

УДК 629.78.018

Ю.А. КУЗНЕЦОВА, И.Б. ТУРКИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## АНАЛИЗ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В SCADA-СИСТЕМАХ

*Показано, что проектирование и реализация пользовательских интерфейсов таких сложных систем, как SCADA-системы (Supervisory Control and Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных), играют ключевую роль в обеспечении качества программного обеспечения в целом, особенно на этапах внедрения и сопровождения. Человеко-компьютерный интерфейс, разработанный с учётом требований эргономики, снижает трудозатраты пользователя и стоимость всей системы. Основным показателем качества пользовательских интерфейсов является его эргономичность, или удобство в использовании, согласно международному стандарту качества ISO/IEC 9126.*

**Ключевые слова:** пользовательский интерфейс, SCADA-система, эргономика, удобство использования, качество программного обеспечения, человеческий фактор.

### Введение

В настоящее время особое внимание уделяется созданию человеко-компьютерных интерфейсов (ЧКИ) в SCADA-системах с учётом профессиональной деятельности пользователя, его нагрузки и навыков работы. Это неудивительно. Ведь SCADA-система – сложная система, одной из основных функций которой является обеспечение взаимодействия между человеком-оператором и системой управления технологическими процессами (ТП).

Отсутствие должного внимания со стороны разработчика программного обеспечения к интерфейсу может привести к резко негативным последствиям. Можно привести несколько примеров.

1) Страховая компания инвестировала три миллиона долларов в информационную систему, предназначенную для поддержки работы независимых агентов, продающих ее услуги. Через некоторое время после внедрения системы агенты полностью отказались от её использования, поскольку не смогли обучиться работе с ней [1].

2) Крупная финансовая организация была вынуждена отказаться от почти полностью разработанной информационной системы, в результате обнаружения ошибки, допущенной при проектировании пользовательского интерфейса (ПИ) в модуле, ответственном за ввод данных. Ошибка была обнаружена только при тестировании удобства использования, но было уже невозможно произвести необходимые изменения, в результате система так и не была внедрена [2].

3) Полный цикл обучения некоторым системам занимает до шести месяцев. При этом средний срок работы служащих на одном месте составляет всего восемнадцать месяцев [3].

4) Мощная и достаточно дорого обошедшаяся функциональность ПО для службы персонала никогда не была использована, потому что пользователи «разучивались» пользоваться ею уже через неделю после окончания обучения [4].

Поэтому вполне целесообразно рассмотреть цели и задачи такой научной дисциплины, как эргономика, а также применение основных её принципов для реализации ПИ.

### 1. Обзор литературы

Для большинства систем на разработку ПИ уходит значительная доля бюджета и усилий программистов (количества строчек исходного текста программы). Проведенные исследования [5] указывают на то, что:

– ПИ составляет от 47 до 60 процентов кода всей программы;

– на разработку ПИ уходит, как минимум, 29 процентов проектного бюджета, и, в среднем, 40 процентов всех усилий разработчиков по созданию системы.

Поскольку с точки зрения пользователя ПИ является ключевым фактором для понимания функциональности программы, плохо разработанный интерфейс резко ограничивает функциональность системы в целом.

Своевременно и профессионально выполненная разработка интерфейса приводит к увеличению эффективности программного обеспечения (ПО), уменьшению длительности обучения пользователей, снижению стоимости переработки системы после ее внедрения, полному использованию заложенной в ПО функциональности. Эти задачи призвана решать такая научная дисциплина, как эргономика.

Эргономика представляет собой комплексную дисциплину, которая изучает человека или группу людей в условиях их трудовой деятельности, связанной с использованием технических средств, для повышения эффективности функционирования систем путём оптимизации этих средств, а также условий и процесса труда. Эргономика одновременно является и исследовательской, и проектировочной дисциплиной, так как одной из её задач является разработка методов учёта человеческих факторов при проектировании новой и модернизации старой техники и технологии, а также существующих условий труда. Эргономика основывается на следующих методологических принципах [6]: единства сознания и деятельности, гуманизации труда, активного оператора, проектирования деятельности, последовательности и непрерывности учёта требований эргономики, комплексности.

