

## Методика внедрения CALS-технологий на предприятиях автомобилестроения

к.т.н. проф. Кузнецова Л.В., д.т.н., проф. Олейник А.В., д.т.н., проф. Ставровский М.Е.  
МГТУ МАМИ, Минтранс России, НП Уником-сервис  
stavrov@list.ru

*Аннотация.* В статье анализируется предлагаемая методика внедрения CALS-технологий на предприятиях автомобилестроения в современных условиях.

*Ключевые слова:* жизненный цикл изделий, компьютерные технологии сопровождения, CALS-технологии.

Важнейшим направлением развития всей системы технологий в развитых странах мира является широчайшее применение компьютерных технологий сопровождения жизненного цикла изделий – CALS-технологий, реализующих стратегию CALS. Стратегия CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) - это непрерывная информационная поддержка процессов на всех стадиях жизненного цикла изделий. Под жизненным циклом (ЖЦ) изделия понимается весь период существования изделия, начиная от идеи его создания, через проектирование и производство, продажу и сервисное обслуживание, до утилизации (рисунк 1). С каждым этапом жизненного цикла связана определенная деятельность. Эта деятельность реализуется в CALS-технологии в виде рабочих потоков (Workflow). При этом во время выполнения работ порождается производственная информация, которая должна быть востребована на последующих этапах ЖЦ. Поэтому жизненный цикл можно рассматривать как последовательность прохождения информации по потокам работ в едином информационном пространстве (ЕИП).

