

## **Анализ существующих методов управления содержанием проектов автоматизации работ конструкторского и технологического проектирования**

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

Представлены проекты реинжиниринга систем информационной поддержки процессов создания изделий машиностроения. Детально рассмотрен экспериментальный проект реинжиниринга, дальнейшее развитие получили методы расчета конструкторско-технологической сложности и трудоемкости выполнения работ на этапе конструкторско-технологической подготовки производства.

**Ключевые слова:** инженерный консалтинг, экспериментальный проект, конструкторско-технологическая сложность изделия, трудоемкость.

Современные инструменты, которые способны эффективно воздействовать на деятельность машиностроительного предприятия, должны сочетать передовые научные достижения в области машиностроения и специальные методологические приемы, направленные на практическое создание на предприятии адекватной рынку информационно-технологической среды. Обеспечить высокие темпы работ с сохранением высоких требований к качеству большой номенклатуры выпускаемой продукции очень сложно без использования систем автоматизированного проектирования (САПР), позволяющих интегрировать процессы проведения проектных действий, инженерного анализа и подготовки производства на основе непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделия (CALStехнологий). Объективным препятствием повышению качества выпускаемых изделий и сокращению сроков их разработки является несоответствие между сложностью проектируемых объектов и методами и средствами их ручного проектирования. Применение математических методов, программ и ЭВМ в процессе проектирования способствует повышению технического уровня и качества проектируемых объектов, сокращению сроков их разработки и освоения в производстве [1]. При этом сложность внедрения единого информационного пространства на предприятии заключается в том, что новые информационные технологии должны осваиваться на машиностроительном предприятии с использованием всех видов ресурсов без влияния на качество выполняемой операционной деятельности. Так как основное направление повышения эффективности – внедрение САПР, то необходимо определить степень автоматизации и соответствующую структуру программно-аппаратных средств. Это и определило цель, объект, предмет и задачи исследования.

Цель исследования – повышение эффективности процесса проектирования сложной техники.

Объект – процесс создания сложной техники.

Предмет – методы и модели автоматизации процессов проектирования.

Существуют различные степени внедрения САПР – от ручного проектирования до внедрения технологии управления жизненным циклом изделий (PLM). На сегодняшний день не каждое предприятие может осуществить полную автоматизацию, так как внедрение современных информационных технологий в проектиро-

вание – продолжительный и дорогостоящий процесс. Поэтому необходимо выполнить комплекс работ по выбору наиболее рационального варианта интеграции САПР и формированию комплекса технических и программных средств для ее реализации.

При решении поставленных задач для промышленных предприятий необходимо обосновать оптимальный вариант средств автоматизации проектирования и производства. В работе [2] предлагается создать и определить содержание (структуру) и направления деятельности нового организационного образования – инженерно-консалтинговой фирмы. Ключевым элементом концепции инженерного консалтинга – методология «интеллектуального производства».

Важнейшие признаки и компоненты инженерного консалтинга:

1. Наличие электронной модели организации процессов разработки и производства изделий, включающей в себя не только технические параметры изделий, но и технологические и экономические показатели, связанные с подготовкой и выпуском продукции.

2. Единая система нормативов на всех этапах процессов подготовки производства, возведенная в ранг стандарта предприятия.

3. Обязательная корпоративная (по всей организационной структуре) сертификация специалистов предприятия по единой системе нормативов.

4. Трехэтапная система планирования и контроля инвестиций в развитие предприятия: детальная оценка предстоящих инвестиций и организационных преобразований на основе моделирования новых изделий и процессов их производства; оценка соответствия фактического результата от инвестиций по внедрению новых технологий по плановым показателям; регулярный мониторинг соответствия текущего фактического результата при изготовлении новых изделий нормативным показателям.

5. Система контроля производства по срокам изготовления, затратам и качеству изделий.

