

вателей. К таким моделям управления эффективностью относятся:

- система сбалансированных показателей (Balanced Scorecard);
- модель европейского фонда управления качеством (European Foundation for Quality Management);
- призма эффективности (The Performance Prism);
- панель управления (Tableau de Bord).

Эти системы представляют собой систему стратегического управления организацией на основе измерения и оценки ее эффективности с использованием набора показателей, подобранных с учетом всех существенных аспектов ее деятельности. При этом миссия и общая стратегия предприятия также преобразо-

вывается в систему взаимосвязанных показателей [7].

## 7. Заключение

Во многих случаях эффективность управления может быть выражена и оценена не только с использованием показателей, характеризующих конечные экономические и финансовые результаты работы всего предприятия. Важными факторами, влияющими на эффективность управления, могут являться параметры, определяющие скорость принятия решения и осуществления конкретных шагов, а также отдача от осуществления решения.

## Литература

1. Голубев, М. П. Методология создания эффективных вертикально интегрированных холдингов [Текст] / М. П. Голубев. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 322 с.
2. Гуннар, З. Бенчмаркинг (руководство для практиков): пер. с англ. – М.: КИА центр, 2006. – 128 с.
3. Хан, Д. ПиК. Стоимостно-ориентированные концепции контроллинга [Текст] / Дитгер Хан, Хунгенберг Харальд; пер. с нем. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 928 с.
4. Как разработать систему ключевых показателей деятельности // Финансовый директор. – 2006. – № 10. – с. 14–21.
5. Дамодаран, А. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов [Текст] / А. Дамодаран. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. – 1344 с.
6. Оценка будущего компании / Вестник McKinsey. – 2005. – Режим доступа: \www/ URL: [http://www.mckinsey.com/russian/quarterly/articles/Electricity/07\\_0308.aspx?tid=22](http://www.mckinsey.com/russian/quarterly/articles/Electricity/07_0308.aspx?tid=22) – 01.07.2011 г. – Загл. с экрана.
7. Horvath & Partners, Внедрение сбалансированной системы показателей: пер. с нем. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 478 с.

*Надана стисла характеристика існуючим типам моделей об'єктів управління. Розглянуто причини що стримують розробку та дослідження систем автоматичного управління на основі цих моделей. Запропоновано якісно-кількісна модель об'єкта управління, використовуючи яку можна розробляти технології оптимізації*

*Ключові слова: об'єкт управління, модель об'єкта управління, система управління*

*Дана краткая характеристика основным типам моделей объектов управления. Рассмотрены причины, сдерживающие разработку и исследование систем управления на основе этих моделей. Предложена качественно-количественная модель объекта управления, используя которую можно разрабатывать технологии оптимизации*

*Ключевые слова: объект управления, модель объекта управления, система управления*

*The short characteristic is given for the basic existing types of management object models. All the reasons constraining research and development of automatic management systems on these models basis are considered. There is offered qualitatively-quantitative management object model, which use gives an opportunity to develop technologies for managerial processes automation*

*Key words: management object, management object model, management system*

УДК 621.001.57:65.012.4

# КАЧЕСТВЕННО – КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ТИПА СР ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**И.А. Луценко**

Доктор технических наук, доцент  
г. Кривой Рог, Украина, 50072  
Контактный тел.: (0564) 28-10-97,  
E-mail: [lutsenko.igor11@mail.ru](mailto:lutsenko.igor11@mail.ru)

## 1. Введение

При разработке и исследовании систем автоматического управления всегда возникает острая потребность в доступе к технологическому механизму, привязка к которому может дать возможность проверить ту или иную идею или теорию, связанную с концепциями управления, испытать, исследовать доработать или модернизировать действующую систему управления. Трудностей здесь возникает множество.

С одной стороны, эксперименты с управлением производственными системами зачастую являются крайне дорогостоящими. Кроме того, эксперименты с такой системой вообще должны быть позволительны в принципе.

С другой стороны, далеко не всякая производственная технология может служить полигоном для исследователей систем управления. Доступная управляемая система должна иметь необходимое количество степеней свободы и возможность их использования в автоматическом режиме, иметь все необходимые датчики, совместимые с приемными устройствами системы управления и т.д.