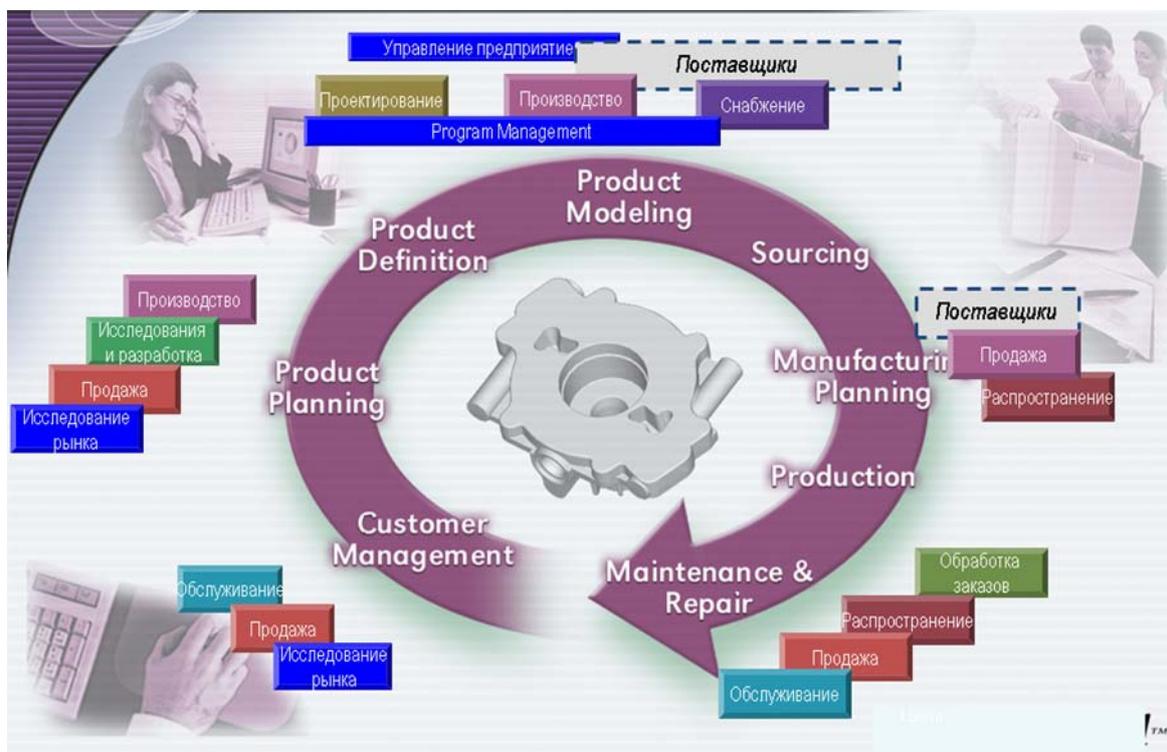
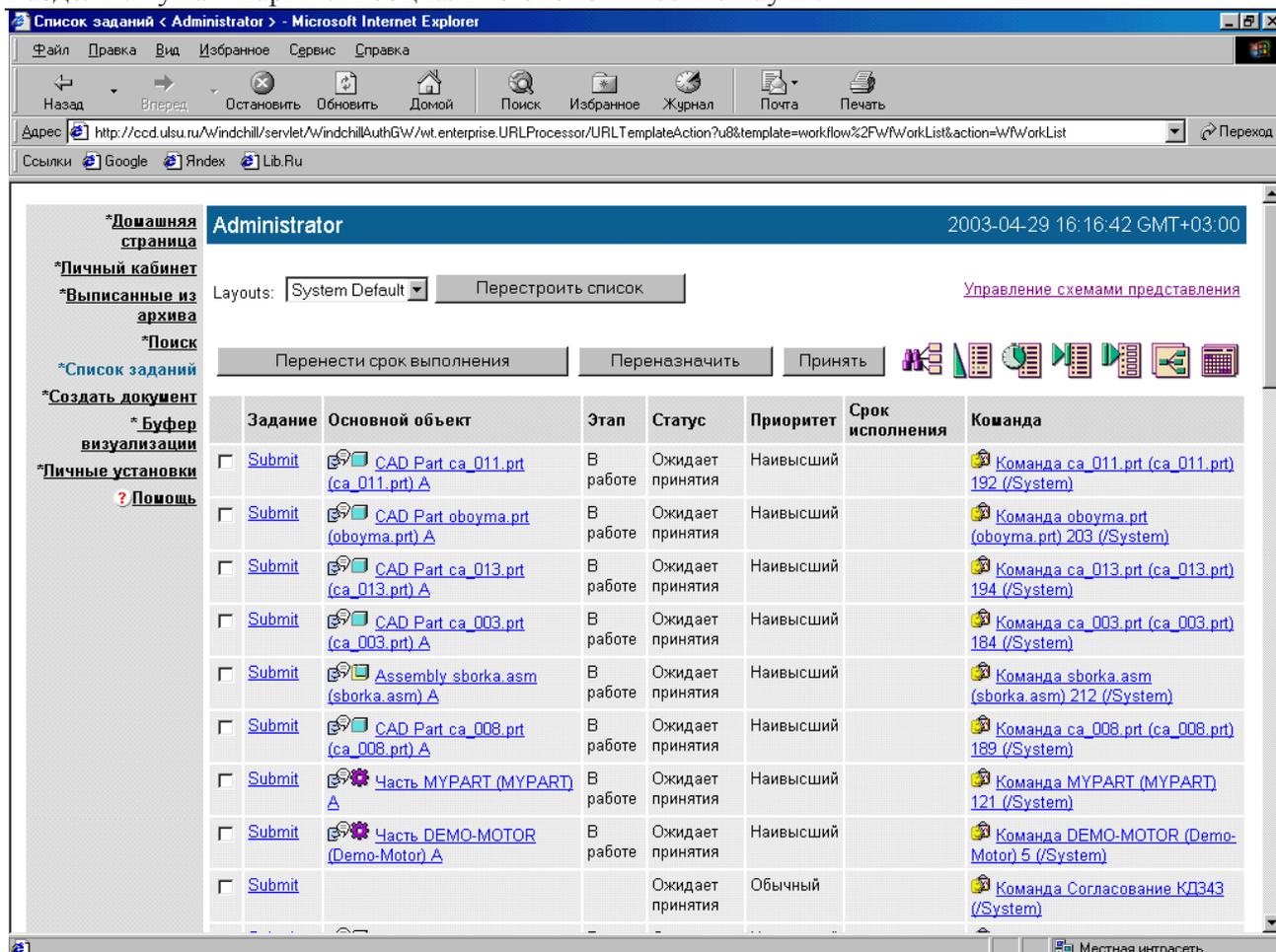


Рисунок 1 – Стадии жизненного цикла изделия

Потоки работ позволяют автоматизировать распределение работ в соответствии с зонами ответственности работников и осуществлять контроль исполнения работ по процессам. На предприятиях, внедривших систему управления качеством, как составляющую часть CALS-технологии, потоки работ записаны в стандартах предприятия (рисунок 2).

