

парами двусвязных и несвязных колес с учетом корректировки углов зацепления на примере механизма $2A-\bar{A}I$;

- получены генеральные уравнения для определения чисел зубьев планетарного механизма $2A-\bar{A}I$ с учетом корректировки углов зацепления на этапе синтеза механизма;
- для каждого сочетания параметров синтеза получены условия определения пределов возможных передаточных отношений проектируемого механизма.

Синтез планетарного механизма $2A-\bar{A}I$, проведенный с использованием генеральных уравнений (3)-(6), дает возможность получить дополнительные комбинации чисел зубьев, которые нельзя получить с помощью генеральных уравнений, приведенных в [1].

Список литературы: 1. Ткаченко В.А. Планетарные механизмы (оптимальное проектирование). – Харьков: Издательский центр ХАИ, 2003. – 446 с. 2. Кавецкий С.Н., Гереш Т.В. Зависимость углов зацепления зубчатых пар планетарных механизмов со связанными и несвязанными колесами // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: Машиностроение и САПР. – 2008. – № 2. – С.115-120.

Поступила в редколлегию 25.09.2009

УДК 621.002.5

В.И.КОХАНОВСКИЙ, канд. техн. наук, рук. САД/САМ-группы «R&D Центра» АО «У.П.Э.К.», г. Харьков,
О.В.КОХАНОВСКАЯ, науч. сотр. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”

ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ КЛАССА САД/САМ/САЕ/САПП/PDM/PLM НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Мета статті полягає у розробці рекомендацій для вибору концепції комплексної системи автоматизації машинобудівного підприємства на основі аналізу існуючого програмного забезпечення інтегрованих систем класу САД/САМ/САЕ/САПП/PDM/PLM.

The purpose of this paper consists in development of recommendations for the choice of conception of

the comprehensive system of machine-building enterprise automation on the basis of analysis of existent software of the integrated systems of САД/САМ/САЕ/САПП/PDM/PLM -class.

1. Состояние вопроса и постановка задачи. Необходимость широкого применения на производстве САД-систем (Computer Aided Design - автоматизированное проектирование), или систем САПР, уже давно не вызывает сомнений у специалистов, однако в современных условиях на первый план выходит *комплексная* автоматизация, которая пришла на смену простой автоматизации рабочих мест. Причина кроется в необходимости сокращения производственных циклов по выпуску новых изделий, т.к. при усиливающейся конкуренции необходимо оперативно решать вопросы расширения и изменения номенклатуры выпускаемой продукции [1]. Необходим последовательный процесс проектирования, составляющий цепочку «конструктор – технолог – снабженец – экономист» и т.д., преобразовать в параллельный. Основу этого процесса составляет создаваемая конструкторами объемная электронная модель изделия, т.н. цифровой прототип, на базе которой и организуется сквозная технология проектирования. С ее помощью удастся сократить количество ошибок, снизить число физических опытных образцов, уменьшить производственные затраты и ускорить выпуск продукта на рынок. Объемная модель изделия используется одновременно и в системах подготовки производства, которые автоматически создают программы для станков с ЧПУ. С ее помощью удобно разрабатывать техническую документацию, материалы для маркетинговых исследований и презентаций [2]. Следует, однако, отметить, что системы САПР остаются по-прежнему основным инструментом автоматизации конструкторских и технологических служб предприятий [1].

Итак, период применения «лоскутных» технологий завершился, и на его смену пришел период внедрения комплексных сквозных систем автоматизации предприятий класса САД/САМ/САЕ/САПП/PLM/ERP.

В настоящее время имеются необходимые и достаточные условия для успешного внедрения комплексных систем автоматизации (КСА). Действительно, с одной стороны – стремительный рост производительности персональных компьютеров обеспечили материальную базу внедрения КСА. С другой стороны – на рынке программного обеспечения (ПО) появились комплексные решения для автоматизации машиностроительного предприятия или индустриальной группы предприятий, которые имеют единую среду функционирования входящих в них систем класса САД/САМ/САПП/САЕ/PLM/ ERP.

После принятия решения руководством предприятия о внедрении КСА возникает сложный вопрос выбора концепции (платформы) ПО комплексной системы из ряда существующих. От правильного выбора фактически зависит развитие предприятия на ближайшие 10 лет.

Цель данной статьи состоит в выработке рекомендаций для выбора концепции КСА машиностроительного предприятия на основе анализа существующего ПО интегрированных систем класса САД/САМ/ САПП/САЕ/PLM/ERP.

2. Обзор и анализ существующих САД-систем. Традиционно системы

САПР для машиностроения разделены на три класса: тяжелый, средний и легкий. Эта классификация обусловлена их функциональными возможностями и ценой. При этом до середины 90-х годов существовало два класса — мощные дорогостоящие системы с обширными функциональными возможностями и простые программы двумерного черчения для ПК. Однако с ростом вычислительных мощностей персональных компьютеров и поддержкой ими многозадачности появились системы автоматизированного проектирования, которые заняли промежуточное положение между тяжелым и легким классами. От первых они унаследовали возможности трехмерного твердотельного моделирования, а от вторых — невысокую цену и ориентацию на платформу Windows. Они произвели настоящий переворот в мире САПР, позволив многим конструкторским и проектным организациям перейти с двумерного на трехмерное моделирование [3].

Сравнение CAD-систем среднего и тяжелого классов. В табл. 1 приведено сравнение возможностей представителей двух систем среднего класса (Компас 3D, SolidWorks 2007 Office Premium) и четырех систем тяжелого класса (базовый вариант системы Pro/ENGINEER – Pro/ENGINEER Foundation XE, расширенный вариант системы Pro/ENGINEER – Pro/ENGINEER Enterprise SE, CATIA V5 R17 HD2, UG NX5 Advanced Designer).

Данные табл. 1 наглядно демонстрируют бесспорные преимущества тяжелых CAD-систем. Заметим, что применение в CAD-системе отдельно поставляемого модуля для реализации некоторых важных функций влечет за собой проблемы совместимости данных систем разных разработчиков.