Отдельный вопрос – износ механизмов оборудования. Для его учета требуются специальные исследования, поскольку выдача такой информации эксплуатируемыми механизмами оборудования на сегодня не является стандартом для производителя и, соответственно, такая информация объектом управления не вырабатывается.

Выходом из сложившейся ситуации может служить разработка программных механизмов, виртуальное функционирование которых позволяет с достаточной концептуальной адекватностью моделировать тот или иной технологический процесс, поскольку речь идет о разработке объекта управления (ОУ) для исследования систем управления (СУ). В этом смысле нет принципиальной необходимости стремиться к тому, чтобы виртуальный ОУ был адекватен с высокой степенью точности физическому ОУ по всем признакам. Такая модель должна быть адекватна, по тем признакам реального объекта, которые принципиально важны именно для соответствующего функционирования в рамках управляемой системы.

То есть, для решения класса задач связанных с разработкой и исследованием СУ необходимы специальные стандарты, которые должны выдерживаться моделями, претендующими на роль ОУ.

Учитывая современное развитие информационных технологий, решить такую задачу не особенно сложно. Тем не менее, в современной литературе отсутствуют публикации, в которых описываются модели объектов управления, которые могут служить инструментом для отработки техники создания и исследования оптимальных СУ. И это не удивительно, поскольку архитектуры известных моделей объектов управления имеют структуры, направленные на решение частных задач. Почему так произошло?

Исторически сложилось так, что технические специалисты, приступая к решению задач автоматизации процессов управления, столкнулись с проблемой стабилизации параметров объекта управления в процессе решения задачи регулирования. Для решения этой задачи была создана параметрическая модель ОУ

(рис.1). В этих моделях СУ «...на основании данных о возмущении  $f(t)$  «рассчитывает» управление  $u(t)$ , с помощью которого воздействует на объект с целью поставить процесс  $z(t)$  в соответствие сигналу  $x(t)$  в рамках некоторого формального описания этого соответствия» [1, с.5].

Если в качестве ОУ рассматривается, например, электропривод, то возмущение  $f(t)$  - это изменяющаяся нагрузка, а  $z(t)$  - это скорость, которой и управляют с помощью сигнала  $u(t)$ .

Можно много дискутировать об ограничениях данной модели. Здесь мы ограничимся самыми общими рассуждениями относительно ее авторского названия (параметрическая модель) и причинами невозможности ее использовать в задачах управления.

В данной работе подобный класс моделей определен как класс параметрических моделей, поскольку на ее выходе определяется некоторый технологический параметр: скорость, давление, температура, степень измельчения и т.д.

Подобные модели без существенных доработок невозможно использовать в задачах управления, поскольку любое управление организуется с некоторой целью. А, например, для транспортной системы выбор требуемой скорости привода не является целью. Целью является эффективное перемещение груза. Поэтому целевой продукт (понятие – «целевой продукт» рассмотрено далее) - груз должен учитываться не как возмущение, изменение которого должно компенсироваться управлением так, чтобы параметр – скорость не изменился, а скорость должна устанавливаться в зависимости от веса груза, расхода энергетического продукта, износа механизма перемещения и т.д.

Износ оборудования вопрос отдельный. Как показали исследования электроэнергетических характеристик оборудования горнорудных предприятий, удельный расход электроэнергии на единицу выходного продукта с ростом производительности снижается [2]. Это означает, что без учета износа оборудования управляемая система будет стремиться к максимальной производительности [3].

Многие специалисты – практики отмечают, что «...в производственных системах не следует стремиться к производительности более высокой, чем требуемая. Это приведет к снижению экономической эффективности» [4, с.16].

Износ оборудования параметрические модели не учитывают.

С другой стороны экономистами была создана количественная модель объекта управления (термин автора) (рис.2), которая, соответственно, опирается на количественные показатели, снимаемые с входа и выхода. Основной класс задач решаемых с использованием этой модели, является задача управления запасами [5,

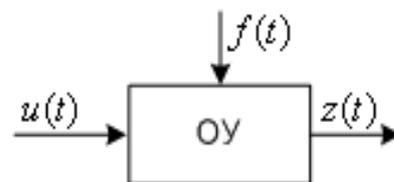


Рис. 1. Параметрическая модель объекта управления по источнику [1, с.5]: ОУ – объект управления;  $u(t)$ - управление;  $f(t)$ - возмущение;  $z(t)$ - управляемый процесс

с.89]. Подобные модели при выборе управления учитывают затраты, необходимые для достижения цели, в состав которых зачастую включается износ оборудования, что является необходимым условием для решения задач оптимального управления [6].

