

УДК 004.415:005.82

**Е.А. ДРУЖИНИН, С.А. КОБА, Т.Ю. ПАВЛЕНКО**

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

## **АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ**

*Проведена декомпозиция задачи формирования единой сети процессов с учетом различных форм организации работ и влияния факторов риска. Разработаны требования к компьютерному средству, позволяющему сформировать сеть процессов для всех этапов жизненного цикла сложной техники, учитывая итеративный характер разработки изделия. Проведен анализ существующих компьютерных средств мировых производителей, выявлены их достоинства и недостатки. Предложены описание и структура компьютерной системы, наиболее эффективно решающей поставленные задачи, а также указаны направления возможных дальнейших исследований в этой области.*

**Ключевые слова:** *сеть процессов, факторы риска, проект, ресурсы, форма организации работ, жизненный цикл, компьютерные системы.*

### **Введение**

В условиях рыночных отношений очень важной является проблема формирования плана работ проекта с учетом влияния факторов риска и различных форм организации работ.

Существующие пакеты [1 – 4] не имеют функциональных возможностей по объединению графов в соответствии с различными вариантами логики объединения в полном объеме, а также не обладают возможностью оценки влияния факторов риска на сроки и затраты с учетом необходимости перестройки структуры графа.

Современные средства планирования [5] базируются на возможностях аппарата сетевого планирования. В классических работах по теории графов [6] задаче объединения графов уделено большое внимание, однако, современные компьютерные средства не имеют функциональных возможностей решения в должном объеме.

Все перечисленные выше ограничения приводят к необходимости дальнейших исследований в данной области.

Ранее в работах Поезжаловой С.Н., Бутко А.О., Цыркова А.В. были предложены структуры и реализации подобного программного средства.

Так в работах [7-9] был предложен и разработан программный модуль, позволяющий задать структуру и параметры сложного изделия, сформировать план производства и сборки и передать его в систему планирования MS Project.

В работах Поезжаловой С.Н. [10-11] рассмотрен анализ развития инновационных проектов сложной техники, формирование плана ТПП и передача его в систему планирования MS Project.

Данные работы направлены на обеспечение операционной деятельности руководителя одного этапа жизненного цикла изделия (ЖЦИ). Для полноценного решения поставленных задач необходимо разработать механизмы и методы обеспечения операционной деятельности руководства верхнего уровня. Чтобы решение имело практическую ценность, его необходимо реализовать в виде компьютерной системы с возможностью импорта структуры изделия из известных PDM/PLM систем и возможностью интеграции с распространенными системами планирования и ERP-системами.

Целью данной статьи является анализ компьютерных средств формирования единой сети процессов, что позволит сократить сроки разработки планов и проведения анализа влияния факторов риска на технико-экономические показатели проектов за счет сокращения объемов рутинной работы менеджеров, путем расширения функциональных возможностей существующих компьютерных средств автоматизации.

### **1. Постановка задачи**

Проблема планирования и прогнозирования разработки и производства изделий сложной техники может быть декомпозирована на подзадачи.

1. Создание структуры и параметров изделия.
2. Формирование плана разработки конструкторской подготовки производства (КПП).
3. Формирование плана разработки технологической подготовки производства (ТПП).
4. Формирование плана производства, сборки.
5. Модификация плана с учетом различных видов организации работ.

6. Модифікація плану з урахуванням виникнення ризиків.

7. Оцінка строків, вартості та ресурсів отриманого плану.

Згідно з ГОСТ ISO-9000:2000 процеси необхідно представляти в вигляді єдиної мережі процесів. В реальній ситуації рішенням цих завдань займаються велика кількість спеціалістів, тому об'єднати результати їх роботи в єдину загальну картину, щоб оцінити весь проект в цілому – дуже проблематично.