Таблица 1

Сравнительные параметры представителей CAD-систем среднего и тяжелого классов

Capability Возможности	Компас 3D	SolidWorks 2007 Office Premium	Pro/ENGINEER Foundation XE	Pro/ENGINEER Enterprise SE	CATIA V5 R17 HD2	UG NX5 Advanced Designer
1	2	3	4	5	6	7
Solid Parts Твердотельное моделирование	I	I	I	I	I	I
Sheetmetal Parts Моделирование листовых тел	I	I	I	I	⊠	I
Basic Parametric Surfacing Параметрическое моделирование	I	I	I	I	I	I
Simplified Representation Упрощенное представление	I	I	I	I	I	I
Design Animation Анимация	⊠	I	I	I	I	I

Web-Based Technical Support Техническая поддержка на основе Web-технологий (ТП через Интернет)	-	I	I	I	I	I
Global Geometric Deformation Моделирование геометрических деформаций	-	I	I	I	⊠	-
Real-Time Photorendering Создание фотореалистичных изображений в реальном времени	⊠	I	I	I	I	⊠
Advanced Technical Surfacing Моделирование сложных поверхностей	-	⊠	I	I	I	I
Mechanism Kinematics Проработка кинематики механизмов	£	I	I	I	⊠	I

Продолжение табл. 1

	1	2	3	4	5	1	2
Integrated Reports Встроенная система отчетов	-	-	-	I	I	-	-
Tool for Repairing Imported Data Инструменты для исправления импортированных данных	-	⊠	I	I	I	⊠	I
Live Phone-Based Technical Support Техподдержка в режиме on-line	I	£	I	I	I	£	I
Extensive 2D/3D File Format Support Поддержка сторонних 2D/3D форматов	I	⊠	I	I	I	-	-
Web Connectivity Поддержка Web-технологий	-	-	-	I	I	-	-
Web-Based Project Workspace Web-ориентированное проектное пространство	-	-	-	I	I	£	£
Design QA Tool and Best Practice Guidance Создание быстродействующих инструментов и использование передового опыта	-	-	-	I	I	£	£
Windows, Linux, and Unix Support Кроссплатформенность	-	I	I	I	I	I	I
Shrinkwrap to reduce file size and protect Intellectual Property Упаковщик для уменьшения размера файла и защиты интеллектуальной собственности	I	⊠	I	I	I	£	£
Motion Analysis Анализ движения	£	I	⊠	I	I	⊠	⊠
Behavioral Modeling	-	-	⊠	I	I	⊠	⊠

Поведенческое моделирование						
Assembly Process Planning	-	-	☒		☒	☒
Моделирование процесса сборки						

Обозначения в таблице: | – возможность базовой программы; ☒ – интегрированный дополнительный модуль; £ – отдельно поставляемый модуль; - – отсутствует возможность поставки; ТП – техническая поддержка.

Сравнение платформ PTC, Siemens PLM, Dassault System no CAD-системе. На сегодняшний день на рынке присутствуют только три тяжелых системы: Unigraphics NX компании «Siemens PLM Software», CATIA французской фирмы «Dassault Systemes» и Pro/Engineer от PTC («Parametric Technology Corporation»). Эти компании – лидеры в области САПР, а на их продукты приходится основная доля объема рынка в денежном выражении [3]. Тяжелые системы стоят довольно дорого – свыше 7 тыс. долл. за одно рабочее место, однако затраты на их приобретение окупаются, особенно в сложном машиностроительном производстве.

CAD-решения основных фирм-разработчиков CAD/CAM/CAE/PLM-систем. Эти системы обладают различными функциональными возможностями (см. табл. 1), причем система Pro/ENGINEER представлена в двух вариантах: как базовая система и как система с расширенными возможностями.

Если сравнивать Pro/ENGINEER с NX и Solid Edge, то основные отличия состоят в следующем.

- Pro/ENGINEER – единое решение верхнего уровня для создания изделия, начиная от его концептуального проектирования, конструирования, проверки и тестирования до подготовки производства и непосредственно производства, которое также включает многоуровневую систему управления информацией и полную поддержку технологий Интернет. Система включает более 30 интегрированных пакетов.

- NX, Solid Edge – решения верхнего и среднего уровня, соответственно, для создания изделия. NX позволяет создавать изделие, начиная от его концептуального проектирования, конструирования, проверки, до подготовки производства и самого производства. Solid Edge является решением только для проектирования и последующего создания конструкторской документации.

- Pro/ENGINEER – единое масштабируемое решение для предприятия любого масштаба. В случае с Siemens необходимо использовать два различных решения и, соответственно, постоянно выполнять процесс передачи данных из одной системы в другую, что часто приводит к потере важной информации или искажению геометрии модели. NX является более тяжеловесной в использовании, требующей как больших экономических, так и ресурсных затрат. Поэтому возникает необходимость в использовании второй системы Solid Edge, что также приводит к необходимости в дополнительном обучении. В то же время Pro/ENGINEER является единой платформой для решения различных задач и благодаря своей масштабируемости позволяет создавать изделия любой сложности.

Данные табл. 1 наглядно показывают преимущества применения системы Pro/ENGINEER как комплексной интегрированной системы над системами CATIA V5 R17HD2 и UG NX5 Advanced Designer. В Украине и России система Pro/ENGINEER также получила большее распространение, чем все другие системы. Более 40 украинских предприятий, среди которых лидеры отечественной индустрии – АНТК «Антонов», ГП «Завод им. Малышева», ОАО «Крюковский вагоностроительный завод», ОАО «Днепровагонмаш», ХК «АвтоКрАЗ», ХК «Лугансктепловоз», ОАО «Азовмаш», СМНПО им. Фрунзе, ОАО «Днепротяжмаш», ХКБМ им. Морозова, ОАО «Мелитопольпродмаш», ОАО «ХМЗ «Свет шахтера», АО «У.П.Э.К.» внедрили эту систему.

В конце 90-х годов ведущие фирмы-разработчики перешли на Windows-платформу для персональных компьютеров, которая в середине 90-х годов стала стандартом не только для офисных приложений, но и для промышленных систем. Первой САД-системой среднего уровня для персональных компьютеров стала SolidWorks в 1995 году. Корпорация PTC разработала и выпустила на рынок Windows-ориентированную версию системы Pro/ENGINEER в 1996 г., которая также работала на персональных компьютерах. В 1998 году появилась версия системы Unigraphics для ПК. Таким образом, с конца 90-х лет пакеты параметрического твердотельного моделирования с промышленными возможностями стали доступны пользователям персональных компьютеров.

3. Обзор и анализ САМ-систем. Назначением САМ-систем (Computer-Aided Manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) является проектирование обработки деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и создание управляющих программ для таких станков. В настоящее время они являются практически единственным инструментом моделирования и изготовления сложнопрофильных деталей и сокращения цикла их производства на станках с ЧПУ (СЧПУ). В САМ-системах используется трехмерная модель детали, созданная в САД-системе.

