УДК 004.94

А.В. Каратанов

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

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЕДИНОМ ИНФОРМАЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Рассмотрены проблемы выбора систем автоматизированного проектирования. Обозначены наиболее важные критерии, которыми руководствуются руководители конструкторского бюро при выборе пакета программ для проектирования. Проведен анализ действующих стандартов основных стандартов в области обеспечения жизненного цикла и качества программных средств проектирования. Осуществлен сравнительный анализ моделей и методов оценки качества программных средств.

Ключевые слова: *системы автоматизированного проектирования, авиационная техника, проектирование, конструкторское бюро, качество, информационная поддержка жизненного цикла.*

Введение

Жизненный цикл (ЖЦ) авиационной техники (АТ) сравнительно краток в силу ее быстрого износа, а также постоянного появления новейших версий, при этом этап научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по своей продолжительности может достигать половины от всего ЖЦ. Для ряда моделей АТ НИОКР составляет 5-10 лет.

Заметим также, что затраты на НИОКР по созданию сложной техники среди ведущих мировых держав достигают значений более 1% от их ВВП, что составляет несколько миллиардов долларов, а мировые затраты на НИОКР в 2013 году превысят 1 триллион долларов.

Основной задачей научно-технического прогресса является внедрение автоматизированных систем в различные сферы производства и разработок, и в первую очередь в проектирование. Семейство систем автоматизированного проектирования (САПР) применяемых в процессе выполнения НИОКР довольно разнообразно по своему целевому назначению. Как известно, выделяют такие виды:

CAD (Computer Aided Design) – САПР, предназначенная для создания геометрической модели и конструкторской документации.

CAE (Computer-Aided Engineering) – система автоматизации инженерных расчётов (анализа и симуляции физических процессов, моделирования и оптимизации изделия).

CAM (Computer-Aided Manufacturing) – система технологической подготовки производства изделий, обеспечивающая автоматизацию программирования и управления оборудованием с ЧПУ (числовым программным управлением) или ГАПС (гибких автоматизированных производственных систем). Русским аналогом термина является АСТПП (автоматизированная система технологической подготовки производства). Для обозначения же САПР в целом в зарубежной литературе на данный момент используется аббревиатура CAx (Computer-Aided technologies) – термин означающий совокупность CAD, CAE и CAM-систем.

В настоящее время общепризнанным фактом является невозможность изготовления сложной наукоемкой продукции без применения САПР. Современные CAD/CAM/CAE-системы не только дают возможность сократить срок внедрения новых изделий, но и оказывают существенное влияние на технологию производства, позволяя повысить качество и надежность выпускаемой продукции (повышая, тем самым, ее конкурентоспособность).

Исходя из состава задач проектирования, CAD/CAM/CAE-системы представляют собой минимально необходимый состав комплекса программных средств для создания АТ.

Если шагнуть чуть дальше необходимого минимума, то возникает потребность в PDM (Product Data Management). А весь комплекс называется системой автоматизированного проектирования, подготовки производства, инженерных расчетов и управления данными – CAD/CAM/CAE/PDM, что в свою очередь в зарубежной литературе сокращается до CCCP.

В условиях постоянного обновления программного обеспечения руководители конструкторских бюро постоянно оказываются перед сложным выбором наиболее эффективного комплекта САПР.

Основной материал

Критерии выбора CAD/CAM/CAE-систем.

При выборе комплекса САПР необходимо учитывать ряд важнейших факторов.

1. *Стоимость*. Современные САПР отличаются довольно высокой стоимостью даже для одного

рабочего места.

Стоимости САПР соотносятся по уровням следующим образом:

- нижний: $500-$2000 за рабочее место (AutoCAD, AutoCAD LT, Компас);
- средний: $2000-$20000 (Inventor, Mechanical Desktop, SolidWorks);
- верхний: более $20000 (ProEngeneer, Unigraphics).