Для рішення поставлених завдань з допомогою інформаційних технологій - створюються спеціалізовані комп'ютерні системи або використовується ряд готових програмних рішень, з можливістю інтеграції одне з одним. Допустимо, для рішення поставлених завдань будуть використовуватися різні системи з можливістю інтеграції, тоді час для отримання єдиного плану проекту складе

$$T = \sum_{i=1}^n (T_i^{\text{осв}} + T_i^{\text{внедр}} + T_i^{\text{вып}} + T_{i-1,i}^{\text{пер}}),$$

де  $T$  – загальний час;

$T_i^{\text{осв}}$  – час освоєння  $i$ -ї системи спеціалістом;

$T_i^{\text{внедр}}$  – час впровадження  $i$ -ї системи на підприємстві;

$T_i^{\text{вып}}$  – час виконання спеціалістом завдання з допомогою  $i$ -ї системи;

$T_{i-1,i}^{\text{пер}}$  – час передачі результатів з  $(i-1)$ -ї системи в  $i$ -ю систему,  $T_{0,1}^{\text{пер}} = 0$  т.к. в першу систему не поступають дані з іншої системи;

$i$  – кількість досліджуваних систем ( $i = \overline{1, n}$ ).

Мінімізувати час розробки, моделювання та аналізу єдиного плану можна за рахунок зменшення кількості систем. В ідеалі час отримання єдиного плану проекту з допомогою однієї системи може бути представлений в вигляді

$$T = T^{\text{осв}} + T^{\text{внедр}} + T^{\text{вып}}.$$

Час освоєння та впровадження такої системи більше, ніж у більш простих систем окремо, однак значно менше, ніж сумарний час освоєння та впровадження всіх систем в ланцюжку інтеграції. Час виконання необхідних завдань приблизно рівний, а час передачі результатів в разі єдиної системи взагалі відсутній.

З сказаного вище можна зробити висновок, що вигідніше використовувати єдине засіб розробки, моделювання та аналізу плану проекту. Така комп'ютерна система повинна дозволити виконувати наступні завдання.

1. Проектувати повне множинство процесів реалізації робіт на всіх етапах ЖЦІ.

2. Ефективно об'єднувати множинства процесів за будь-яких умов.

3. Вести бібліотеку стандартних та користуваческих множинств.

4. Накладувати на єдину мережу множинство процесів зниження ймовірності та усунення наслідків проявлення факторів ризику.

5. Моделювати різні варіанти виконання процесів з динамічно змінюючою структурою проекту.

6. Аналізувати строки, вартість та ресурси проекту.

7. Мінімізувати кількість спеціалістів та автоматизованих робочих місць для рішення всього комплексу завдань.

Для створення комп'ютерної системи, яка володіє всіма вищеперерахованими можливостями, необхідно проаналізувати можливості наявних пакетів для отримання найбільш ефективного рішення.

## 2. Аналіз програмних засобів для рішення поставленої задачі

Для рішення даного ряду завдань не існує єдиної комп'ютерної системи. Світові виробники комп'ютерних систем розробили засоби, які дозволяють вирішити ряд з поставлених завдань. Основні класи комп'ютерних систем: PDM (Project Data Management), PLM (Project Lifecycle Management) системи, які більш або менш успішно вирішують завдання створення структури складного виробу, формування деяких процесів розробки, виробництва та документообігу; ERP (Enterprise Resource Planning), системи планування ресурсів підприємства на будь-якому етапі ЖЦІ; системи планування – дозволяють вручну сформувати план робіт будь-якої складності; системи аналізу ризику – інтегруються в системи планування або мають свій модуль планування. Багато представителів систем даних класів мають великий набір інших корисних функцій, однак в цій статті їх функції розглянуті тільки з точки зору рішення поставлених завдань.

### 2.1. Аналіз PDM/PLM/ERP систем

Існує достатньо велика кількість провідних світових виробників програмного забезпечення, які займаються випуском систем підтримки проектних даних виробу та забезпеченням підтримки ЖЦІ. В цій статті будуть розглянуті не всі комп'ютерні системи, однак найбільш типові та широко відомі PDM Step Suite, Lotsia

PDM/PLM/ERP, Search PDM, Enovia PLM.