Рассмотрим направления инженерного консалтинга. В работе [2] предложена методология, предполагающая реализацию трех проектов, характеристики которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Описание типов проектов

Название проекта	Исполнители	Суть проекта	Результат
<i>Экспериментальный проект</i>	Специалисты инженерно-консалтинговой фирмы	Определение количества функциональных задач, требующих автоматизации, проведение прогноза капитальных вложений в комплекс функциональных задач, прогноз годовых эксплуатационных затрат	Обоснование выбора необходимых аппаратных и программных средств систем автоматизированного проектирования (САПР)

Окончание табл. 1

Название проекта	Исполнители	Суть проекта	Результат
<i>Проект внедрения</i>	Специалисты инженерно-консалтинговой фирмы, специалисты машиностроительного предприятия	Внедрение программных и аппаратных средств. Определение реальных затрат капитальных вложений в комплекс. Выявление недостатков внедряемого проекта	Уточнение состава программно-аппаратных средств
<i>Индустриальный проект</i>	Специалисты машиностроительного предприятия, возможное участие специалистов инженерно-консалтинговой фирмы	Определение затрат на внедрение и отработку комплекса и реальной эффективности от внедренных средств	Функционирующее предприятие с обоснованным информационно-производственным комплексом

Методология трех проектов в процессе создания (реинжиниринга) производственной системы реализует модель, поддерживающую стратегию применения передовых технологических решений и перспективного оборудования[2].

В работе [3] описан другой метод инженерного консалтинга, состоящий из следующих основных этапов:

1. Выработка решения о необходимости автоматизации производственного процесса.
2. Анализ существующего производственного процесса и оборудования.
3. Разработка возможных вариантов и выбор оптимальной технологической схемы процесса.
4. Разработка схем возможных вариантов конструкций необходимого оборудования и выбор оптимального варианта.
5. Внедрение и эксплуатация комплекса.

Данный метод также требует модификации, так как направлен на разработку и внедрение оптимальной технологической схемы процесса, но он в недостаточной мере учитывает особенности проведения конструкторских работ.

Как видно, рассмотренные методы автоматизации требуют аналогичных действий предприятия-заказчика и консалтинговой фирмы. Наибольший интерес представляет экспериментальный этап, так как именно на этой стадии определяется необходимость и обоснование структуры комплекса программно-аппаратных средств для проводимой автоматизации.

Для этого следует выполнить такие задачи:

1. Оценка сложности разрабатываемых изделий и выбор изделия-представителя.
2. Оценка трудоемкости выполнения работ по конструкторско-технологической подготовке производства для изделия-представителя.
3. Оценка технического риска и качества принимаемых технических решений, приводящих к перепроектированию изделия-представителя.

4. Прогноз капитальных вложений на проведение реинжиниринга предприятия и годовых эксплуатационных затрат на программно-аппаратный комплекс.
5. Выбор программно-аппаратного комплекса САПР.

Особое внимание следует уделить оценке сложности разрабатываемых изделий и трудоемкости конструкторско-технологических работ, определению их временных и стоимостных характеристик.

Рассмотрим методы оценки сложности изделия.

В работе [4] при анализе машиностроительного изделия предлагается использовать коэффициент конструктивно-технологической сложности (КТС) изделия в целях создания комплекса технических решений, предназначенных для интеллектуальной поддержки процессов управления предприятием и направленных на повышение эффективности функционирования производственных систем машиностроения.

В общем случае КТС машиностроительного изделия [4] представляет собой функцию  $C = f(S, D, R, P, TP)$ , где  $S$  – множество сборочных единиц изделия;  $D$  – множество деталей изделия;  $R$  – множество отношений между структурными составляющими изделия;  $P$  – множество параметров изделия.

КТС деталесборочной единицы (ДСЕ) определяется как функция, аддитивная относительно КТС непосредственно входящих в неё ДСЕ и применяемых технологических переделов:

$$C_{ДСЕ} = \sum_{i=1}^n C_{ДСЕ i} + \sum_{j=1}^m C_{ТРj}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество ДСЕ, непосредственно входящих в данную ДСЕ;  $C_{ДСЕ i}$  – КТС  $i$ -й ДСЕ нижнего уровня;  $m$  – количество технологических переделов, применяемых к ДСЕ;  $C_{ТРj}$  – КТС, соответствующая  $j$ -му технологическому переделу, применяемому к конкретной ДСЕ. КТС технологического передела определяется в виде аддитивной функции, учитывающей сложности выделенных для конкретной ДСЕ элементов, относящихся к данному переделу:

$$C_{ТР} = \sum_{j=1}^l \left[ \sum_{i=1}^s \left[ \sum_{k=1}^{n_i} C_{Ek} \right] \right]. \quad (2)$$

В работе [4] разработан метод оценки сложности, который используется на этапе производства, когда конструкторско-технологическая подготовка уже выполнена. Таким образом, с помощью коэффициента КТС, предложенного в работе [4], можно оценить сложность готового, спроектированного изделия, но он не позволяет оценить сложность проведения проектировочных работ.