Если говорить о «комфортной» для потенциальных потребителей стоимости САПР, то есть той цены, которую отечественные предприятия потенциально готовы заплатить за оснащение рабочего места специалиста проектного и конструкторского отдела в настоящий момент времени, а также считают ее относительно приемлемой, то на данный момент она составляет около полторы тысячи у.е.

Разработчики САПР объясняют столь высокую стоимость лицензий систем автоматизированного проектирования огромными интеллектуальными, временными и трудовыми затратами на создание таких систем.

2. *Наличие квалифицированного персонала способного работать с данным ПО.*

Каждая САПР уникальна в своем роде, но в тоже время можно постулировать, что специалист, обладающий знаниями для работы с одной из систем в семействе, относительно легко переучивается на другую из той же линейки.

Следует заметить, что слабое распространение программных пакетов объемного моделирования на отечественных предприятиях связано не только с их дороговизной, но и с повышенными требованиями к квалификации персонала и высокой сложности освоения.

И хотя стоимость обучения несоизмерима со стоимостью 1 рабочего места (меньше в десятки раз) в современных реалиях предприятия не обладают временем для обучения новых специалистов.

3. Показатели качества ПО в соответствии со стандартами.

При выборе САПР руководители предприятия придерживаются следующих важных критериев, таких как:

- надежность функционирования;
- рациональность;
- удобство применения;
- мобильность;
- сопровождаемость.

Более подробно этот вопрос рассмотрен далее.

4. *Интегрируемость*.

Если рассматривать САПР в контексте объединения их в единое информационное пространство (ЕИП), то интегрируемость становиться одним из наиболее важных критериев.

Большинство работ по проектированию требует согласованной совместной деятельности нескольких разнопрофильных подразделений. Внутри одного предприятия должны достаточно быстро и без потерь данных передаваться большие объемы информации. Это достигается широким использованием средств интеграции, либо применением систем от единой фирмы поставщика (где комплекс продуктов изначально интегрирован в единое целое).

При этом средства интеграции можно подразделить на встроенную поддержку стандартных (STEP) и других (ACIS, DXF, DWG, Parasolid) форматов обмена данными, а также на отдельные модули обеспечивающие обмен информацией.

Обычно в пределах одного подразделения удается наладить надежный обмен данными. Однако, помимо взаимодействий внутри фирмы, присутствует также сложная система внешних связей – с заказчиками, поставщиками комплектующих изделий, партнерами по выполнению отдельных стадий разработки и т.д.

Отдельно стоит рассмотреть вопросы **новизны**.

Новейшие версии САПР стараются учитывать последние тенденции, а также позволяют повысить качество и скорость работы проектировщиков.

Новые версии САПР обычно появляются с периодичностью 1 раз в год. Однако многие полагают, что ежегодное обновление САПР не является необходимым. По данным исследование компании Softline пользователи считают, что САПР необходимо обновлять:

52,6% - ежегодно;

25% - достаточно 1 раз в 2-3 года;

12,3% - не чаще, чем 1 раз в 5 лет.

Основной проблемой новых версий считается неполная совместимость со старыми версиями программ. Но даже если эта проблема устранена, то покупать новые версии САПР (если «старые» еще нормально функционируют) руководство предприятия не считает целесообразным в силу их высокой стоимости. Кроме того, при обновлении могут возникнуть проблемы с интегрируемостью и передачей данных, как внутри предприятия, там и внешним организациям.

Показатели качества САПР в соответствии со стандартами. Для оценки эффективности функционирования САПР, как программного продукта, необходима формализация характеристик качества ПО, а также методология их оценки.

Основой регламентирования показателей качества программных средств являются ГОСТ 28195-89 "Оценка качества программных средств. Общие положения" [2] и ГОСТ ИСО/МЭК 9126 "Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристика качества руководства по

их применению" [3].

Одновременное существование двух действующих стандартов, нормирующих одни и те же показатели, ставит вопрос об их гармонизации [4].