## Раздел 4. Гуманитарные и социально-экономические науки.



**Рисунок 2 – Распределение работ по исполнителям бизнес-процесса**

Реализация CALS-технологий на предприятиях позволяет получить следующие основные выгоды:

- сокращение времени выхода изделия на рынок,
- сокращение общей стоимости ЖЦ,
- повышение качества изделия,
- сохранение создания и обработки информации в существующих на предприятии программных комплексах,
- внесение в производственную деятельность новых форм представления информации – трехмерных моделей, звука, видео, запросов к базам данных,
- быстроту доступа к информации,
- сокращение затрат на бумажные технические архивы за счет перевода документов в электронный вид и т.д.

Кроме того, в настоящее время становится все более актуальной проблема организации совместной работы множества географически удаленных поставщиков и исполнителей - конструкторских бюро, серийных предприятий, поставщиков материалов и комплектующих деталей и пр. Следовательно, необходимо обеспечить интеграцию, преемственность и совместное использование информации, порождаемой на всех этапах жизненного цикла изделия, т.е. реализовать и организовать поддержку единого информационного пространства (ЕИП). В таком контексте под ЕИП понимается совокупность распределенных баз данных, которые содержат сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия и обеспечивают корректность, актуальность, сохранность и доступность данных. ЕИП может быть реализовано средствами PLM – системы. PLM – (Product Life Man-

agement) управление жизненным циклом изделия.

### **Анализ существующих на предприятиях бизнес-процессов и их реинжиниринг в соответствии с концепцией CALS**

Решение данной задачи необходимо для программирования подсистемы автоматического распределения потока работ (PLM – системы) и включает в себя:

- определение границ использования PLM – системы на этапе внедрения системы и в перспективе;
- уточнение перечня информационных объектов, которые будут находиться под управлением PLM-системы;
- выявление этапов ЖЦ, определение наименований этапов и критериев перехода с этапа на этап;
- выявление и формальное описание бизнес-процессов ЖЦ для каждого из объектов производства;
- анализ полученной информации и предложения по реинжинирингу бизнес-процессов на основе использования CASE - технологий.

### **Разработка жизненного цикла автомобиля**

Жизненный цикл автомобиля – время от начала оформления идеи и заказа на изготовление до окончания физического существования последнего экземпляра этого автомобиля.

Основные составляющие жизненного цикла серийного производства автомобилей следующие:

- 1) маркетинговые исследования потребностей рынка;
- 2) техническая и экономическая экспертиза проекта;
- 3) опытно-конструкторская работа;
- 4) подготовка производства автомобиля на заводе-изготовителе серийной продукции;
- 5) собственно производство и сбыт;
- 6) логистическая поддержка;
- 7) утилизация автомобилей.

Основные параметры, характеризующие границы стадий жизненного цикла изделия, приведены в таблице 1.

Целесообразно в ходе управления жизненным циклом изделия опираться на систему контрольных точек цикла. На всех контрольных точках анализируют отклонения качественных и количественных параметров изделия от проектных значений по техническим и экономическим критериям и вырабатывают соответствующие решения по критерию “эффект-затраты”. Количество контрольных точек (КТ) зависит от характера изделия:

КТ–1 – решение о начале проекта;

КТ–2 – окончание технического проекта (решение о разработке рабочей документации и изготовлении опытного образца);

КТ–3 – окончание ОКР;

КТ–4 – окончание пробного маркетинга (принятие решения о начале серийного производства и коммерческой реализации изделия);

КТ–5 – оценка качества серийно выпускаемой продукции (решение о повышении качества и надежности);

КТ–6 – оценка необходимости обновления или модернизации продукции;

КТ–7 – оценка оптимальности методов сбыта продукции;

КТ–8 – оценка целесообразности и методов капитального ремонта изделий в процессе эксплуатации;

КТ–9 – оценка целесообразности снятия изделия с производства;

КТ–10 – снятие изделия с эксплуатации и передача его на утилизацию.