Система **PDM Step Suite** [1] позволяет осуществить ввод данных о структуре изделия, создание конструкторско-технологических спецификаций, выполнение расцеховки и генерацию данных для ТПП, управление бизнес-процессами с возможностью создания шаблонов процессов и заданием условий переходов между ними. Также система позволяет осуществлять моделирование плана работ на уровне проектов и под проектов в ручном режиме с оценкой сроков и стоимости. Система PDM Step Suite не позволяет осуществить автоматическое моделирование единого плана процессов, а учесть возможность различных форм организации работ и влияния факторов рисков можно лишь вручную.

Российскими разработчиками также была создана другая компьютерная система класса PLM - **Lotsia PDM/PLM/ERP** [2]. Данная система осуществляет все работы над структурой изделия, созданием конструкторских спецификаций, и ТП. В Lotsia ERP автоматически подгружается структура изделия и ТП, и автоматически составляется план производства и сборки, а также расчет необходимых ресурсов и сроков выполнения. Компьютерная система также обладает возможностью импорта и экспорта структуры проекта в систему планирования MS Project. Данная система не позволяет осуществить планирование процессов разработки плана КПП и ТПП. Учесть возможность различных форм организации работ и влияния рисков можно лишь вручную на этапе производства.

Белорусской компанией Интермех разработан комплекс компьютерных систем с возможностью интеграции друг с другом [3]. Комплекс позволяет

решать следующие задачи: разработка конструкторской и технологической документации; управление структурой изделия; создание ТП; планирование, аналогично по функциям MSProject; экспорт/импорт XML для интеграции подсистем между собой. Одним из достоинств данного комплекса является большое количество дополнительных систем, с которыми возможна интеграция. Таким образом, с помощью этого комплекса систем можно решить большое количество задач, но и количество необходимых модулей комплекса соответствующее.

Одна из наиболее современных и многофункциональных компьютерных систем - **Enovia PLM** от компании Dassault Systemes [4]. Этот комплекс может включать в себя большое количество компонент, например: разработка конструкторских и технологических спецификаций; оценка сроков и цен производства, формирование плана производства; формирование и отслеживание плана разработки и проектирования изделия; отслеживание и установление графика работ по проекту, установление возможных рисков, их вероятности и влияния на длительность проекта. Среди прочих функций комплекс обладает большими возможностями по созданию и импорту структуры изделия, анализу ресурсов и интеграцией с системами бизнес-планирования.

Был проведен сравнительный анализ систем, результаты которого представлены в табл. 1. Так как ERP системы и системы планирования в основном занимаются задачами организационного характера по построению плана работ и распределению ресурсов, то из подробного анализа они были исключены.

По результатам анализа видно, что системы справляются с задачами создания структуры изделия,

Таблица 1

Сравнительный анализ PDM/PLM систем

Наименование системы	Создание структуры	Формирование плана разработки КПП	Формирование плана разработки ТПП	Формирование плана производства и сборки	Различные виды организации работ	Анализ рисков	Оценка ресурсов и сроков	Интеграция с системами планирования и анализ рисков
PDM Step Suite	+	вручную	вручную	вручную	вручную	вручную	базовые функции	MS Project (без обмена ресурсами)
Lotsia PDM	+	-	-	автоматически	вручную	вручную	+	MS Project (без обмена ресурсами)
Search PDM	+	вручную	вручную	интеграция с др. системами	вручную	вручную	интеграция с др. системами	Lynx Sys-Pro, SAP
Enovia PLM	+	вручную	вручную	автоматически + интеграция с др. системами	вручную	базовые функции	+	+

однако не имеют средств для автоматизации планирования работ по КПП и ТПП изделия, либо обладают данными функциями, но необходимо вручную формировать шаблоны процессов для каждой детали. С задачей автоматизации планирования работ по производству и оценке необходимых сроков и ресурсов хорошо справляются практически все системы. Ни одна из систем не обладает автоматическими функциями по изменению форм организации работ по разработке и производству, необходимо вручную перестраивать план, что является очень трудоемким и субъективным процессом.