Кроме того в Украине также действует ДСТУ 2850-94 [5]. Сравнительный анализ этого стандарта относительно ИСО/МЭК 9126 приведен в работе [6].

В целом система действующих стандартов в области оценки качества ПС достаточно многообразна и слабо согласована (табл. 1).

При сопоставлении характеристик стандартов ГОСТ ИСО/МЭК 9126-93 и ГОСТ 28195-89 следует учесть несоответствие используемой терминологии. Например, критерий – "согласованность". В [3] имеется в виду согласованность ПС со стандартами и другими нормативными документами, а в [2] – "однозначное, непротиворечивое описание и использование тождественных объектов, функций, терминов, определений, идентификаторов и т. д. в различных частях программных документов и текста программы". Таким образом, точное сопоставление факторов и критериев оказывается, как правило, невозможным. Несмотря на это можем постулировать некую согласованность.

Перечень из шести факторов качества программных средств установлен в стандарте [2]: надежность, сопровождаемость, удобство использования, эффективность, универсальность, функциональность. Учитывая их совпадение с характеристиками качества, приведенными в международном и отечественном стандартах, они должны лечь в основу определения качества программных средств.

Хотя отсутствует общепринятая система классификации программного обеспечения, имеется несколько общепринятых классов программного обеспечения. Важность каждой характеристики качества меняется в зависимости от класса программного обеспечения.

Таблица 1

Модель качества в представлении действующих в Украине стандартов

	ГОСТ 28195-89	**ISO/IEC 9126**	**ДСТУ 2850–94**
1	***Надежность***	***Надежность (Reliability)***	***Надежность функционирования (Reliability)***
1	1.1. Устойчивость функционирования 1.2. Работоспособность 1.3. – 1.4. – 1.5. –	1.1. Стабильность (Maturity) 1.2. Устойчивость к ошибке (Fault Tolerance) 1.3. Восстанавливаемость (Recoverability) 1.4. – 1.5. –	1.1. Безотказность (Maturity) 1.2. Стойкость к аномалиям (Fault Tolerance) 1.3. Восстанавливаемость (Recoverability) 1.4. Точность (Accuracy) 1.5. Реактивность (Responsability)
2	***Сопровождаемость***	***Сопровождаемость (Maintainability)***	***Сопровождаемость (Maintainability)***
2	2.1. Структурность 2.2. Простота конструкции 2.3. Наглядность 2.4. Повторяемость 2.5. Полнота документации 2.6. – 2.7. – 2.8. – 2.9. –	2.1. – 2.2. Анализируемость (Analyzability) 2.3. – 2.4. – 2.5. – 2.6. Изменяемость (Changeability) 2.7. Устойчивость (Stability) 2.8. Тестируемость (Testability) 2.9. –	2.1. – 2.2 Анализируемость (Analyzability) 2.3. – 2.4. – 2.5. – 2.6 Модернизируемость (Modernizability) 2.7. – 2.8. Тестируемость (Testability) 2.9. Исправляемость (Correctability)
3	***Удобство использования***	***Практичность (Usability)***	***Удобство использования (Usability)***
	3.1. Легкость освоения 3.2. Доступность программных документов 3.3. Удобство эксплуатации и обслуживания 3.4. – 3.5. –	3.1. Понятность (Understandability) 3.2. Обучаемость (Learnability) 3.3. Простота использования (Operability) 3.4. – 3.5. –	3.1. Осваиваемость (Trainability); 3.2. Простота подготовки к работе (Prepareability) 3.3. Удобство интерфейса для пользователя (Operability) 3.4. Анализируемость результатов (Result Analyzability); 3.5. Документированность (Documentability)
4	***Эффективность***	***Эффективность (Efficiency)***	***Рациональность (Efficiency)***
	4.1. Уровень автоматизации 4.2. Временная эффективность 4.3. Ресурсоемкость	4.1. – 4.2. Характер изменения во времени (Time Behavior) 4.3. Характер изменения ресурсов (Resource Utilization)	4.1 Занятость ресурсов (Resource occupancy) 4.2. – 4.3 Использование ресурсов (Resource Utilization)
5	***Универсальность***	***Мобильность (Portability)***	***Переносимость (Portability)***
	5.1. Гибкость 5.2. Мобильность 5.3. Модифицируемость 5.4. –	5.1. Адаптируемость (Adaptability) 5.2. Соответствие (Conformance) 5.3. Простота внедрения (Installability) 5.4. Взаимозаменяемость (Replaceability)	5.1. Адаптируемость (Adaptability) 5.2. – 5.3. Настраиваемость (Installability) 5.4 –
6	***Функциональность***	***Функциональные возможности (Functionality)***	***Функциональность (Functionality)***
	6.1. Полнота реализации 6.2. Согласованность 6.3. Логическая корректность 6.4. Проверенность 6.5. Защищенность	6.1. Пригодность (Suitability) 6.2. Согласованность (Compliance) 6.3. – 6.4. Правильность (Accuracy) 6.5. Защищенность (Security)	6.1. Функциональна полнота (Suitability) 6.2. Согласованность (Compliance) 6.3. – 6.4. – 6.5. Защищенность (Security)