Необходимо адаптировать данный метод для оценки КТС на этапе проектирования изделия. Так как сложность изделия-представителя будут оценивать специалисты консалтинговой фирмы на основе проектов разработки изделий предприятия, то сложность  $C_{ДСЕ i}$  остается без изменений, а формула для опреде-

ления коэффициента КТС будет дополнена оценкой сложности проектных действий и поверочных расчетов:

$$C_{ДСЕ} = \sum_{i=1}^n C_{ПДДСЕ i} + \sum_{i=1}^k C_{ПР i} + \sum_{i=1}^n C_{ДСЕ i} + \sum_{j=1}^m C_{ТРj}, \quad (3)$$

где  $n$  – количество ДСЕ, непосредственно входящих в данную ДСЕ;  $C_{ПДДСЕ i}$  – сложность проектных действий, выполняемых при проектировании  $i$ -й ДСЕ;  $k$  – количество проектировочных расчетов, проводимых при проектировании изделия;  $C_{ПР i}$  – сложность проведения  $i$ -го проектировочного расчета;  $C_{ДСЕ i}$  – КТС  $i$ -й ДСЕ нижнего уровня;  $m$  – количество технологических переделов, применяемых к ДСЕ;  $C_{ТРj}$  – КТС, соответствующая  $j$ -му технологическому переделу, применяемому к конкретной ДСЕ.

Часто для определения сложности изделия используют метод оценки по аналогам [5], который требует наличия одного или нескольких готовых изделий, подобных новому. Оценку получают путем сравнения разрабатываемого изделия с предыдущими с помощью реальных показателей. Достоинство этого метода – оценка основана на фактических проектных результатах. Конечно, не всегда корректно переносить результаты предыдущих изделий на текущие, так как ограничения и условия не всегда можно переносить с предыдущего и использовать для нового изделия.

Как видно из рассмотренных работ, различные методы определения КТС применимы для различных изделий-представителей. Если выбранное изделие – единичная деталь, то достаточно использовать методы оценки по аналогам [5]. Если выбранное изделие представляет собой сложную деталесборочную единицу, то необходимо применять метод, описанный в работе [4].

Второй этап экспериментального проекта – оценка трудоемкости выполнения работ по конструкторско-технологической подготовке производства для изделия-представителя.

В работах [4, 5-7] описаны методики определения трудоемкости проектировочных работ. Можно выделить следующие методы определения трудоемкости выполнения проектных работ [6]:

- статистический;
- экспертный;
- стоимостный.

В работе [6] рекомендуется использовать стоимостный метод, базирующийся на стоимостных, нормативных и отчетно-статистических показателях. Но в условиях рыночной экономики он не позволяет однозначно определять трудоемкость проектирования и производства изделий.

Предложенная математическая модель [7] прогнозирования и расчета трудоемкости изготовления деталей машиностроения с непосредственным учетом факторов организационно-технического уровня производственной системы основана на методе оценки конструктивно-технологической сложности, позволяющем с высокой точностью рассчитывать трудоемкость изготовления машиностроительных деталей на стадиях конструкторско-технологической подготовки производства. Определить трудоемкость изготовления деталей машиностроения методом нормирования, базирующимся на оценке конструктивно-технологической

сложности деталей, можно с помощью линейной регрессионной зависимости между трудоемкостью и конструктивно-технологической сложностью детали:

$$T_j = a_j + b_j C \{ j = 1, \dots, n \}, \quad (4)$$

где  $T_j$  — трудоемкость изготовления детали в  $j$ -й производственной системе, мин;  $C$  — конструктивно-технологическая сложность, ед.;  $a_j, b_j$  — регрессионные коэффициенты зависимости трудоемкости изготовления деталей от их конструктивно-технологической сложности для  $j$ -й производственной системы.