Объектом исследования эргономики является взаимодействие в системе «человек – машина – среда» (ЧМС). Эргономика рассматривает ЧМС как сложное функционирующее целое, в котором ведущая роль принадлежит человеку. Структурная схема ЧМС приведена на рис. 1.

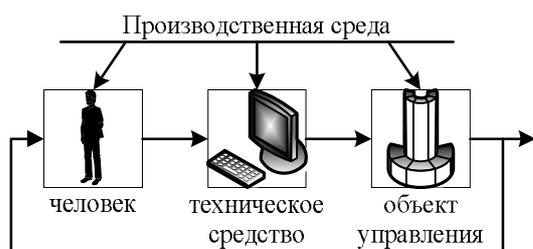


Рис. 1. Структурная схема ЧМС

Предмет эргономики представляет собой конкретную трудовую деятельность человека, использующего технические средства. В данном случае, в качестве технического средства используется компьютер. Эргономика рассматривает технический и человеческий аспекты в неразрывной связи. Сочетание способностей человека и возможностей компьютера существенно повышает эффективность функционирования ЧКС – «человек-компьютер-среда». Поэтому решение прикладных проблем эргономики предполагает движение одновременно в двух направлениях – от требований человека к компьютеру

и условиям его функционирования и, наоборот, – от требований компьютера и условий его функционирования к человеку. Оптимальное решение находится, как правило, на пересечении этих направлений.

Таким образом, эргономика решает задачи рациональной организации деятельности людей в ЧКС и целесообразного распределения функций между человеком и компьютером.

Эргономика также призвана решать ряд проблем, связанных с оценкой точности, надежности и стабильности работы, влияния психической напряженности, утомления, эмоциональных факторов и особенностей нервно-психической организации оператора на эффективность его деятельности в ЧКС.

Главная цель эргономики формулируется как единство трех аспектов исследования и проектирования [7]:

- повышение эффективности деятельности и, соответственно, функционирования человеко-компьютерных систем;
- охрана здоровья людей;
- всестороннее развитие личности людей, которые участвуют в трудовом процессе.

Принятие тезиса о триедином характере главной цели эргономики позволяет избежать отрыва эргономических исследований от конкретных задач развития производства.

Последовательность этапов эргономических разработок, реализуемые при решении любой задачи эргономики, можно сформулировать следующим образом.

- 1) Анализ и синтез деятельности оператора в системе ЧКС.
- 2) Изучение комплекса эргономических свойств (характеристик) человека – оператора.
- 3) Организация рабочего места оператора с учетом комплекса его эргономических свойств, которые определяются заранее.
- 4) Профессиональная подготовка операторов.
- 5) Эргономическое проектирование и оценка системы ЧКС.
- 6) Определение экономического эффекта эргономического обеспечения.

Следует особо подчеркнуть, что эргономика изучает определенные свойства ЧКС, которые получили название «человеческие факторы». Они представляют собой интегральные характеристики связи человека и компьютера, которые проявляются в конкретных условиях их взаимодействия при функционировании системы [8].

## 2. Постановка задачи

Повышение эргономичности человеко-компьютерных интерфейсов в промышленных программ-

ных продуктах сбора данных и диспетчерского управления на основе визуализации процессов автоматического управления является актуальной задачей.

В связи с этим основная **цель данной работы** заключается в проведении обзора и анализа принципов реализации эргономичных ПИ в SCADA-системах, их критериев и показателей качества.

### 3. Результаты исследований

#### 3.1. Характеристики и атрибуты качества ПО согласно ISO/IEC 9126

Человеческие факторы всесторонне проявляются и фиксируются в такой целостной эргономической характеристике ЧКС, как эргономичность, – свойство техники изменять эффективность трудовой деятельности в ЧКС в зависимости от степени её соответствия физическим, биологическим и психическим свойствам человека [9].

Рассмотрим более подробно понятие «эргономичность» по отношению к программному обеспечению (ПО) и её роль в обеспечении качества программного обеспечения.

Качество ПО характеризуется тремя главными аспектами: качество программного продукта, качество процессов ЖЦ и качество сопровождения или внедрения (рис. 2).