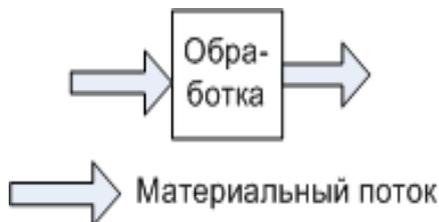


Рис. 2. Количественная модель экономической системы

Класс экономических моделей зачастую учитывает затраты инициализации операции, например, в виде затрат на оформление заказа [6]. Аналогичные потери сопровождают и ОУ типа CR, которые определяют как затраты запуска (пуска) ОУ.

Существует еще один вид потерь, который не учитывается в известных моделях. Это потери обслуживания объекта управления. Например, после остановки экструзионного оборудования по выпуску погонажных пластмассовых изделий, головку экструдера необходимо разбирать для его очистки от застывшей пластмассы. Эту работу выполняет персонал, который можно классифицировать как обслуживающую систему.

Следовательно, для решения задач оптимального управления должна существовать возможность учета, как необходимых количественных показателей, так и контроля необходимых внутренних параметров ОУ. В этой связи для создания системно-обоснованной модели объекта управления предлагается использовать подход, сочетающий достоинства параметрической и количественной моделей. Модель данного класса определим как количественно-параметрическую модель объекта управления.

В данной работе рассматривается модель ОУ прототипа, относящегося к классу объектов, которые в процессе функционирования изменяют отношения между объектами окружающей среды. Такие ОУ определим как объекты типа CR (changing relationships). К таким ОУ относятся механизмы преобразования, перемещения, сортировки, классификации и т.д.

## 2. Целью работы

Разработка объектно-ориентированной, количественно-параметрической модели ОУ типа CR, обеспечивающей адекватное типовое «поведение», по отношению к физическому прототипу, в процессе управления.

## 3. Количественно – параметрическая модель объекта управления

Для того чтобы виртуальный объект обеспечивал отклик адекватный реальному ОУ, должны выполняться следующие основные условия: 1). модель ОУ должна быть количественно-параметрической; 2). в таких моделях должен учитываться износ его оборудования; 3). расход энергетических продуктов должен

естественным образом зависеть от производительности виртуального ОУ; 4) ОУ должен отображать потери связанные с запуском, а также потери связанных с ним обслуживающих систем.

На рисунке изображена обобщенная количественно-параметрическая модель ОУ типа CR.

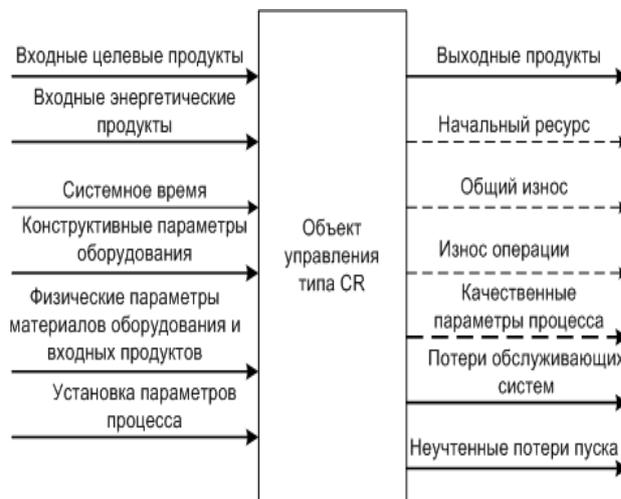


Рис.3. Количественно-качественная модель объекта управления типа CR

На модели, слева от ОУ, определены его входы. Кратко охарактеризуем их. На первый и второй входы ОУ поступают входные продукты двух классов. Это класс энергетических продуктов, который обеспечивает функционирование механизмов ОУ и класс продуктов, подвергающийся управляемым воздействиям со стороны механизмов ОУ и обслуживающих его систем. Поскольку управляемые воздействия, направленные на второй класс продуктов, обеспечивают реализацию способа достижения цели управления, определим продукты второго класса как целевые продукты. Если энергетические, по своей сути, продукты поступают на вход ОУ но они не обеспечивают функционирование механизмов, а подвергаются управляемым воздействиям со стороны механизмов ОУ и обслуживающих его систем, то такие энергетические продукты являются целевыми.

