение частоты «пилы» к частоте синусоиды) и  $A^* = 1$  показан на рис. 8а. Данная частота модуляции выбрана с точки зрения наглядности. Для обеспечения симметричности фаз частота модуляции должна быть нечетной. К тому же для обеспечения трехфазной симметрии она должна делиться на три, т. е.  $m_f = 6p + 3$ , где  $p$  – целое число [11].

Одной из альтернатив для ШИМ с пилообразным несущим напряжением является симметричная ШИМ, полученная по уравнениям [12]:

$$\tau_i = \frac{T}{2(2r+1)} \sin \frac{i\pi}{2r+1};$$

$$\alpha_i = 0,5 \left( \frac{iT}{2r+1} - \tau_i \right), \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – угол начала  $i$ -го импульса;  $T$  – период ШИМ;  $r$  – число импульсов за период;  $i$  – номер импульса.

В качестве примера приведем график изменения питающего напряжения для частоты модуляции  $m_f = 16$  (рис. 8б), рассчитанный в среде MATLAB.

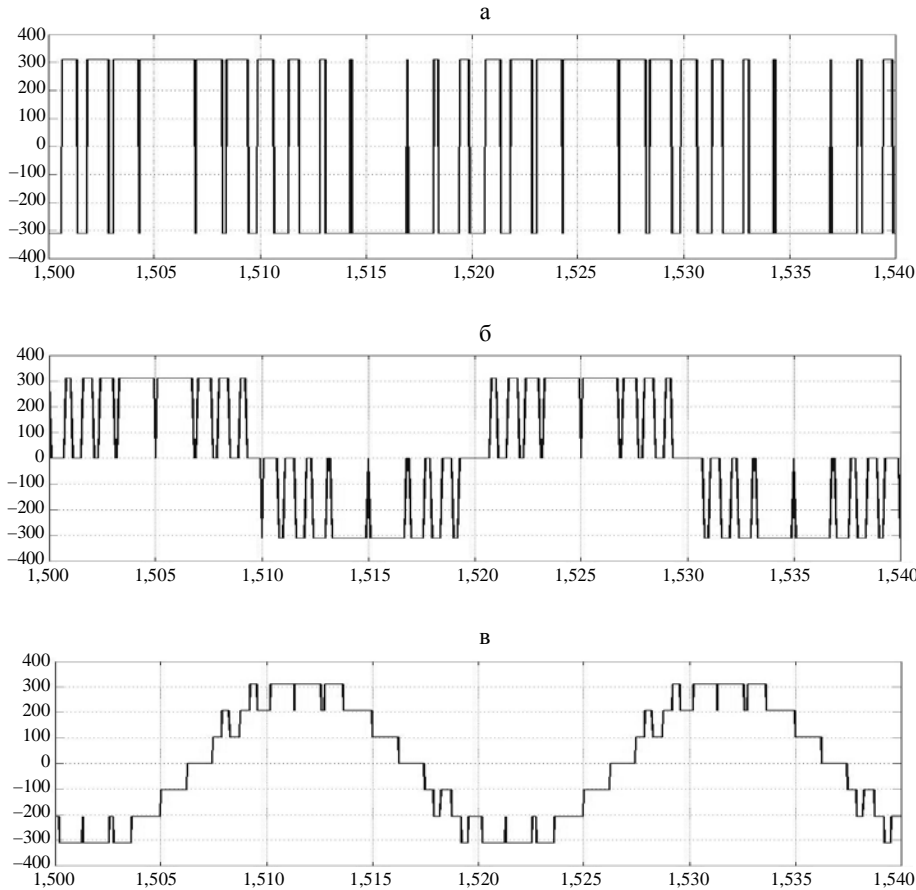


Рис. 8. ШИМ: а – при пилообразном несущем напряжении; б – построенная по (1); в – четырехуровневая

Мощность электродвигателя в приводе пресса составляет 160 кВт. В настоящее время все больше внимания уделяется применению многоуровневых инверторов напряжения в приводах мощностью от 200 кВт и выше. Но нижняя граница диапазона применимости достаточно условна. Поэтому существует необходимость рассмотрения целесообразности применения многоуровневых инверторов напряжения для привода торфобрикетного пресса. На рис. 9 приведена четырехуровневая функциональная схема силовой части частотного электропривода (ЧЭП), выполненная на транзисторах IGBT. В данном случае схема содержит две общие точки  $O_1$  и  $O_2$ , при этом амплитуда линейного напряжения инвертора, которое может быть достигнуто,  $U_{л.м} = 3U_0$ .

С целью обеспечения достаточной наглядности и сравнимости результатов моделирования работы пресса будем использовать трехуровневую ШИМ с

частотой модуляции  $m_f = 15$ , в данном случае в качестве несущего напряжения для каждого уровня – генератор пилообразного напряжения.