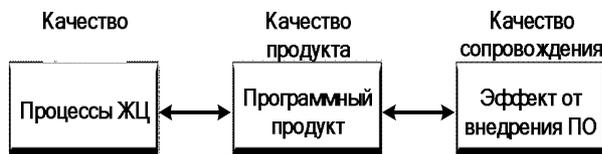


Рис. 2. Основные аспекты качества ПО

Качество продукта определяется процессами ЖЦ. Эффект от внедрения полученного программного продукта в значительной степени зависит от качества сопровождения и знаний обслуживающего персонала.

Модель качества ПО (рис. 3) имеет следующие четыре уровня детализации.

*Первый уровень* соответствует определению характеристик (показателей) качества для ПО, каждая из которых отражает отдельную точку зрения пользователя на качество.

Согласно стандартам [10-11] определено шесть характеристик, или шесть показателей, качества в стандартной модели качества:

1. **Функциональность** (functionality) – способность ПО в определенных условиях решать задачи, необходимые пользователям. Определяет, что именно делает ПО, какие задачи оно решает.



Рис. 3. Модель качества ПО

2. **Надежность** (reliability) – способность ПО поддерживать определенную работоспособность в заданных условиях.

3. **Удобство использования** (usability) – способность ПО быть удобным в обучении и использовании, а также привлекательным для пользователей.

4. **Производительность**, или **эффективность** (efficiency), – способность ПО при заданных условиях обеспечивать необходимую работоспособность по отношению к выделяемым для этого ресурсам. Можно определить как отношение полученных результатов с помощью ПО к затраченным на это ресурсам всех типов.

5. **Удобство сопровождения** (maintainability) – удобство проведения всех видов деятельности, связанных с сопровождением программ.

6. **Переносимость** (portability) – способность ПО сохранять работоспособность при переносе из одного окружения в другое, включая организационные, аппаратные и программные аспекты окружения.

*Второму уровню* соответствуют атрибуты качества для каждой характеристики, которые детализируют разные аспекты конкретной характеристики. Набор атрибутов характеристик качества используется для оценки качества.

*Третий уровень* предназначен для измерения качества с помощью метрик, каждая из которых, согласно стандарту [10], определяется как комбинация метода измерения атрибута и шкалы измерения значений атрибутов. Для оценки атрибутов качества на этапах ЖЦ (при просмотре документации, программ и результатов тестирования программ) используются метрики с заданным оценочным весом для нивелирования результатов метрического анализа совокупных атрибутов конкретного показателя и качества в целом.

Атрибут качества определяется с помощью одной или нескольких методик оценки на этапах ЖЦ и

на завершающем этапе разработки программного обеспечения.

*Четвертый уровень* задает оценочный элемент метрики для оценки количественного или качественного значения отдельного атрибута показателя ПО с учетом его веса.

*Удобство применения* характеризуется множеством атрибутов, которые указывают на необходимые и пригодные условия использования (диалоговое или не диалоговое) ПО определенным кругом пользователей для получения соответствующих результатов. В стандарте [11] удобство применения определено как специфическое множество атрибутов программного продукта, характеризующих его эргономичность.

*Подхарактеристиками* (атрибутами) применения являются:

- понятность – атрибут, который определяет усилия, затрачиваемые на распознавание логических концепций и условий применения ПО;

- удобство работы (оперативность) – атрибут, который указывает на реакцию системы при выполнении операций;

- привлекательность – способность ПО быть привлекательным для пользователей;

- удобство обучения (легкость изучения) – атрибут, который определяет усилия пользователей при применении ПО;

- согласованность – атрибут, который показывает соответствие разработки требованиям стандартов, соглашений, правил, законов и предписаний.

К *количественным показателям эргономичности* относят:

- среднее время или коэффициент занятости человека-оператора выполнением определенной единицы технологического процесса;

- вероятность выполнения человеком-оператором единицы технологического процесса с заданным качеством;

- производительность или норма времени на единицу труда;

- среднее оперативное время занятия человека подготовкой техники к её применению;

- среднее оперативное время занятостью восстановлением или профилактикой техники;

- среднее календарное время профессиональной подготовки человека-оператора;

- уровень квалификации человека, необходимый для обслуживания техники.