Объект управления функционирует во времени и его отклик на те или иные события окружающих систем и механизмов должны быть согласованными. С этой целью на третий вход ОУ подается информация о системном времени.

Процесс разработки и исследования СУ требует согласования параметров самых разнообразных объектов управления. Требуемую гибкость в этом вопросе обеспечивает возможность выбора некоторых конструктивных параметров оборудования (входы 4), физических параметров материалов оборудования целевых продуктов (входы 5).

Существуют некоторые моменты, которые либо не могут быть учтены в физической модели, либо их учет неоправданно усложняет ее построение. Так, например, очень сложно увязать физику процесса и потери связанные с обслуживанием ОУ, перед началом запуска технологического процесса. Поэтому суще-

ствуется возможность непосредственного определения уровня таких потерь в виде специальных параметров процесса (выходы 6).

Справа от ОУ, определены его входы. Кратко охарактеризуем и их.

Выходы, которые определены как выходные продукты, в комментариях не нуждаются (выходы 1).

Следующие три выхода (выходы 2-4), так или иначе, связаны с техническим ресурсом ОУ и его износом.

Очевидно, что износ оборудования непосредственно зависит от режима его эксплуатации.

Только имея непосредственный доступ к информации о фактическом износе оборудования в том или ином режиме его эксплуатации, можно осознанно выбирать оптимальный режим его функционирования [7]. Без дополнительных серьезных исследований получить такую информацию можно только в том случае, если информация о степени износа той иной части оборудования будет доступна также легко, как и показания на спидометре автомобиля. А такая возможность, в свою очередь, будет доступна тогда, когда в этом вопросе будут установлены специальные стандарты для его производителей.

Представленная модель ОУ в этом плане предоставляет возможности, которые должны быть стандартом для любого, промышленно выпускаемого оборудования. Введение такого стандарта позволяет решать огромное количество проблем даже в ручном режиме управления. Например, можно выбирать более эффективный режим работы перфоратора или автомобиля. Можно выставлять экономически обоснованную оплату за эксплуатацию арендованных машин и механизмов и т.д.

Для контроля качества процесса служат выходы 5 его качественных параметров (скорость, давление, температура, степень измельчения и т.д.).

Потери обслуживающих систем и пуска (выходы 6,7) отображают информацию соответствующего входа. Но ОУ делает очень важную работу. Он выдает эту информацию в нужные моменты времени.

В качестве демонстрационной модели использовался виртуальный механизм теплового нагрева жидкости rTempV. Выбор процесса теплового нагрева в качестве объекта демонстрации связан с возможностью использования хорошо апробированной упрощенной модели энергетического обмена [8], минимальным количеством необходимых входных продуктов (жидкость, энергетический продукт), большой инерционностью процесса. В свою очередь, большая инерционность объекта позволяет исключить из рассмотрения проблемы, связанные со стабилизацией параметров объекта (отстраниться от задач регулирования) и полностью сконцентрироваться на задачах управления.

Объект управления реализует процессы, которые в литературе определены как периодические технологические процессы. В своих работах автор определяет процессы подобных ОУ как процессы с порционной подачей сырьевых продуктов, поскольку в общем случае процессы ОУ не являются периодическими. В отличие от технологических процессов с непрерывной подачей целевых продуктов, исследование процессов с порционной подачей позволяет естественным образом

контролировать момент начала и завершения технологической операции.

Разработанная модель ОУ rTempV является объектно-ориентированной. Это означает, что она может функционировать в соответствующей программной среде, например MATLAB, AnyLogic, ASPC-Lab [9]. Все нижеприведенные исследования осуществлялись в ASPC-Lab, специально разработанной для отработки архитектуры СУ и исследования ее возможностей, а также в среде MATLAB.