САМ-системы среднего и тяжелого классов. В табл. 2 представлена классификация САМ-систем. Первые 6 систем являются системами высокого уровня. Они позволяют выполнить механообработку на СЧПУ деталей любой сложности. Из этих систем только модули EUCLID, Pro/ENGINEER и Unigraphics NX встроены в одноименные САД-системы. Это обеспечивает двустороннюю ассоциативность данных САД и САМ систем.

Классификация основных САМ-систем

Таблица 2

№	Наименование САМ-системы	Фирма-разработчик	Описание САМ-системы	Ссылки
1	2	3	4	5
САМ-системы высокого уровня				
1	EUCLID	MATRA DATA VISION, Франция	САПР высокого уровня, охватывающая все этапы проектирования, разработана фирмой MATRA DATA VISION. Фирма занимается разработкой, продажей и сопровождением программного обеспечения CAD/CAM/CAE /PDM и программной среды для создания приложений	www.matra-datavision.fr , www.datavision.com , www.eads.matradatavision.co.uk/ , www.us.matradatavision.com/
2	Pro/ENGINEER	Parametric Technology Corporation (PTC), США	Программный комплекс Pro/ENGINEER охватывает весь цикл “конструирование – производство” в машиностроении. Ядро Pro/ENGINEER использует уникальную по своим возможностям технологию – Proven Technology, основанную на граничных представлениях	www.ptc.com , www.cv.com , www.solver-net.com , www.solver-net.ru

Продолжение табл. 2

3	CATIA/CADAM Solutions	DASSAULT SYSTEMES, Франция, и IBM, США	Полностью интегрированная универсальная CAD/CAM/CAE система высокого уровня, позволяющая обеспечить параллельное проведение конструкторско-производственного цикла, CATIA является универсальной системой автоматизированного проектирования, испытания и изготовления	www.catia.ibm.com , www.catia.com , www.catia.ru , www.ibm.ru , www.catia.spb.ru
4	Unigraphics NX	UGS PLM Solutions (EDS), Германия	Система Unigraphics NX является CAD/CAM/CAE – системой высокого уровня. Unigraphics NX позволяет осуществлять полностью виртуальное проектирование изделий, механообработку деталей сложных форм, имеет полностью ассоциативную базу данных мастер-модели Unigraphics Solutions	www.plmsolutions-eds.com/ , www.cos-mos.rcnet.ru/ , www.ugsolutions.ru/ , www.int.kiev.ua
5	Power-Mill	DEL-CAM, Англия	Автономная система автоматической подготовки управляющих программ для 3/5-координатной фрезерной обработки на любом СЧПУ изделий, спроектированных в любой CAD-системе	nrcde.ru/delcam/powermill.html

6	SURFCAM Velocity	Surfware, Inc, США	SURFCAM Velocity® CAD/CAM система обеспечивает оптимальные решения для современного дизайна через исследования производства. Используется от двух до пятиосной фрезерной, токарной и др. обработки	www.surfware.com/
САМ-системы среднего уровня				
7	Cimatron	Cimatron Ltd., Израиль	Интегрированная CAD/CAM – система, предоставляющая полный набор средств для конструирования изделий, разработки КД, инженерного анализа, создания управляющих программ для СЧПУ	www.cimatron.com , www.bee-pitron.com
8	TEBIS	Tebis AG, Германия	Развитая CAD/CAM – система. Двумерное проектирование и черчение, трехмерное моделирование	www.tebis.de
9	VISI-Series	Vero International, Inc., США	Развитая CAD/CAM – система. Обеспечивает двумерное проектирование и черчение, трехмерное поверхностное и твердотельное моделирование, генерацию УП для СЧПУ, визуализацию обработки детали	www.veroint.com , www.verosoft-ware.co
10	VX VISION	Varimetri x Corp., Ltd., США	CAD/CAM/CAE система среднего уровня	www.vx.com

Продолжение табл. 2

11	hyper-MILL	Open Mind Software Technologies GmbH, Германия	Пакет, позволяющий реализовать завершающее технологическое звено в сквозной CAD/CAM/CAE-технологии – подготовка управляющих программ для СЧПУ и изготовление изделий	www.openmindtech.com , www.acad.co.uk , www.autodesk.com
12	Edge-CAM	Pathtrace, Великобритания	CAM – система. Решения для фрезерной, поверхностной, токарной и электроэрозионной обработки деталей	www.pathtrace.com
13	ESPRIT	DP Technology, США	CAD/CAM – система на базе ядра Parasolid	www.dptechnology.com
14	ADEM	OmegaADEM Technologies Ltd., Израиль	Интегрированная CAD/CAM-система. Черчение, моделирование, CAM	www.omegat.com/eng/index_eng.htm , www.adem.ru/

15	Solid-CAM	CADTECH, Израиль	CAM-система. Обеспечивает 2,5 и 3-осевую фрезерную обработку, токарную обработку, визуализацию процесса обработки	www.solidcam.com
16	Master CAM	CNC Software, США	CAD/CAM – система. Обеспечивает каркасное и поверхностное моделирование деталей, визуализацию и документирование простых и сложных деталей и сборочных единиц, разработку УП для токарной, фрезерной, электроэрозионной обработки на СЧПУ	www.mastercam.com www.colla.lv
17	PEPS	Camtek Ltd., Великобритания	CAM-система, автоматизированная подготовка фрезерной, токарной, лазерной, электроэрозионной обработки деталей	www.camtek.co.uk/
18	DEFAR	Defcar Ingenieros, S.L., Испания	Система для проектирования и подготовки производства в кораблестроении	www.defcar.com
19	GEM-3D	НТЦ «Гем-Ма», Россия	Система геометрического моделирования и программирования обработки на СЧПУ	www.gemma.ru/
20	ADEM CAM	ООО «АДЕМ», Россия	Подготовка УП для плоскостной и объемной (до 5X) обработки деталей	www.adem.tomsk.ru

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
21	САПР-ЧПУ	ООО «ЕВРАЗИЯ Ltd», Россия	Система подготовки УП для 2 и 2.5 координатной обработки для всех моделей СЧПУ и обрабатывающих центров	www.sapr2000.ru
22	Sprut CAM	Компания «СПРУТ-Технология», Россия	Система подготовки управляющих программ обработки деталей на СЧПУ	www.sprut.ru

4. Обзор и анализ CAE-систем. Общие понятия. CAE-технологии (Computer-Aided Engineering – компьютерный инжиниринг) становятся все более востребованными при разработке изделий как в рамках зарекомендовавшей себя концепции управления жизненным циклом изделия (PLM - Product Lifecycle Management), так и в рамках развиваемого “альтернативного” подхода – цифрового прототипирования (Digital Prototyping). Какие бы ни применялись подходы, становится очевидным, что моделирование процессов