### 3.3. Принципы проектирования пользовательских интерфейсов в SCADA-системах

Эргономика включается в процессы разработки и тестирования программного продукта как часть

системы качества.

Разработка ПИ ведется параллельно дизайну программного продукта в целом и, в основном, предшествует его реализации.

Процесс разработки ПИ разбивается на этапы жизненного цикла [12].

- 1) Анализ трудовой деятельности пользователя, объединение бизнес-функций в роли.

- 2) Построение пользовательской модели данных, привязка объектов к ролям и формирование рабочих мест.

- 3) Формулировка требований к работе пользователя и выбор показателей оценки пользовательского интерфейса.

- 4) Разработка обобщенного сценария взаимодействия пользователя с программным модулем (функциональной модели) и его предварительная оценка пользователями.

- 5) Корректировка и детализация сценария взаимодействия, выбор и дополнение стандарта (руководства) для построения прототипа.

- 6) Разработка макетов и прототипов ПИ и их оценка в деловой игре, выбор окончательного варианта.

- 7) Реализация ПИ в коде, создание тестовой версии.

- 8) Разработка средств поддержки пользователя (пользовательские словари, подсказки, сообщения, помощь и пр.) и их встраивание в программный код.

- 9) Тестирование удобства использования ПИ по набору ранее определенных показателей.

- 10) Подготовка пользовательской документации и разработка программы обучения.

Для того, чтобы разобраться в технологии решения задач пользователя, разработчику необходимо определить:

- 1) объем информации, необходимой пользователю для решения задачи;

- 2) объем информации, которую пользователь может игнорировать (не учитывать);

- 3) объем информации, которую совместно с пользователем необходимо разделить на сигнальную, отображаемую, редактируемую, поисковую и результирующую.

- 4) решения, которые пользователь должен принимать в процессе работы с программой;

- 5) действия, которые может совершать пользователь одновременно (решать несколько задач);

- 6) типовые операции, используемые пользователь при решении задачи;

- 7) логику поведения ПО при выполнении действий не по предписанному алгоритму.

Дизайн ПИ должен обеспечивать минимизацию усилий пользователя при выполнении работы и приводить к:

- сокращению длительности операций чтения, редактирования и поиска информации;
- уменьшению времени навигации и выбора команды;
- повышению общей продуктивности пользователя, которая заключается в объеме обработанных данных за определенный период времени;
- увеличению длительности устойчивой работы пользователя.

К основным принципам реализации пользовательского интерфейса можно отнести:

- *стилевую гибкость* – возможность использовать различные интерфейсы с одним и тем же приложением;
- *совместное наращивание функциональности* – возможность развивать приложение без разрушения существующего интерфейса;
- *масштабируемость* – возможность легко настраивать и расширять как интерфейс, так и само приложение при увеличении числа пользователей, рабочих мест, объема и характеристик данных;
- *адаптивность к действиям пользователя* – приложение должно допускать возможность ввода данных и команд множеством разных способов и различные варианты доступа к прикладным функциям;
- *независимость в ресурсах* – для создания пользовательского интерфейса должны предоставляться отдельные ресурсы, направленные на хранение и обработку данных, необходимых для поддержки пользователя (пользовательские словари, контекстно-зависимые списки, наборы данных по умолчанию или по последнему запросу, истории запросов);
- *переносимость* – при переходе на другую аппаратную (программную) платформу должен осуществляться автоматически перенос и пользовательского интерфейса, и конечного приложения.

### 3.4. Технология создания эргономичных пользовательских интерфейсов в SCADA-системах

Большинство методов проектирования ориентировано на реализацию технических решений. При этом почти не уделяется внимания рассмотрению таких важных задач, как сбор и анализ информации, синтез и оценка проектных решений на ранних этапах проектирования [13]. А между тем, инструментальные программные средства являются лишь инструментом и сами по себе не гарантируют правильных проектных решений. В полной мере это касается SCADA-систем. Теперь особое внимание уделяется проблемам, возникающим в связи со слабым учётом человеческого фактора (ЧФ). Человек-

оператор оказался самым слабым звеном в процессе управления производством. Это связано с тем, что инженер-проектировщик, пользуясь ТЗ и спецификациями, с помощью SCADA-систем «собирает» интерфейс, руководствуясь только своим опытом и знаниями. Часто принимается первое попавшееся интерфейсное решение, которое оставляют в таком виде до тех пор, пока не возникнет серьёзных нареканий.