Среди систем видно единое направление на интеграцию с известными системами планирования, поэтому данную функцию поддерживают все производители.

В целом системы снабжены огромным количеством функций, однако провести планирование процессов разработки и производства в единой среде с учетом рисков и различных видов организации работ не представляется возможным. С этой задачей могут справиться системы планировщики и анализаторы рисков.

ERP-системы (Система планирования ресурсов предприятия) широко представлены на отечественном и зарубежном рынке программных продуктов. Для их рассмотрения были взяты две системы: IFS ERP (Швеция) и Lotsia ERP (Россия). Данные системы обладают возможностью интеграции с PDM/PLM системами и имеют модули для планирования разработки продукта, производства, сборки, контроля качества, работой со складом, клиентом и т.д. Системы поддерживают различные варианты производства и вариантов торговли (сбыта).

## 2.2. Анализ систем планирования и модулей моделирования и анализа рисков

Для решения поставленных задач так же могут быть использованы системы планирования. Стандартная система имеет следующие функции: управление списком задач, управление порядком выполнения, возможность параллельного выполнения, управление сроками выполнения, ресурсами проекта и т.д. Такие системы позволяют самостоятельно построить план любого вида организации работ, для любого этапа проекта. Для получения наиболее оптимального с экономической точки зрения решения выгодно использовать встраиваемые модули моделирования и анализа рисков, а не самостоятельные системы. В статье рассмотрены следующие системы планирования Microsoft Project, GanttProject, OpenProj, Open Workbench, TaskJuggler.

Системы планирования [5] поддерживают формирование плана любых этапов ЖЦИ, однако они никак не связаны со структурой изделия, поэтому построение плана выполняется менеджером практически полностью вручную. Некоторые из систем имеют модуль расширения для анализа рисков. Например система MS Project имеет модуль расширения RiskyProject, который как может быть интегрирован в систему так и работать отдельно.

Модуль моделирования и анализа рисков RiskyProject позволяет задать в системе планирования риски, присвоить их ресурсу либо задаче, указать вероятность риска а также эффект, среди перечисленных эффектов система допускает изменение цены, сроков, повтор задачи. RiskyProject проводит моделирование и позволяет оценить чувствительность проекта к каждому из рисков. Среди недостатков системы можно отметить отсутствие возможности изменения структуры проекта в случае проявления факторов риска.

## 3. Решение поставленной задачи

По результатам анализа видно, что поставленные задачи решаемы и попытки их решить активно ведутся мировыми экспертами, что доказывает их высокую актуальность. Однако методы решения задач далеко не везде автоматизированы и в должной мере взаимосвязаны. В проанализированных системах мировых производителей не обнаружено полностью реализованных методов и функций формирования единого плана процессов разработки и производства с учетом различных форм организации работ и влияния факторов риска.

Также для выполнения поставленной задачи в наибольшем объеме используя готовые программные решения пришлось бы использовать несколько комплексов компьютерных систем, что значительно повышает стоимость программного решения, время освоения и внедрения.

Таким образом, возникает необходимость в унифицированном средстве планирования, моделирования и анализа проекта как единой сети процессов, с возможностью интеграции с широко распространенными системами обеспечения ЖЦИ.

В статье предложена структура этого унифицированного средства (рис. 1). Она состоит из нескольких модулей, в которые поступают данные из систем планирования и поддержки ЖЦИ, после обработки данных и моделирования конечный результат передается обратно в эти системы. Для реализации модуля объединения графов необходимо разработать математические модели и методы.