(так называемая симуляция) и анализ (Simulation & Analysis – S&A), которые являются неотъемлемой частью цикла проектирования в высокотехнологичных и наукоемких отраслях, постепенно становятся таковой и в отраслях, занятых выпуском продукции массового спроса. Поэтому сегодняшнему среднестатистическому инженеру уже бывает недостаточно только встроенных в CAD-систему средств анализа (embedded CAE), а поставщики CAD-систем, которые ранее не обращали серьезного внимания на CAE-технологии, уже проявили свое стремление расширить функционал поставляемых пакетов за счет специализированных CAE-систем. Миниатюризация электроники стимулирует объединение механических и электронных компонент в одном изделии. Активно развивается мехатроника (Mechatronics – Mechanical and Electronics Engineering) – новая научно-техническая дисциплина, которая изучает построение электромеханических систем нового поколения, основанных на применении знаний в области механики, электроники, микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов. Создание и развитие электромеханических изделий приводит к необходимости интеграции систем механического, электротехнического и электронного проектирования, а значит – и к интеграции соответствующих CAE-технологий для симуляции и инженерного анализа.

Анализ CAE-систем. Основные фирмы-разработчики на рынке CAE представлены в табл. 3. Безусловным лидером среди вышеуказанных CAE-систем является ANSYS [4]. Это универсальный конечно-элементный пакет, предназначенный для решения в единой среде на одной и той же конечно-элементной модели задач по прочности, теплообмену, электромагнетизму, гидрогазодинамике, многодисциплинарному связанному анализу и оптимизации на основе всех выше приведенных типов анализа.

Таблица 3

Основные фирмы-разработчики CAE-систем и их продукты

№	CAE-системы	Фирма-разработчик	Ссылка
Специализированные поставщики CAE			
1	ADINA (Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis)	ADINA R&D, Inc	www.adina.com
2	ALGOR	ALGOR, Inc.	www.algor.com
3	ANSYS Multiphysics, ANSYS CFX и Fluent	ANSYS, Inc. вместе с дочерней компанией Fluent, Inc	www.ansys.com
4	CFdesign	Blue Ridge Numerics, Inc.	www.cfdesign.com
5	STAR-CD	CD-adapco	www.cd-adapco.com
6	COMSOL Multiphysics	COMSOL, Inc.	www.comsol.com
7	PAM-CRASH, PAM-FLOW	ESI Group	www.esi-group.com
8	LMS Virtual.Lab, LMS Test.Lab	LMS International	www.lmsintl.com
9	LS-DYNA	Livermore Software Technology Corporation или LSTC	www.lstc.com

10	MD Nastran, MD Patran, MD Adams, MSC SimEnterprise, MSC SimOffice	MSC Software Corporation	www.mscsoftware.com
Российские CAE-системы			
11	APM WinMachine	НТЦ АПМ	www.apm.ru
12	Система расчета прочности и жесткости разветвленных пространственных трубопроводов «СТАРТ»	ООО «НТП Трубопровод»	www.truboprovod.ru
13	Система проектирования зубчатых колес «Intermech Gear»	НПП "Интермех".	www.intermech.ru/gear.htm
14	Система расчета технологических параметров литейных процессов САМ ЛП "Полигон"	ООО "ФОКАД"	rsl.npp.ru/firms/computer/computer_178.html
Поставщики комплексных PLM-решений			
15	SIMULIA	Dassault Systèmes	www.3ds.com www.simulia.com
16	Pro/ENGINEER Mechanical Mathcad	PTC	www.ptc.com
17	UGS пакет Femap Digital Simulation NX Nastran	UGS PLM Software	www.ugs.com www.siemens.com/automation

В КСА анализируемая модель изделия передается из CAD-системы в одном из форматов (iges, step и др.). В ANSYS имеется собственный геометрический редактор. Однако его возможности ограничены в сравнении с возможностями моделирования в тяжелых CAD-системах. В связи с этим многие CAD-системы располагают средствами обмена данными с программой ANSYS, созданными фирмой «ANSYS, Inc.» или поставщиками CAD-систем. Компания «ANSYS, Inc.» предоставляет пользователям следующие трансляторы: AutoCAD, CADAM, CADKEY и Pro/ENGINEER. Стоит обратить внимание на интерфейс ANSYS-Pro/ENGINEER, поскольку это программное средство позволяет выполнить параметрическую оптимизацию. Это дает возможность начать процедуру оптимизации с параметрической модели программы Pro/ENGINEER, продолжить ее в программе ANSYS и получить оптимизированную модель. Учитывая это преимущество Pro/ENGINEER перед другими CAD-системами, можно сделать вывод о превосходстве применения связки Pro/ENGINEER-ANSYS в сравнении с другими вариантами интеграции CAD-CAE.

В тоже время, применение ANSYS имеет свои недостатки: высокая цена лицензий системы; необходимо длительное системное обучение пользователей работе с системой; возможны ошибки при передаче геометрии анализируемой модели из CAD-системы в ANSYS. Кроме того, убедиться в работоспособности изделия, проверить его прочностные характеристики, оценить реакцию на внешние воздействия и рассчитать долговечность, не прибегая к большим затратам времени и средств, можно с использованием CAE-систем с меньшими

функциональными возможностями.

Цена таких систем существенно ниже и обучение значительно проще в сравнении с ANSYS, а работа с этими системами не требует привлечения высококвалифицированных расчетчиков. С точки зрения применения систем данного класса в КСА наибольшее предпочтение имеют CAE-системы, интегрированные в комплексные PLM-решения: SIMULIA, Pro/ENGINEER Mechanical, NX Nastran.

Поскольку CAE-система Pro/ENGINEER Mechanical интегрирована в систему Pro/ENGINEER на уровне двухсторонней ассоциативной связи, то естественным является определение этой системы как наиболее предпочтительной для применения в КСА.

5. Обзор и анализ САПР-систем. Технологическая подготовка производства (ТПП) является следующим этапом работ после проектирования изделия. Входной информацией для этапа ТПП служат данные электронной структуры и геометрической модели изделия.

Задачи и порядок проведения ТПП должны выполняться в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 50995-96. Данный стандарт дает следующее определение термина ТПП – это «вид производственной деятельности предприятия (группы предприятий), обеспечивающей технологическую готовность производства к изготовлению изделий, отвечающих требованиям заказчика или рынка данного класса изделий» [5].