Иногда инженер «копирует» интерфейсные решения из аналогов или старых прототипов АРМ. Так размножаются грубые эргономические ошибки.

С другой стороны, не каждая фирма может позволить себе содержать штат специалистов по эргономике, так как реализация полного ЖЦ требует больших материальных затрат (рис. 4).



Рис. 4. Схема проектирования ПИ учётом ЧФ

Работа, как минимум, четырех инженерных психологов может быть оправдана лишь при реализации крупных проектов, требующих сквозного проектирования большого количества сложных ПИ. Другая проблема – грамотных специалистов в области проектирования ПИ очень мало.

Поэтому фирмы-разработчики SCADA-систем используют компромиссное решение: организуют курсы по проектированию ПИ для АРМ АСУ ТП (рис. 5).

На этих курсах инженер-программист получает необходимые начальные знания и навыки, позволяющие избежать серьезных эргономических противоречий и недостатков при разработке ПИ.

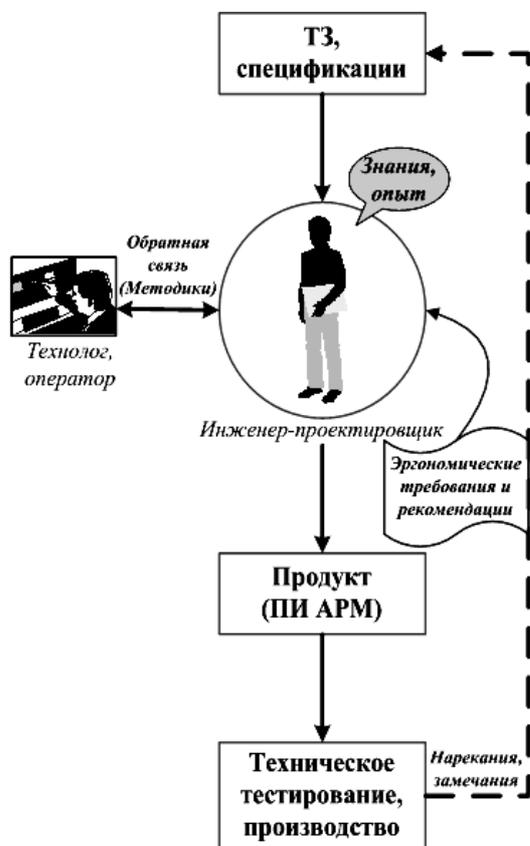


Рис. 5. Схема проектирования ПИ АРМ оператора с частичным учётом ЧФ

### Заключение

Системы, разработанные с учетом требований удобства использования, работают именно так, как пользователи ожидают, и позволяют им фокусироваться на собственных задачах, а не особенностях взаимодействия с системой.

Эргономичные программные продукты проще изучить, они более эффективны, позволяют минимизировать количество человеческих ошибок и увеличить субъективную удовлетворенность пользователей.

Эффективный интерфейс является результатом осознания разработчиком необходимости уделить значительное внимание не только данным, с которыми будет работать пользователь, но и собственно пользователю, его задачам и деятельности.

Следовательно, преимущества хорошего ПИ:

- 1) снижение количества человеческих ошибок;
- 2) снижение стоимости поддержки системы;
- 3) снижение стоимости обучения;
- 4) уменьшение потерь продуктивности работников при внедрении системы и более быстрое восстановление утраченной продуктивности;
- 5) улучшение морального состояния персонала;
- 6) уменьшение расходов на редизайн ПИ по требованию пользователей;
- 7) доступность функциональности системы для максимального количества пользователей.