	6.6. – 6.7. – 6.8. –	6.6. Способность к взаимодействию (Interoperability); 6.7. – 6.8. –	6.6. Способность к взаимодействию (Interoperability) 6.7. Массовость (Rangability) 6.8. Продуктивность (Throug-put)

Например, надежность наиболее важна для программного обеспечения боевых критичных систем, эффективность наиболее важна для программного обеспечения критичных по времени систем реального времени, а практичность наиболее важна для программного обеспечения диалога конечного пользователя. Важность каждой характеристики качества также меняется в зависимости от принятых точек зрения [3].

Наиболее важным для проектировщика является критерий **функциональности**. Под этим критерием понимается группа свойств, характеризующих способность программного средства выполнять определенный перечень функций. Для САПР еще не сложился общепринятый набор показателей функциональности, поэтому группирование отдельных свойств и даже их общее количество в различных публикациях по этому вопросу различаются весьма существенно. В этом состоит основная сложность сравнительной оценки систем CAD/CAM/CAE.

Каждое предприятие, использующее САПР, предъявляет определенные требования к необходимому функционалу. Эти требования целиком и полностью зависят от специфики деятельности предприятия, а также формы организации труда на предприятии. Стоит заметить, что функциональность САПР во многом зависит от их стоимости. И в последнее время все большую популярность приобретают системы «среднего» уровня, т.к. задач, для решения которых необходимы именно 3D-системы, становится все больше. В соответствии с [2] наиболее значительными характеристиками (критериями качества) для САПР являются:

- устойчивость функционирования;
- работоспособность;
- легкость освоения;
- доступность программных документов;
- удобство эксплуатации и обслуживания;
- гибкость;
- полнота реализации;
- согласованность;
- логическая корректность;
- проверенность.

Также, я полагаю, что этот список стоит дополнить характеристикой **модифицируемость**, ибо возможности по разработке и применению модификаций в САПР существенно влияют на ее выбор, т.к. они могут значительно расширить функционал, добавить совместимость с другими системами, а также сделать программы более удобными в использовании при специфичном проектировании.

По степени модифицируемости САПР можно поделить на следующие категории:

- не модифицируемые;
- полностью модифицируемые (самостоятельная либо специальная индивидуальная разработка);
- с настраиваемым ядром.

Последние в свою очередь подразделяют на системы, где модификацию может проводить лишь разработчик и те, где модификацию может проводить и сам пользователь.