Многолетняя история эксплуатации различных систем автоматизации технологического проектирования САПР – Computer-Aided Process Planning (или САПР ТПП) показала, что простое моделирование труда технолога на компьютере малопривлекательно для самих технологов. В то же время ранее было принято считать, что автоматическое проектирование требует создания большого количества типовых или групповых технологических процессов (ТП). При этом якобы высока вероятность того, что новые детали, запускаемые в производство, не будут похожи на типовые или групповые представители. Но появление систем управления документооборотом дало новый толчок развитию САПР ТПП для крупных производств [6-8]. С другой стороны, практически все САПР ТПП создавались под какие-то конкретные «свои» САД-системы твердотельного моделирования и PLM/PDM системы.

В современных условиях подход к автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства меняется. Произошла интеграция систем САД и ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия). На основе производственной (инженерной, конструкторской, технологической) информации, переданной из САПР в ERP, можно достаточно точно подсчитать себестоимость спроектированного изделия. Однако, по оценкам ряда специалистов, ручное внесение состава изделия в ERP-систему приводит к ошибочному вводу до 30% информации [9].

При этом подход к написанию технологических САПР на территории бывшего СССР и в западных странах коренным образом отличается. Западные технологии ориентированы на СЧПУ и, соответственно, на выпуск тех-

нологического процесса в электронном виде как конечного продукта, а «постсоветские» конечным продуктом имеют бумажный документ. Исходя из этого, можно выстроить две концепции развития технологической подготовки производства: переход технологических бюро на качественно новый уровень подготовки производства и автоматизация существующей схемы подготовки производства. В табл. 4 представлены основные САПР ТПП, которые применяются на территории стран СНГ.

Таблица 4

Основные фирмы-разработчики САПР ТПП и их продукты

САПР ТПП	Разработчик	CAD	PLM	Направленность
«Вертикаль»	Аскон	Компас	Лоцман, интеграция с Windchill	Бумажный ТП
TechCard	НПП «Интермех»	----	Search	Бумажный ТП
T-flex технология	Топ-Системы	T-flex	T-flex	Бумажный ТП
Windchill MPMLink	PTC	Pro/E	Windchill	Электронный документ

Функционально системы, разработанные на постсоветском пространстве, практически не отличаются – все они писались с оглядкой на ЕСТД, и при этом системы проектирования технологических процессов являются автономными изолированными системами. Для поддержки с их помощью связности процессов разработки необходимо постоянно решать вопросы интеграции-стыковки с системами PDM (Product Data Management), ERP и системами управления проектами (если таковые рассматривались). Как правило, компании-производители САПР технологических процессов не разрабатывали собственные PDM- или ERP-системы, а под интеграцией с ними понимали, в лучшем случае, автоматизацию процессов экспорта-импорта с наиболее популярными продуктами этого класса.

Также большинство САПР ТПП используют в своей работе специальные технологические справочники, которые не имеют связей с корпоративными справочниками PLM- и ERP-систем, что негативно отображается на общих результатах работы технологических служб.

Очевидно, что без глубокой интеграции с другими корпоративными системами никакое совершенствование одних систем проектирования технологических процессов не могло способствовать прогрессу в развитии применимости концепций PLM. В табл. 5 изложены параметры основных САПР ТПП.

Таблица 5

Параметры основных САПР ТПП

САПР ТПП	«Вертикаль»	TechCard	T-flex технология	Windchill MPMLink

Совместимость с другими PLM-системами	Возможен обмен через xml формат	Только через PLM-систему «Search»	T-flex Docs	Да
Возможность расчета режимов резания	Да, настраиваемый модуль	Да, таблицы в БД	Да, настраиваемый модуль	Да, возможность получения режимов из Pro/E (только для СЧПУ)
Трудовое нормирование (расчет штучного времени)	Да	Да	Да	Нет
Соответствие нормам ЕСТД	Настраиваемо	Настраиваемо	Настраиваемо	Отсутствует (планируется создание нового модуля)
Сложность освоения	+++	+++	++++	+++++
Наличие на ряде предприятий СНГ	Да	Да	Да	Только на ЗАО "Невский завод"
Гибкость лицензирования	Базовая программа, гибкая система дополнительных модулей на плавающей лицензии	Базовая программа, АРМ трудового и материального нормирования отдельно	Базовая программа, расчетная подсистема одним модулем	Является отдельным модулем PLM-системы «Windchill»

Система Windchill MPMLink является решением компании PTC задач ТПП в сквозной цепочке ее интегрированных продуктов: Pro/ENGINEER – Pro/Mechanica – Windchill – Windchill MPMLink. Причем интеграция осуществляется на уровне двухсторонней ассоциативной связи. Естественно желание применить эту систему в КСА машиностроительного предприятия. Однако, как видно из табл. 5, система имеет ряд существенных недостатков в отношении ее применения на предприятиях СНГ. Один из авторов статьи ознакомился с опытом внедрения этой системы на ЗАО "Невский завод" (г. Санкт-Петербург). Пока система применима только для предприятия с высоким уровнем автоматизации производства. На Невском заводе большая часть операций по обработке и изготовлению изделий сосредоточена на СЧПУ. Поэтому не возникло существенных проблем с внедрением Windchill MPMLink. Для предприятий с наличием большого количества универсального и специального оборудования без ЧПУ для разработки техпроцессов понадобится значительная доработка системы.

Таким образом, существует проблема разрыва интегрированной сквозной цепочки «проектирование-изготовление» на уровне формирования техпроцессов изготовления изделий. Как промежуточное решение этой проблемы можно рас-

смагивать следующую цепочку: Pro/ENGINEER – Pro/Mechanica – Windchill – Windchill MPMLink – САПР ТПП, где САПР ТПП одна из систем: Вертикаль или TechCard, примеры стыковки которых с Windchill и Pro/ENGINEER уже есть на некоторых предприятиях России и Украины.

6. Обзор PDM-систем. Система управления данными об изделии (PDM) осуществляет управление проектированием изделия, технологией его производства и другими информационными процессами. Она собирает информацию из всех используемых на предприятии прикладных автоматизированных систем класса CAD/CAM/CAE/CAPP/ERP.

Получая информацию об изделии, все участники производственного процесса не только активно ее используют, но и дополняют. После того, как изделие будет изготовлено, информация о составе изделия также будет востребованной разными службами предприятия. Сервисные подразделения используют ее для планового обслуживания; заказчику она нужна для конфигурирования готовой продукции под свои специфические потребности, а инженерный состав применяет ее для изготовления нового изделия или модернизации старого; нужна эта информация и для создания электронных архивов.