Рассмотрим, как отображается реализация некоторых, заложенных в модели ОУ возможностей.

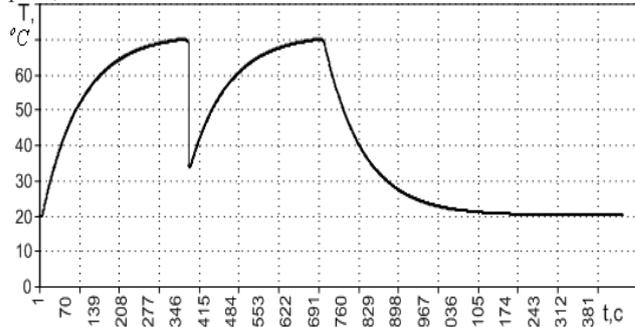


Рис.4. Процесс повышения температуры жидкости при полностью заполненном резервуаре

При полном заполнении резервуара жидкостью, и подаче на вход 2 энергетического продукта мощностью 30 кВт, время нагрева до температуры 70 град составляет 383 сек.(рис.4). Повторный нагрев жидкости происходит быстрее, поскольку после завершения первой операции и выдачи нагретой жидкости потребителю резервуар уже был нагрет и на начальной стадии второй операции, жидкость была нагрета до температуры 34°C за счет операции теплообмена. Соответственно, при первом запуске потери энергии больше (рис.5), что и отображается на выходе интегратора (рис.7), на вход которого подается информация о текущем уровне потребления энергетического продукта. Отключение подачи энергии после нагрева и передачи второй порции нагретой жидкости, резервуар охлаждается до температуры окружающей среды.

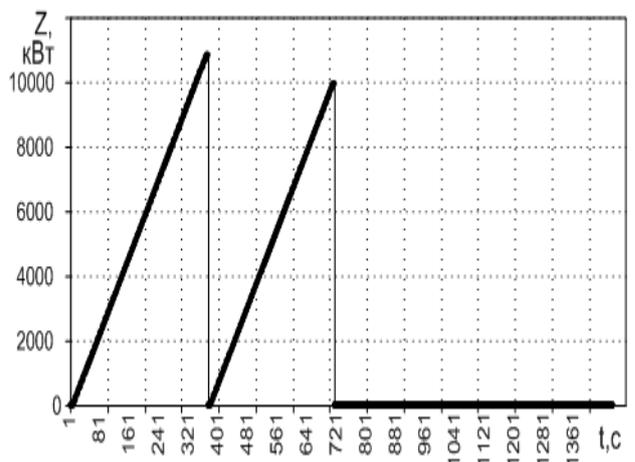


Рис.5. Изменение энергетических затрат в процессе реализации двух операций нагрева

При снижении объема нагреваемой жидкости вдвое, происходит более быстрый нагрев. Соответственно, сильнее проявляется эффект теплообмена (рис.6). Также во втором случае более ярко выражены пусковые потери (рис.7).

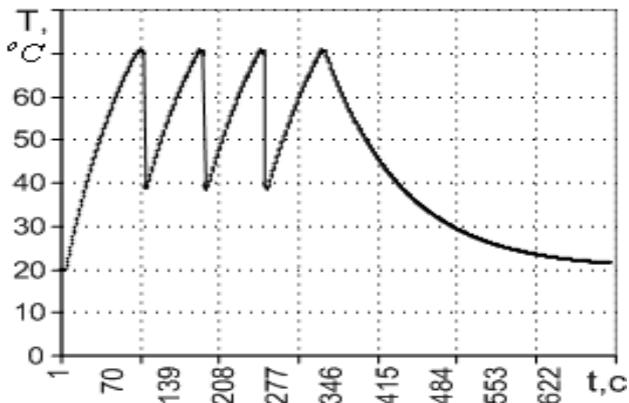


Рис.6. Процесс повышения температуры жидкости при наполовину заполненном резервуаре