Модель оценки эффективности САПР в едином информационном пространстве

Для того, чтобы оценить эффективность интеграции ряда САПР в единое информационное пространство следует создать многокритериальную оптимизационную модель, которая будет учитывать:

- суммарную стоимость САПР входящих в ЕИП, а также экономический эффект от внедрения данных систем и их интеграции в ЕИП;
- наличие и уровень подготовки квалифицировано персонала, способного работать с данными системами;
- качество САПР в соответствии с государственными и международными стандартами;
- степень интегрируемости САПР в ЕИП.

Целью создания данной модели является поиск оптимального решения. Под «оптимальным» при этом понимается самое лучшее в том или ином смысле решение, допускаемые обстоятельствами. Однако *доказательно* говорить об оптимальности *использования* той или иной САПР в ЕИП достаточно сложно.

В подавляющем большинстве случаев одна и та же техническая задача может быть решена с использованием нескольких систем, различающихся не только внешними характеристиками, но и принципами проектирования, заложенными в их основу. Понятно, что при этом одно из проектных решений может превосходить другое по одним свойствам и уступать ему по другим. При этом часто чрезвычайно трудно определить не только какая из систем оптимальна, но даже какая из них предпочтительнее [7]. Поэтому достаточно важным является применение инструмента, позволяющего с единых позиций оценить работу различных САПР объединенных в ЕИП. Таким инструментом и является данный метод позволяющий дать качественные и количественные оценки эффективности использования выбранных САПР.

Вопросы стоимости САПР, степени его интегрируемости в ЕИП, а также наличия подготовленности персонала к работе с данными

системами зависят от множества условий, поэтому их разбор выходит за рамки данной статьи – далее рассмотрены лишь вопросы, касающиеся оценки качества.

Метод оценки эффективности САПР, позволяющий выявить наиболее оптимальный набор САПР в ЕИП, входит в метод внедрения ЕИП представленный в работе [8]. К оценке эффективности САПР мы будем приступать, когда уже выработана общая стратегия внедрения ЕИП и проведен реинжениринг бизнес-процессов на предприятии.

1. Выбрать набор критериев качества для конкретной САПР (рис. 1, характеристики).