Таким образом, можно выделить следующие главные задачи, решаемые с помощью PDM-системы [1]:

- создание электронного архива чертежей и прочей технической документации;
- создание единого информационного пространства для всех участников жизненного цикла изделия;
- автоматизация управления конфигурацией изделия;
- построение системы качества продукции согласно международным стандартам качества серии ISO 9000.

Основным назначением PDM-системы является совершенствование и облегчение доступа к данным об изделии, что обеспечивается путем интеграции всей информации об изделии в логически единую модель. В эту информацию включается состав и структура изделия, данные о геометрических формах, чертежи, планы проектирования и производства, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, данные о партиях и отдельных экземплярах изделия и многое другое.

Функции PDM-системы можно также разделить на несколько групп [1]:

- *управление архивом информации.* Все документы в PDM-системе хранятся в специальной подсистеме – электронном архиве, который обеспечивает целостность данных, организует доступ к ним пользователей в соответствии с назначенными правами и позволяет осуществлять поиск;

- *управление процессами.* PDM-система выступает в качестве рабочей среды пользователей, отслеживает все их действия, включая версии создаваемых ими данных, управляет потоком работ (например, в процессе проектирования изделия) и занимается протоколированием действий пользователей и изменений данных;

- *управление составом изделия.* PDM-система содержит информацию о составе изделия, его исполнениях и конфигурациях. Важная особенность - наличие нескольких представлений состава изделия для различных предметных областей (конструкторский состав, технологический состав, маркетинговый состав и т. д.), а также управление применяемостью компонентов изделия;

- *классификация.* PDM-система позволяет распределять изделия и документы в соответствии с различными классификаторами. Это может быть использовано при автоматизации поиска изделий с нужными характеристиками с целью их повторного использования или для автоматизации присвоения обозначений компонентов изделия;

- *вспомогательные функции,* обеспечивающие взаимодействие PDM-системы с другими программными средствами, с пользователями, а также взаимодействие пользователей друг с другом.

7. Обзор PLM-систем. Общие понятия. Сегодня 25-30% дохода производственные предприятия получают от сравнительно новых изделий, т.е. созданных в течение последних пяти лет [10]. Но для быстрой разработки новинок приходится решать несколько противоречивых задач: продвигать инновации, увеличивать доход, соблюдать жесткие сроки выпуска продуктов на рынок и обеспечивать их высокое качество. На помощь приходит технология управления жизненным циклом изделия (PLM – Product Lifecycle Management), с помощью которой создается среда для сквозного управления процессами проектирования, тестирования, производства, обслуживания, списывания и утилизации продуктов.

Основные этапы жизненного цикла изделия следующие [1]:

1. Маркетинговые исследования потребностей рынка.
2. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИ-ОКР).
3. Подготовка производства изделия на заводе-изготовителе серийной продукции.
4. Производство и сбыт.
5. Эксплуатация и обслуживание изделий.
6. Утилизация изделий.

На каждом из этих этапов предприятие должно осуществлять финансовую поддержку выпускаемого изделия. При этом известно, что изделия, требующие больших издержек в начальный период своего жизненного цикла, обычно менее рентабельны, чем продукция, инвестиции в которую равномерно распределены во времени или даже сдвинуты на более поздние сроки (рис. 1) [1].

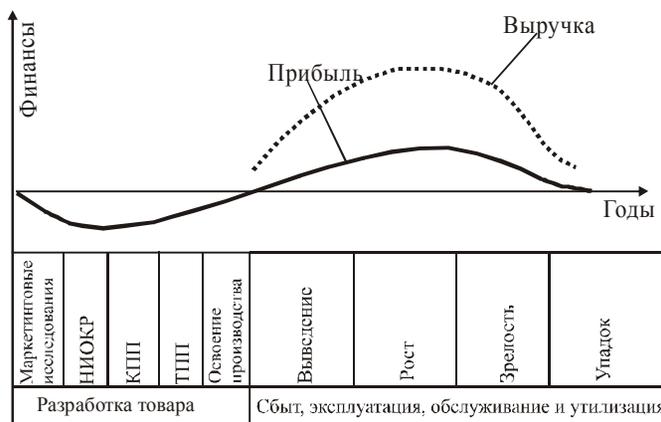


Рис. 1. "Финансовый профиль" проекта создания, освоения и производства нового изделия

Предприятие может освободить средства для разработки новых продуктов и увеличить свою прибыль за счет сокращения сроков НИОКР и подготовки производства, являющихся непроизводственными стадиями жизненного цикла изделия.

Платформа PLM-систем. В процессе использования САПР на предприятиях были созданы электронные архивы, содержащие огромные объемы информации; чертежи, трехмерные модели, спецификации и др. Понадобились эффективные средства управления, позволяющие извлекать пользу из этого «интеллектуального богатства». Такими средствами стали технологии PLM, со временем охватившие самые разные направления деятельности промышленной компании.

К средствам PLM –технологий относятся [10]:

- базовые стандарты и технологии (XML, средства визуализации, совместной работы и интеграции приложений);
- инструменты автоматизации проектирования механических и электронных изделий (CAD и EDA), подготовки производства (CAM), анализа инженерной информации (CAE) и вспомогательные средства (у нас все они обычно объединяются под названием САПР);
- дополнительные программы (хранение данных, управления информацией, документооборот);
- функциональные приложения (управление конфигурациями, версиями, проектами, знаниями) и специализированные отраслевые приложения.

Причем функциональность PLM-приложений постепенно расширяется за пределы традиционной области автоматизации проектирования и охватывает другие процессы жизненного цикла изделия, включая управление контентом, послепродажное обслуживание, маркетинг и т. д. Отмечается рост

спроса на системы управления данными о продукции и поддержки коллективной работы (Collaborative Product Data Management, cPDM). По мнению аналитиков, это связано с глобализацией промышленного производства — деловые связи между предприятиями расширяются, а потребность в совместном использовании информации возрастает. Иногда к cPDM причисляют и средства визуализации, обмена информацией, управления портфелями проектов, контроля за соблюдением нормативных требований, интеграции приложений и отраслевые решения. Развиваются и инструменты подготовки данных: средства автоматизации проектирования, публикации технической информации и вспомогательное ПО.

Фирмы-разработчики PLM-систем. На рынке PLM в настоящее время и, по-видимому, в обозримом будущем будут доминировать три фирмы [10]: PTC с системой Windchill, Dassault Systems с ENOVIA SmarTeam и Siemens PLM Software с системой Teamcenter. Среди них лидером рынка является тандем двух разработчиков - IBM и Dassault Systemes [11], которые предлагают пакеты PLM практически для любой области производства, начиная от авиакосмической и заканчивая часовым производством. Но даже крупные фирмы вынуждены иногда привлекать партнеров для обеспечения полного ввода PLM технологии на конкретном предприятии.