Проведение ОКР можно рассматривать как основную часть конструкторской подготовки производства (КПП) и частично технологической подготовки производства (ТПП), а соб-

Раздел 4. Гуманитарные и социально-экономические науки.

ственно подготовку производства на серийном заводе как окончание КПП, проведение ТПП, а также организационной подготовки производства (ОПП). Таким образом, ЖЦ на различных серийных предприятиях может отличаться. Длительности всех стадий ЖЦ автомобиля оказывают значительное влияние на его экономическую эффективность. Особое значение имеет сокращение сроков КПП и ТПП, за счет распараллеливания выполнения отдельных работ в рабочих потоках.

Таблица 1

**Границы стадий жизненного цикла изделия**

<i>Стадия</i>	<i>Начало стадии</i>	<i>Окончание стадии</i>
Маркетинговые исследования рынка	Заключение договора на проведение исследований	Сдача отчета по результатам исследований
Генерация идей и их фильтрация	Сбор и фиксирование предложений по проектам	Окончание отбора проектов-конкурентов
Техническая и экономическая экспертиза проектов	Комплектация групп оценки проектов	Сдача отчета по экспертизе проектов, выбор проекта-победителя
ОКР	Утверждение ТЗ на ОКР	Наличие комплекта конструкторской документации, откорректированной по результатам испытаний опытного образца
Подготовка производства на заводе-изготовителе	Принятие решения о серийном производстве и коммерческой реализации автомобилей	Начало установившегося серийного производства
Собственно производство и сбыт	Продажа первого серийного образца автомобиля	Поставка потребителю последнего экземпляра автомобиля
Логистическая поддержка	Получение потребителем первого экземпляра автомобиля	Снятие с эксплуатации последнего экземпляра автомобиля
Утилизация	Момент списания первого экземпляра автомобиля с эксплуатации	Завершение работ по утилизации последнего автомобиля, снятого с эксплуатации

Решение этих задач связано с работой в условиях CAD/CAE/CAM технологий (Computer Aided Design/ Engineering/ Manufacturing – компьютеризованные проектирование/ инженерный анализ/ производство), как составляющих CALS-технологий, а также в использовании организационных методов (развитие технического обеспечения, автоматизации, средств планирования, функционально-стоимостного анализа, и т.д.) в ЕИП.