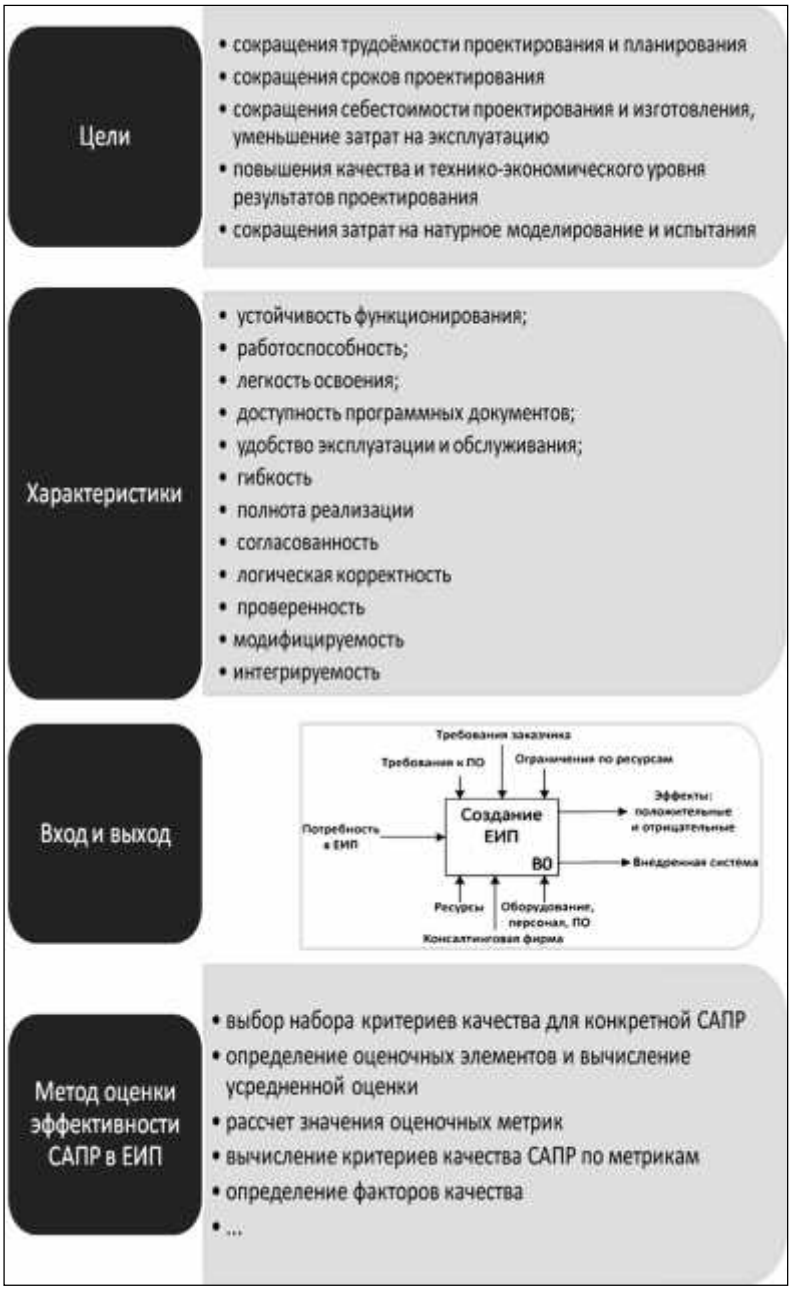

Рис. 1. Концептуальная модель оценки эффективности САПР в ЕИП

2. Определить оценочные элементы для каждого критерия и вычислить усредненную оценку (только если их более одного, иначе шаг пропускается):

$$m_k = (\sum_{э=1}^{t} m_э)/\mathrm{t}$$

где $m_э$ – оценочный элемент; k – порядковый номер метрики; q – порядковый номер оценочного элемента; э – индекс суммирования; t – число значений оценочного элемента.

Набор оценочных элементов представлен в [2], этот перечень следует дополнить оценочными элементами и метриками для критерия интегрируемость.

3. На основе оценочных элементов рассчитать значение оценочных метрик:

$$M_j = (\sum_{i=1}^{Q} m_k)/Q$$

где M – признак метрики; Q – число оценочных элементов в k-й метрике.

4. Вычисление критериев качества САПР по метрикам – абсолютных

$$P_i = \sum_{k=1}^{n} M_j \cdot V_j^M$$

где n – число метрик, отнесенных к j-му критерию; Vjk – сумма весовых коэффициентов.

Также эту сумму необходимо поделить на сумму весовых коэффициентов показателей данного уровня, которая является постоянной величиной и принимается равной единице в соответствии с выражением:

$$\sum_{j=1}^{N} V_i = C = 1$$

Соответственно эта операция деления опущена для уровня критериев и последующего за ним уровня факторов качества.

5. Определить факторы качества по формуле:

$$R_i^{\Phi} = \sum_{j=1}^{N} P_i \cdot V_i^K$$

6. Вывести единую интегральную оценку качества САПР.

7. Повторить пункты 1-6 для других САПР.

8. Выбрать САПР каждого типа требуемого в ЕИП с наивысшей интегральной оценкой.

9. Оценить суммарную стоимость САПР входящих в ЕИП, а также экономический эффект от внедрения данных систем и их интеграции в ЕИП.

10. В случае неудовлетворительного результата – выбрать следующую САПР с меньшим рейтингом. Повторять п.9 и 10 пока не будет достигнут желаемый результат.

Выводы

В данной статье были представлены методы и модели оценки эффективности САПР в ЕИП, используемых на стадии проектирования, впрочем, его использование в силу универсальности возможно и на других стадиях.