Предложенный метод основан на статистическом материале, что позволяет применять его для определения трудоемкости типовых, подобных изделий и затрудняет использование при проектировании сложных технических конструкций, не опираясь на ранее накопленный опыт.

### **Выводы**

Проанализированы подходы к решению задачи обоснования реинжиниринга систем информационной поддержки процессов разработки и производства изделий машиностроения.

Определен круг задач консалтинговой фирмы, выполняющей работы по обоснованию структуры и состава программно-аппаратных средств систем автоматизации процессов разработки и управления производством.

Для решения этих задач предложен проектный подход. Особое внимание уделено экспериментальному проекту, где закладываются основные технические и организационные решения реинжиниринга. Так как на объем решаемых задач существенное внимание оказывает КТС разрабатываемых изделий и трудоемкость выполнения работ, то был проведен анализ методов расчета и прогнозирования их значений для моделирования процессов проектирования. Анализ показал, что для определения КТС целесообразно использовать метод аналогов и подход, изложенный в работе [4], а также метод линейной регрессии для оценки трудоемкости и временных затрат.

Для применения этих методов к решению задачи реинжиниринга систем информационной поддержки процессов проектирования и управления была проведена их адаптация в части применения их для определения коэффициентов на этапе конструкторско-технологической подготовки производства.

### **Список литературы**

1. Шаренков, С. Б. Разработка механизма выбора эффективной структуры комплекса задач САПР в промышленности: дис. канд. эконом. наук: 08.00.05. — М., 2005. — 167 с.
2. Бирбраер, Р. А. Методология реорганизации систем технической подготовки производства на основе моделей инженерного консалтинга: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.02.22. — Рос. гос. технологический ун-т им. К.Э. Циолковского (МАТИ). — М., 2009. — 35 с.
3. Баранов, В. А. Краткое описание методики автоматизации производственных процессов [Текст] / В. А. Баранов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://baranov.cjb.net/> — свободный.
4. Коршунов, А. И. Создание автоматизированных систем управления машиностроительными производствами на основе теории конструктивно-технологической

сложности: автореф дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. – Ижевский. гос. техн. ун-т. – Ижевск, 2008. – 43 с.

5. Кульдин, С. П. Генетический подход к проблеме оценки трудоемкости и предсказания сроков сдачи программного обеспечения в эксплуатацию // Современные информационные технологии и ИТ-образование: – М., 2009. – С. 114-123.

6. Рекомендации по расчету норматива трудоемкости проектирования. – М.: "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ", 1989. – 5 с.

7. Фоминых, Р. Л. Разработка автоматизированной подсистемы определения конструктивно-технологической сложности, трудоемкости изготовления деталей и организационно-технического уровня многоменклатурного производства: автореф дис. канд. техн. наук: 05.13.06. – Ижевский гос. техн. ун-т. – Ижевск, 2003. – 23 с.

**Рецензент:** д. т. н., проф., зав. каф. О.Е. Федорович, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 06.06.11

### **Аналіз існуючих методів управління змістом проектів автоматизації робіт конструкторського і технологічного проектування**

Наведено проекти реінжинірингу систем інформаційної підтримки процесів створення виробів машинобудування. Детально розглянуто експериментальний проект реінжинірингу, подальший розвиток одержали методи розрахунку конструкторсько-технологічної складності й трудомісткості виконання робіт на етапі конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

**Ключові слова:** інженерний консалтинг, експериментальний проект, конструкторсько-технологічна складність виробу, трудомісткість.

### **Analysis of existing methods of content management automation of design projects and technological design**

In this article the projects of reengineering information systems supporting the processes of creating engineering products are presented. The experimental project of reengineering was comprehensively reviewed, methods for calculating the design and technological sophistication and complexity of works at the stage of design and technological preparation of production got their further development.

**Keywords:** engineering consulting, the experimental project, design and technological complexity of products, labor-intensiveness.