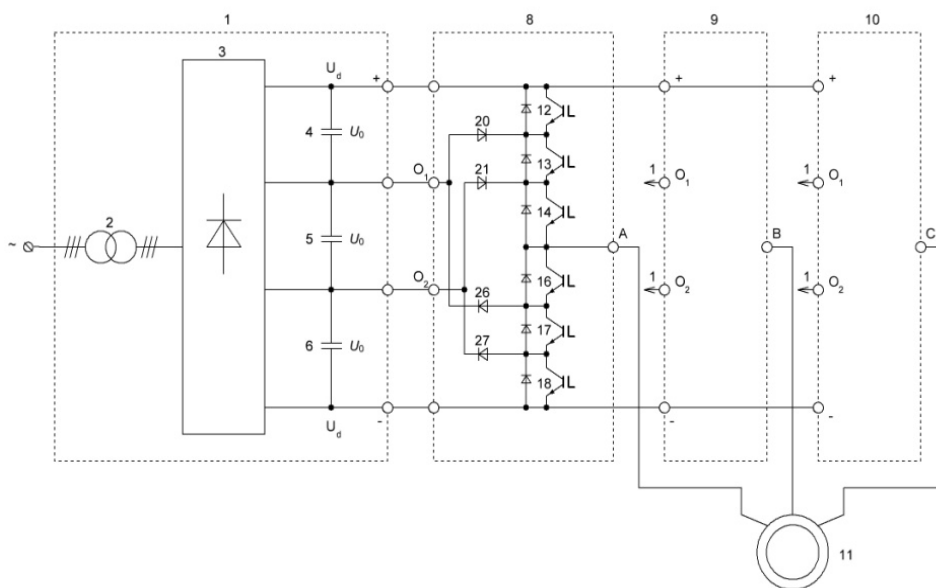


Рис. 9. ЧЭП на базе четырехуровневого АИН: 1 – звено постоянного тока; 2 – трансформатор; 3 – выпрямительные мосты; 4–6 – конденсаторы; 8–10 – вентильные секции; 11 – электродвигатель; 12–18 – транзисторы IGBT с защитными диодами (6 шт. в секции, 18 шт. в преобразователе); 20, 21, 26, 27 – блокирующие диоды

Все прочие условия работы (время моделирования, время нарастания напряжения, условия нагрузки и т. д.) оставим аналогичными, как и для первых двух случаев.

Таким образом, промоделировав, получим график изменения питающего напряжения фазы двигателя, представленный на рис. 8в.

## ВЫВОДЫ

1. Разработанная модель адекватно отражает электромеханические и электромагнитные процессы автоматизированного электропривода торфобрикетного пресса.

2. Использование разработанной модели позволит уменьшить финансовые и временные затраты на этапе разработки, проектирования и эксплуатации привода двухштемпельного торфобрикетного пресса.

3. С точки зрения качества выходного сигнала преобразователя и как следствие КПД целесообразно использовать трехуровневую ШИМ. Однако данный способ модуляции значительно усложняет структуру преобразователя. Поэтому вопрос практической применимости преобразователей частоты с трехуровневыми ШИМ в приводе торфобрикетных прессов остается открытым и требует дальнейшего рассмотрения с других точек зрения (надежности, экономической и пр.).

## ЛИТЕРАТУРА

1. О б у т в е р ж д е н и и Государственной программы «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г.: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 23.01.2008 № 94. Mode of access: <http://www.pravoby.info/docum09/part07/akt07144/index.htm> – Date of access: 01.02.2011.
2. L o m b a r d, M a t t. SolidWorks Bible / Matt Lombard: Wiley Publishing, Inc. – 2009. – 1177 p.
3. Л а з а р е в, Ю. Ф. Начала программирования в среде MATLAB: учеб. пособие / Ю. Ф. Лазарев. – Киев: НТУУ «КПИ», 2003. – 424 с. – Режим доступа: [http://www.math-works.com/products/simmechanics/download\\_smlink\\_confirmation.html](http://www.math-works.com/products/simmechanics/download_smlink_confirmation.html) – 01.02.2011.
4. А р т и ш е в с к и й, В. А. Рациональный асинхронный электропривод торфобрикетных прессов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / БПИ. – Минск, 1965.
5. О п е й к о, Ф. А. Степень переработки торфа в перерабатывающих и формующих машинах / Ф. А. Опейко // Труды АН БССР. Институт торфа. – Минск: Изд-во АН БССР, 1953. – Вып. 2.
6. Б у л ы н к о, М. Г. Брикетирование торфа / М. Г. Булышко, В. Н. Иванов, М. И. Сарматов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 304 с.
7. О п е й к о, Ф. А. Определение затрат энергии во время механической переработки торфа-сырца / Ф. А. Опейко // Механизация и электрификация торфяной промышленности: материалы науч.-техн. совещания, Минск, Белорусское отделение Всесоюзного научно-технического общества энергетиков, Министерство местной промышленности, Институт торфа, АН БССР, Республиканский дом техники ММ и ТП БССР. – Минск: Изд-во АН БССР, 1955.
8. A n d r i e s s e, J. P. Nature and management of tropical peat soils / J. P. Andriess // Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). – Rome: Food & Agriculture Org., 1988 – 165 p.
9. М а р о з к а, А. А. Peat briquetting press simulation / Aleh Marozka, Yury Petrenko // Junior researchers' conference: materials of the Conf., Novopolotsk, April 27–28, 2011 / Polotsk State University. – Novopolotsk, 2011. – P. 44–47.
10. М о р о з ь к о, О. А. Имитационное моделирование электропривода торфобрикетного пресса / О. А. Морозько, Ю. Н. Петренко // Автоматизация технологических процессов: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Минск: Бизнесофсет, 2011. – С. 105–106.
11. U n d e l a n d, T o r e M. Overmodulation and Loss Considerations in High-Frequency Modulated Transistorized Induction Motor Drives / Tore M. Undeland, Ned Mohan // IEEE Transactions on power electronics. – 1988. – Vol. 3, No. 4, October. – P. 447–452.
12. С т р и ж н е в, А. Г. Спектральный анализ напряжений, питающих электродвигатель переменного тока / А. Г. Стрижнев, Ю. Н. Петренко, Г. В. Ледник // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2010. – № 2. – С. 25–30.

Представлена кафедрой электропривода  
и автоматизации промышленных установок  
и технологических комплексов

Поступила 10.10.2011