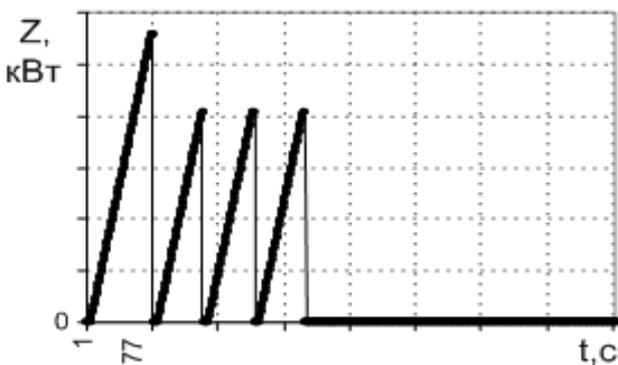


Рис.7. Изменение энергетических затрат в процессе реализации четырех операций нагрева

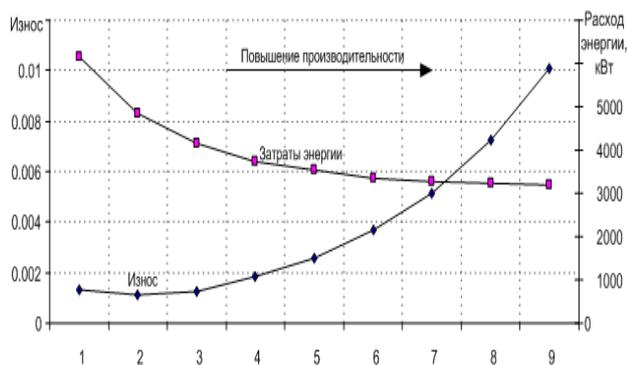


Рис.8. Изменение энергетических потерь и износа оборудования при повышении производительности процесса нагрева

Повышение уровня подачи энергии ускоряет процесс нагрева.

Следующие диаграммы показывают изменение потерь энергии на нагрев первой порции жидкости, при

повышении уровня ее подачи и соответствующее изменение износа механизма нагрева (рис.8).

Таким образом, разработанный ОУ соответствует требованиям, определенным в работе относительно решения задач разработки и исследования оптимальных СУ.

### Выводы

Предложенный подход к созданию количественно – качественных моделей ОУ типа СР дает разработчику и исследователю СУ доступ ко всем необходимым параметрам ОУ для реализации технологии оптимального управления. В том числе и к таким труднодоступным на сегодня в реальных условиях параметрам, как износ оборудования в зависимости от режима эксплуатации, затраты обслуживающих систем, потери обслуживания пуска.

Все это открывает широкие возможности для реализации полномасштабных проектов по созданию и исследованию оптимальных СУ.

### Литература

1. Чураков, Е.П. Оптимальные и адаптивные системы [Текст] / Е.П.Чурков. - М.: Энергоатомиздат, 1987. -256 с.
2. Белых, Б.П., Свердель И.С., Олейник В.К. Электрические нагрузки и электропотребление на горнорудных предприятиях [Текст] / Б.П. Белых, И.С. Свердель, В.К. Олейник М.: Недра, 1970. – 247 с.
3. Механизм формирования ресурсопотребления в задачах эффективного управления технологическими процессами [Текст] / Луценко И.А., Гузов Э.С. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 1/2(25). – С. 112-116.
4. Микропроцессорные средства производственных систем [Текст] / В.Н. Алексеев, А.М. Коновалов, В.Г. Колосов и др.; -Л.: Машиностроение, 1988. – 287 с.
5. Гаджинский, А.М. Логистика [Текст] / А.М. Гаджинский.– М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 2000. – 375 с.
6. Таха, Х. Теория игр и принятия решений [Текст] : пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 496 с.
7. Спосіб керування технологічним процесом [Текст] : Пат. 44669 Україна: МКИ G05D99/00/ Луценко І.А., Аниськов О.В., Титюк В.К., Гнатюк Ю.І., Михайленко О.Ю., : заявитель и патентообладатель Криворожский технический университет. – u200904455; заявл. 05.05.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 4с.
8. Амелькин, В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях [Текст] / В.В. Амелькин. – М.: Наука, – 1987. –160 с.
9. Титюк, В.К. Среда разработки и исследования систем автоматического управления технологическими процессами ASPC-Lab [Текст] / В.К. Титюк, И.А. Луценко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/2(40). – С. 37-41.