IBM и Dassault Systemes предлагают CAD/CAM/CAE решение Catia, многоцелевую CAD-совместимую среду коллективных вычислений PDM для моделирования данных о продуктах на протяжении всего срока их службы Enovia, и Smarteam – набор программных продуктов, обеспечивающих совместную работу и управление информацией от концепции до реализации.

Компания UGS также пошла по пути специализации. Она предлагает готовый пакет Teamcenter для таких областей, как машиностроение, автомобилестроение, приборостроение, индустрия фасованных потребительских товаров и химико-фармацевтическая промышленность. Из-за отсутствия единых стандартов на рынке UGS включила в Teamcenter коннекторы "plug and play", которые обеспечивают общий набор средств API и сокращают время системной интеграции.

Среди российских продуктов стоит отметить систему "Лоцман: PLM" группы компаний "АСКОН" [12], которая позволяет не только интегрироваться с собственными продуктами компании, но и с другими CAD-системами, такими как CATIA или Pro/ENGINEER Wildfire от PTC.

Однако, существует и такое мнение, что рынок PLM-систем процветает благодаря постоянному появлению новых технологий, которые предлагают молодые начинающие компании. По-видимому, со временем поставщики PLM разделятся на два лагеря: нескольких лидеров, предлагающих комплексные решения для всего жизненного цикла изделия, и многочисленную армию более мелких разработчиков специализированных продуктов для отдельных этапов жизненного цикла. На сайте [13] представлен многочисленный перечень фирм-продавцов различных PLM-систем.

Другая тенденция в области PLM связана с усилением роли технологии

цифрового моделирования производства. Достаточно вспомнить, что одной из причин сделки между Siemens и UGS было наличие у последней развитого решения такого рода. Сейчас Digital Manufacturing выходит на первый план. Сейчас вся тройка лидеров активно продвигает средства цифрового моделирования производства: UGS — систему Tecnomatix, Dassault — Delmia, а PTC — Windchill MPMLink (бывшую PolyPlan). Аналитики из CIMdata полагают, что такое развитие событий приведет к интеграции систем Digital Manufacturing со средствами автоматизированного контроля и оптимизации производственной деятельности (Manufacturing Enterprise Solutions, MES) и, следовательно, к еще более полному охвату технологией PLM различных направлений деятельности предприятия.

Итак, для современного предприятия, выстраивающего долгосрочную стратегию развития, реализация концепции PLM становится не только привлекательной, но и необходимой составляющей бизнеса, поскольку только через концепцию PLM можно собрать вместе и управлять данными о корпоративной продукции, сделав их важнейшим бизнес-ресурсом.

По данным CIMdata, применение PLM-системы дает предприятию следующие преимущества: сокращение сроков проведения изменений до 40%; сокращение сроков подготовки опытных образцов на 15–30%; сокращение времени подготовки производства на 40%; увеличение производительности в проектировании на 25%; уменьшение времени разработки изделия примерно на 75%; уменьшение времени процессов согласования до 80%; значительное уменьшение времени поиска необходимой информации.

8. Сравнение трех платформ: PTC, Siemens PLM, Dassault PLM.

При выборе системы PLM необходимо учитывать, что всех поставщиков PLM можно разделить на три группы [14]. В первую группу входят разработчики, которые пришли к PLM от САПР. Во вторую группу входят разработчики, которые пришли к PLM от ERP. И в третью группу входят разработчики, которые не имеют своих собственных разработок в области проектирования и управления ресурсами. С точки зрения реализации сквозного цикла «проектирование-изготовление» на предприятиях компании на базе систем класса CAD/CAM/CAE/PDM/PLM наиболее предпочтительной является первая группа разработчиков PLM-систем.

Основные PLM-системы следующие:

- *Windchill* (решение компании «Parametric Technology Corporation») – корпоративная информационная среда предприятия по управлению жизненным циклом изделия:

- § *Windchill PDMLink* – система управления инженерными данными. Позволяет работать компании с единым источником данных об изделии и оптимизировать процессы (управление вариантами исполнения, управление изменениями, управление конфигурациями) на протяжении всего жизненного цикла изделия;

- § *Windchill ProjectLink* – система совместного ведения проекта по разработке изделия. Позволяет в режиме реального времени реализовать

функции взаимодействия и сотрудничества для всех участников распределенной команды разработчиков сложного изделия независимо от их местонахождения;

- § *Windchill MPMLink* – интегральное PLM приложение, разработанное для инженеров-технологов;

- § *Windchill PartsLink* – создает интерактивный сетевой высокопроизводительный Web-каталог деталей и стандартизованных частей, содержанием которого кроме любых технических данных об изделии могут быть трехмерные CAD-модели.

- *Набор решений Teamcenter* (решения компании «Siemens») – Teamcenter Enterprise – корпоративная информационная среда по управлению жизненным циклом изделия:

- § *Teamcenter Engineering* – система управления инженерными данными в процессе проектирования;

- § *Tecnomatix* – система управления технологическими данными в процессе подготовки производства;

- § *Teamcenter Requirements* – система управления требованиями при управлении проектом;

- § *Teamcenter Project* – управление проектом в рамках всего предприятия.

- *Линейка программных продуктов ENOVIA* (разработчик – «Dassault Systems»):

- § *ENOVIA LCA* – система управления жизненным циклом изделия в рамках проекта и управление изменениями изделия;

- § *ENOVIA VPM* – система, которая основана на компонентах системы управления данными CATIA и обеспечивает переходы на новые версии и обновления свойств управления конфигурациями деталей, сборок и спецификаций;

- § *ENOVIA SmarTeam* – система для использования в проектировании и управлении жизненным циклом изделия, а также для организации взаимодействия с цепочками поставщиков. Разработчиком SmarTeam является «SmarTeam Corporation Ltd.», дочерняя фирма компании «Dassault Systems». ENOVIA SmarTeam основана на Windows и Web технологиях;

- § *ENOVIA MatrixOne* – является основой интегрированной PLM-системой платформы Dassault Systems для всех бизнес-процессов компаний во всех отраслях промышленности.

В целом, по функциональным возможностям любая из трех PLM-систем (*Windchill*, *SmarTeam*, *ENOVIA*) удовлетворяет требованиям к совместной работе с CAD-системой «Pro/ENGINEER». Естественно, наибольшая интеграция с Pro/ENGINEER имеется у системы «Windchill», т.к. это программные продукты одной фирмы – PTC. Однако, у этих PLM-системах есть все же отличия и довольно существенные. Они изложены ниже.