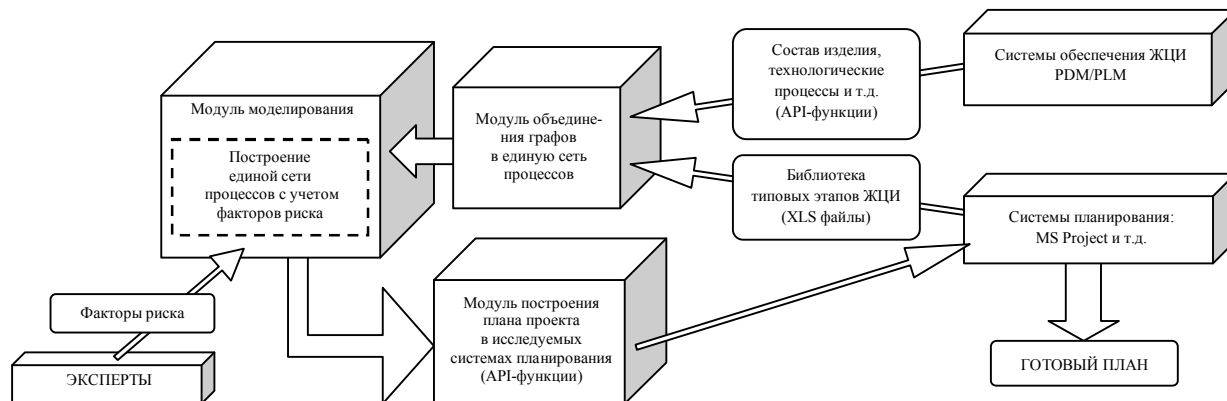


Рис. 1. Структура компьютерной системы

## Выводы

В данной работе проведен анализ актуальной научно-прикладной задачи планирования разработки и производства изделий сложной техники. Проведена декомпозиция задачи верхнего уровня на составляющие и рассмотрены современные существующие средства их решений и направления возможных решений. В ходе анализа была обоснована необходимость и актуальность дополнительных исследований в области формирования плана разработки и производства изделий сложной техники на основе его структуры. Была выявлена необходимость автоматизации процессов построения плана в зависимости от различных форм организации работ и влияния факторов риска.

При сравнении различных PDM/PLM систем, были выявлены и описаны их недостатки при решении поставленной в статье задачи. Был проведен обзорный анализ систем планирования и модулей анализа риска.

Это указывает на необходимость разработки новых методов и функций для её решения.

Научная новизна дальнейшей работы над поставленной задачей заключается в разработке методов и моделей преобразования информации, учитывающих структуры и форматы представления данных наиболее распространенных систем планирования и организационного управления, и базирующихся на основных положениях теории преобразования матриц, технологиях работы с API-функциями и положениях теории прогнозирования с учетом вероятностного характера проявления факторов риска.

Дальнейшие исследования в данном направлении должны значительно облегчить и автоматизировать работу руководящего менеджера верхнего уровня предприятия позволив: выбирать наиболее подходящую форму организации работ предприятия; оценивать сроки и ресурсы проекта; анализи-

ровать чувствительность проекта к различным факторам риска и заранее формировать механизмы предупреждения и устранения последствий проявления факторов риска; на основании их анализа структурировать страховые резервы обеспечивающих ресурсов.

## Литература

1. Бороздин, Д.Н. Управление данными об изделии в ходе жизненного цикла изделия [Текст] / Д.Н. Бороздин // Качество и ИПИ(CALS)-технологии. – 2004. – № 1. – С. 63 – 66.
2. Родионов, А. Планирование ресурсов и финансовое бюджетирование в Lotsia PLM [Текст] / А. Родионов // САПР и Графика. – 2006. – № 11. – С. 12 – 14.
3. Жуков, Д. Intermech Professional Solutions — новое поколение систем ИНТЕРМЕХ [Текст] / Д. Жуков // САПР и Графика. – № 11. – 2008. – С. 8 – 10.
4. Аведьян, А. 3DVIA Composer + ENOVIA SmartTeam — PLM-решение для разработки интерактивной технической документации [Текст] / А. Аведьян, А. Петухов, Е. Федотов // САПР и Графика. – 2008. – № 11. – С. 8 – 10.
5. Сингаевская, Г.И. Управление проектами в Microsoft Project 2007 [Текст] / Г.И. Сингаевская. – К.: Диалектика, 2008. – 800 с.
6. Цхай, С.М. Задачи календарного планирования на сети сложной структуры [Текст] / С.М. Цхай. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1991. – 148 с.
7. Бутко, А.О. Средства организации взаимодействия САПР и систем сопровождения проектов [Текст] / А.О. Бутко, А.В. Цырклов // Управление качеством: материалы третьей Всероссийской научно-практической конф. Москва, 10 – 11 марта 2004 г. – М., 2004. – С. 37 – 38.
8. Бутко, А.О. Автоматизация формирования плана проекта на основе данных структурно-параметрического моделирования [Текст] / А.О. Бутко, О.В. Козлова, А.В. Цырклов // Применение ИПИ –