Приведены функциональные модели процесса оценки эффективности САПР в нотации IDEF0. Были подробно рассмотрены критерии выбора САПР, хотя стоит отметить необходимость еще более тщательного рассмотрения каждого из них.

Основные результатом является модель оценки эффективности САПР, использование которой в процессе внедрения ЕИП позволит:

– сократить сроки оценки эффективности ЕИП;

– уменьшить число ошибок на этом этапе внедрения;

– улучшить формализацию этого процесса.

Список литературы

1. Суханов, Ю."Короли" и "капуста" – 2012 Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2012 г. Ч. I. Обзор доходов "королей" [Текст]/ Ю. Суханов// Международный информационно- аналитический журнал «CAD/CAM/CAE Observer» / – 2012. – №4 (80) – С. 24-39.

2. *ГОСТ 28195-89 "Оценка качества программных средств. Общие положения". – Введ. 28.07.1989. – М.: Изд-во стандартов, 89. – С. 39.*

3. ISO/IEC 9126-1. Software engineering – Product quality – Part 1: Quality model, 2001. – 26 p.; ISO/IEC TR 9126-2. Software engineering – Product quality –Part 2: External metrics, 2003. – 86 p.; ISO/IEC TR 9126-3. Software engineering – Product quality – Part 3: Internal metrics, 2003. – 66 p.; ISO/IEC TR 9126-4. Software engineering – Product quality – Part 4: Quality in use metrics, 2004. – 70 p.

4. Богданов Д.В. Стандартизация жизненного цикла и качества программных средств / Д.В. Богданов, В.В. Фильчаков. – СПбГУАПП. Спб., 2000. – 210 с.

5. ДСТУ 2850–94. Програмні засоби ЕОМ. Показники та методи оцінювання якості. – Чинний від 01.01.96. –К.: Держстандарт України, 1994. – 20 с.

6. Волкова, С.О. Формалізація характеристик якості програмних продуктів та їх узгодження зі специфікаціями тестування для систем критичного та комерційного застосування / С.О. Волкова, О.В. Гнездьонова // Журнал херсонского Национального технического университета – Выпуск 1(30). – 2008. – С.479-486.

7. *Организация процесса автоматизированного проектирования [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://3ys.ru/organizatsiya-protsessa-avtomatizirovannogo-proektirovaniya/vybor-kriteriev-optimalnosti.html.*

8. Каратанов А.В. Метод создания единого информационного пространства авиационного конструкторского бюро // Наука і техніка Повітряних сил збройних сил України. – Х. - 2013 випуск 2(11). – С. 97-102

Поступила в редколлегию 05.09.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Малеева, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

МЕТОДИ І МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЯКОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ У ЄДИНОМУ ІНФОРМАЦІЙНОМУ ПРОСТОРІ

О.В. Каратанов

Розглянуто проблеми вибору систем автоматизованого проектування. Позначені найважливіші критерії, якими керуються керівники конструкторського бюро при виборі пакету програм для проектування. Проведено аналіз діючих стандартів основних стандартів в галузі забезпечення життєвого циклу і якості програмних засобів проектування. Здійснено порівняльних аналіз моделей і методів оцінки якості програмних засобів.

Ключові слова: *системи автоматизованого проектування, проектування, конструкторське бюро, якість, інформаційна підтримка життєвого циклу*

THE METHODS AND MODELS OF QUALITY ASSESSMENT THE CAD/CAM/CAE SYSTEMS IN SINGLE INFORMATION SPACE INTRODUCTION

A.V. Karatanov

There are considered the problems of CAD/CAM/CAE choice in article. There are also marked the most important criteria which heads of Construction Bureau usually use to choose software package for engineering. The current standards of basic standards in the field of the life cycle work and the quality of software design tools are analyzed. There is made comparative analysis of models and methods for quality assessing of software.

Keywords: *Computer Aided Design (CAD), Computer Aided Manufacturing (CAM), Computer Aided Engineering (CAE), engineering, Construction Bureau, quality, information life cycle support.*