Windchill имеет одну платформу на которой работают различные приложения по управлению данными, управлению и изменению конфигураций изделия, управления составом изделий, подготовки технологической доку-

ментации, хранению и просмотру данных. Такой вариант предусматривает использование единой базы данных для хранения любой информации, что является неоспоримым преимуществом.

По результатам исследований, проведенных независимой консалтинговой фирмой AMR Research [15], решения Windchill наиболее полно удовлетворяют требованиям, которые предъявляются к общекорпоративным PLM-системам. Они позволяют объединить в себе и управлять всей информацией о структуре продукта и о его разработке: от концепции – до сдачи в производство, от изготовления отдельных экземпляров – до его вывода из эксплуатации. Windchill отвечает требованиям ISO 9000:2000 по идентификации и прослеживаемости и имеет русскоязычный интерфейс пользователя.

Использование решений Teamcenter приводит к фактическому использованию семи различных систем и, соответственно, баз данных для хранения, которые в некоторых случаях не могут корректно обмениваться данными. Только Teamcenter 2009 должен иметь одну платформу, но уйдет еще много времени для создания единой работоспособной системы. Тогда как Windchill изначально создавался как единое хранилище для работы с данными.

Примеры существенных проблем совместимости версий продуктов Dassault Systems приводились выше. К тому же цены на эти продукты примерно на порядок выше цен ПО фирмы PTC.

Немаловажным фактором выбора PLM-системы является ценовая политика внедрения и сопровождения PLM-системы компанией-разработчиком. Поскольку эти данные являются конфиденциальными, то авторы статьи могут позволить себе только указать на сравнительные порядки цен исходя из своего опыта. На Украине эти цены для PTC в несколько раз ниже в сравнении с Dassault Systems и Siemens PLM Software. Причина кроется в отсутствии у Dassault Systems и Siemens PLM Software украинских партнерских фирм, которые занимаются исключительно внедрением продуктов этих компаний. У компании PTC такой фирмой является ООО «ТЕХНОПОЛИС» (г. Киев).

9. Выводы. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что платформа Pro/ENGINEER – Pro/Mechanica – Windchill – Windchill MPMLink – «Вертикаль» имеет преимущества над платформами UG-Teamcenter и CATIA-ENOVIA-SmarTeam-DELMIA для ее применения в Комплексной Системе Автоматизации машиностроительного предприятия.

Итак, вывод о предпочтительном выборе CAD, CAM, CAE, CAPP, PDM, PLM систем следующий:

- CAD-система – система Pro/ENGINEER (разработчик – фирма PTC);
- CAM-система – модуль системы Pro/ENGINEER от PTC;
- CAE-система – модуль системы Pro/ENGINEER – система Pro/MECHANICA от PTC;
- CAPP-система – система MPMLink (разработчик – фирма PTC) и система «Вертикаль» (разработчик – фирма АСКОН);
- PDM-система – модуль системы Windchill – PDMLink от PTC;

- PLM-система – модуль системы Windchill – ProjectLink от PTC.

Дополнительно к выбору вышеуказанных систем считаем также необходимым применение программ Arbortext IsoDraw (создание и просмотр технических иллюстраций) и Mathcad (выполнение и документирование инженерных и научных расчетов), поставщиком которых также является фирма PTC.

В настоящее время на пяти машиностроительных предприятиях АО «У.П.Э.К.» (г. Харьков) выполняются работы по внедрению ПО интегрированной цепочки КСА: Pro/ENGINEER – Pro/Mechanica – Windchill – Windchill MPMLink – Вертикаль [16]. Предпочтение системе Вертикаль, в сравнении с системой TechCard, было сделано из-за необходимости применения еще одной PLM-системы – Search для функционирования TechCard и более простой в реализации стыковки Windchill с системой «Вертикаль» через систему Windchill MPMLink.

Список литературы: 1. Зыков О. Промышленная автоматизация: движение от САПР к PLM. – IT News. – 2005. - №8. – С.22-23. 2. PLM-CALS технологии – компьютерный инжиниринг. Доступно на <http://cae.ustu.ru/cont/soft/plm.htm>. 3. Обзор САПР: вчера и сегодня. Доступно на http://www.mashportal.ru/solutions_development-162.aspx. 4. Басов К. ANSYS для конструкторов. – М.: ДМК-Пресс, 2009. – 248 с. 5. Красильников А.А., Ямаев И.Е. CAD/CAM/CAPP ADEM как средство проведения технологического аудита на предприятиях ОПК // САПР и графика. - 2008. -№5. – С.22-27. 6. Беззуб А., Чилингаров К. «Старый новый» метод автоматизации проектирования техпроцессов // САПР и графика. - 2006. -№6. – С.10-16. 7. Бехер П., Травин А. TechnologiCS: опыт внедрения в ЗАО «ВолгАэро» // САПР и графика. - 2006. - №11. – С.16-19. 8. Денисов С.Ю. Комплексный подход к автоматизации процессов технологической подготовки производства – новый этап развития ОАО «НПО «Сатурн» // САПР и графика. - 2006. - №12. – С.98-104. 9. Взгляд в будущее. Итоги форума "Белые ночи САПР 2005". Доступно на http://ascon.ru/press/articles/items/?art_id=116. 10. Гореткина Е. Рынок PLM: бочка меда и ложка дегтя // PC Week/RE №45. - 2007. - Доступно на: <http://www.pcweek.ru/themes/detail.php?ID=104395>. 11. Прорыв: PLM замахнулись на популярность ERP – Доступно на <http://www.m3system.ru/pubs/plm.html>. 12. АСКОН – комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством CAD/AEC/PLM. – Доступно на <http://ascon.ru/>. 13. Product Lifecycle Management. Vendors in the PLM World. – Доступно на <http://www.johnstark.com/epwl4.html>. 14. Норенков И.П., Кузьмин П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 320 с. 15. Research and Advice for Supply Chain and IT Executives. – Доступно на <http://www.amresearch.com/>. 16. Индустриальная группа «УПЭК». Комплексная система автоматизации. – Доступно на <http://www.upec.ua/about/ksa2008.html>.

Поступила в редколлегию 04.06.2009

УДК 539.3

Л. А. ПАРХОМЕНКО, асс. каф. «Высшая математика», Харьковский гос. университет питания и торговли, г. Харьков

ДИФфузионные напряжения в трубчатой мембране
реактора для производства синтетического газа