технологий в производстве: тез. док. Первой Всероссийской научно-практической конф. Москва, 3 – 5 октября 2003 г. – М., 2003. – С. 56 – 57.

9. Селиверстов, А.И. Инструментальные средства организации взаимодействия ПМК СПМ и систем автоматизации проектных работ [Текст] / А.И. Селиверстов, В.Ю. Иванов, А.О. Бутко // Применение ИППИ-технологий в производстве: тез. док. Второй Всероссийской научно-практической конференции. Москва, 17 – 19 октября 2004 г. – М., 2004. – С. 35 – 36.

10. Селиванов, С.Г. Автоматизированная система научных исследований высоких и критических технологий авиадвигателестроения [Текст] / С.Г. Селиванов, С.Н. Поезжалова // Вестник УГАТУ. – 2009. – Т. 13, №1. – С. 112 – 120.

11. Павличич, С.П. Метод системного анализа инновационных проектов развития авиационной техники и технологий [Текст] / С.П. Павличич, С.Г. Селиванов, С.Н. Поезжалова // Вестник УГАТУ. – 2008. – Т. 10, №2. – С. 3 – 11.

Поступила в редакцию 2.06.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник Научного центра Воздушных Сил Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### АНАЛІЗ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖИ ПРОЦЕСІВ РОЗРОБКИ І ВИРОБНИЦТВА ВИРОБІВ СКЛАДНОЇ ТЕХНІКИ

*Є.А. Дружинін, С.О. Коба, Т.Ю. Павленко*

Проведена декомпозиція задачі формування єдиної мережі процесів з урахуванням різних форм організації робіт та впливу факторів ризику. Розроблено вимоги до комп'ютерного засобу, що дозволяє сформува-ти мережу процесів для всіх етапів життєвого циклу складної техніки, враховуючи ітеративний характер розробки виробу. Проведено аналіз існуючих комп'ютерних засобів світових виробників, виявлено їх переваги і недоліки. Запропоновані опис та структура комп'ютерної системи, яка найбільш ефективно вирішує поставлені завдання, а також вказані напрями можливих подальших досліджень у цій області.

**Ключові слова:** мережа процесів, фактори ризику, проект, ресурси, форма організації робіт, життєвий цикл, комп'ютерні системи.

### THE ANALYSIS OF COMPUTER ENVIRONMENT FOR ORGANIZING OF COMPLEX PRODUCTS DEVELOPMENT AND PRODUCTION PROCESSES NETWORKS

*E.A. Druginin, S.A. Koba, T.Y. Pavlenko*

The decomposition of the processes unified network organizing problem is carried out, taking into account the different forms of tasks organization and the impact of risk factors. The requirements for the computer environment of processes network organizing for all stages of the complex product life cycle are developed, taking into account the iterative nature of product development. An analysis of existing computer environment producers is carried out, their strengths and weaknesses are also identified. A description and structure of a computer system that most effectively solves the problem are suggested, and identifies possible directions for further research in this area.

**Key words:** a network of processes, risk factors, projects, resources, forms of tasks organization, life cycle, a computer system.

**Дружинин Евгений Анатоліевич** – д-р техн. наук, професор, зав. каф. «Інформаційних технологій проектування ЛА», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Коба Сергей Александрович** – ведущий инженер каф. «Інформаційних технологій проектування ЛА», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

**Павленко Татьяна Юрьевна** – ассистент каф. финансов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.