### Литература

1. Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем: пер. с англ./ Д. Раскин – СПб.: Символ-Плюс, 2003. – 272 с.
2. Armeri Sh. User-Centered Design. [Электронный ресурс] / Sh. Armeri // Computer Science: Concordia University. – march 2003. – Режим доступа: <http://users.encs.concordia.ca>.
3. Susan Dray. The Importance of Designing Usable System. [Электронный ресурс] / Susan Dray // Interaction magazine. – January 1995. – P. 17-20. – Режим доступа: <http://portal.acm.org>.
4. Бельшикин А.А. Особенности субъективных представлений о работе с компьютером у разных категорий пользователей. / А.А. Бельшикин // Вестник МГУ. Психология. – 2000. – № 3. – С. 82–93.
5. Мандел Т. Разработка пользовательского интерфейса: пер. с англ. / Т. Мандел. – М.: ДМК, 2001. – 416 с.
6. Скибин Ю.В. Введение в эргономику: метод. указ. к изуч. дисциплины для студ. оч. и заоч. форм обуч. / Ю.В. Скибин; Самарская гос. академия путей обучения. – Самара: СамГАПС, 2004. – 21 с.
7. Эргономика: учеб. для вузов / В. В. Адамчук, Т. П. Варна, В. В. Воротникова, Т. И. Паутинка, С. И. Подгаецкий. – М.: Юнити-Дана, 1999. – 254 с.
8. Моргунов Е.Б. Человеческий фактор в компьютерных системах: уч. пособие / Е.Б. Моргунов. – М.: Тривола, 1994. – 272 с.
9. Человеко-компьютерное взаимодействие: учеб. для вузов / В.Д. Магазанник. – СПб.: Логос, 2007. – 270 с.
10. ISO/IEC 9126-1. Software engineering. Software product quality – Part 1: Quality model. – ISO, 2001. – 25 pages.
11. ISO/IEC TR 9126-2,3,4. Software engineering. Product quality – Parts 2,3,4: External metrics, Internal metrics, Quality in use metrics. – ISO, 2003–2004.
12. Эргономика: человекоориентированное про-

ектирование техники, программных средств и среды: учеб. для вузов / В.М. Мунипов, В.П. Зинченко. – М.: Логос, 2001. – 356 с.

13. Перевалов Я.М. Технология проектирования

пользовательских интерфейсов // Разработка АСУ ТП в системе «Трейс Моуд»: задачи и перспективы: тез. доклада на V Всероссийской Конференции 24.02.1999. – М., 1999. – С. 1-5.

Поступила в редакцию 8.02.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой экономико-математического моделирования Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» В.М. Вартамян, Харьков.

## АНАЛІЗ ЕРГОНОМІЧНИХ КРИТЕРІЇВ ТА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЛЮДИНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ У SCADA-СИСТЕМАХ

*Ю.А. Кузнецова, І.Б. Туркін*

Показано, що проектування та реалізація користувальних інтерфейсів таких складних систем, якими є SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних), відіграють ключову роль у забезпеченні якості програмного забезпечення в цілому, особливо на етапах упровадження та супроводження. Людино-комп'ютерний інтерфейс, що розроблений з урахуванням вимог ергономіки, зменшує трудовитрати користувача та вартість усієї системи. Основним показником якості користувальних інтерфейсів є його ергономічність, або зручність використання, згідно з міжнародним стандартом якості ISO/IEC 9126.

**Ключові слова:** користувальний інтерфейс, SCADA-система, ергономіка, зручність використання, якість програмного забезпечення, людський фактор.

## THE ANALYSIS OF ERGONOMIC CRITERIAS AND QUALITY INDEXES OF HUMAN-MACHINE INTERFACES IN SCADA-SYSTEMS

*Yu.A. Kuznetsova, I.B. Turkin*

This paper shows that design and implementation of user interfaces such complex systems like SCADA-systems (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition) are of great importance to provide software quality in whole, especially at the distribution and maintainability stages. Human-machine interface, which developed with accounting of requirements, reduces user man-hours and cuts costs of all system. The main quality index of user interfaces is its usability under international quality standard ISO/IEC 9126.

**Key words:** user interface, SCADA-system, ergonomics, usability, software quality, human factor.

**Кузнецова Юлія Анатольевна** – аспірантка кафедри 603 Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: JK-Sv@yandex.ru.

**Туркин Игорь Борисович** – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. 603 Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: energy@d4.khai.edu; nikrutrogi@mail.ru.