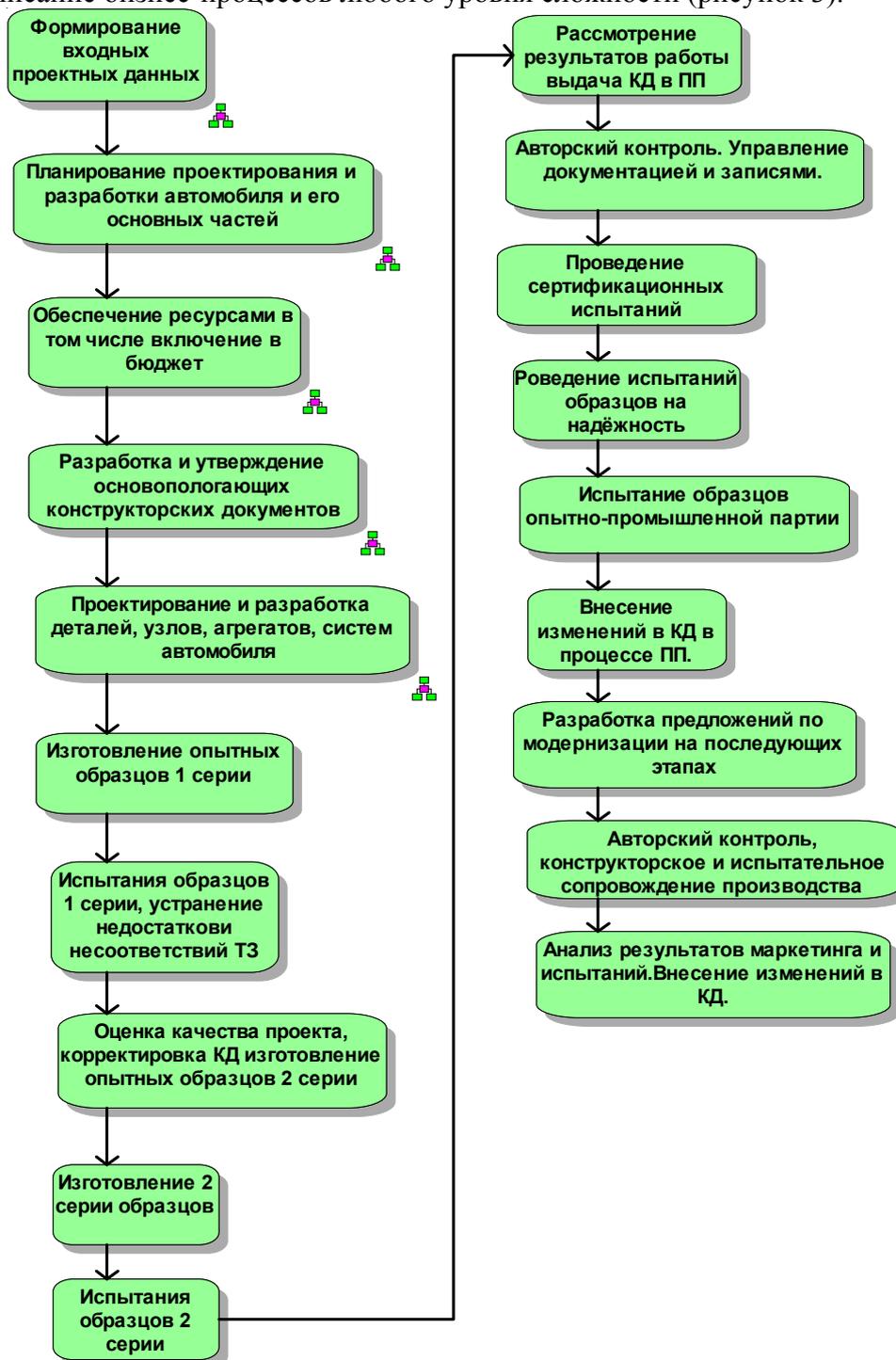
Рассмотрим методику перехода автомобилестроительных предприятий к работе в ЕИП с применением CALS-технологий.

**Описание и декомпозиция жизненного цикла «Проектирование и разработка автомобиля»**

Процесс «Проектирование и разработка автомобиля» (ПРА) – это проектирование и разработка, как новой (перспективной), так и модернизированной автомобильной техники. ПРА является одним из основных процессов жизненного цикла продукции автомобилестроительных предприятий. Для формализованного описания процессов ЖЦ могут быть применены различные нотации, необходимые для формализованного описания процессов и подпроцессов предприятий с целью дальнейшего применения метода системного анализа — наиболее эффективного метода, применяемого при построении модели деятельности предприятия.

Основная идея такого описания состоит в построении при помощи графических мето-

дов системного анализа совокупности моделей различных аспектов деятельности предприятия, которые дают возможность управленцам и аналитикам получить ясную общую картину взаимодействия бизнес-процессов предприятия для дальнейшего их описания в PLM-системе в виде рабочих потоков. Для решения такой нетривиальной задачи одной из наиболее перспективных нотаций является система ARIS, позволяющая производить детальное функциональное описание бизнес-процессов любого уровня сложности (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Блок-схема «Проектирование и разработка автомобилей», выполненная в системе ARIS (процесс верхнего уровня декомпозиции)**

В данном случае ПРА состоит из 19 подпроцессов, хотя следует учитывать, что деление на подпроцессы в определенной степени условно и может варьироваться в зависимости от

положений стандартов предприятий.

В таблице 2 представлен перечень подпроцессов и указаны их владельцы – т.е. отдельные исполнители или подразделения, ответственные за выполнение работ по подпроцессу.

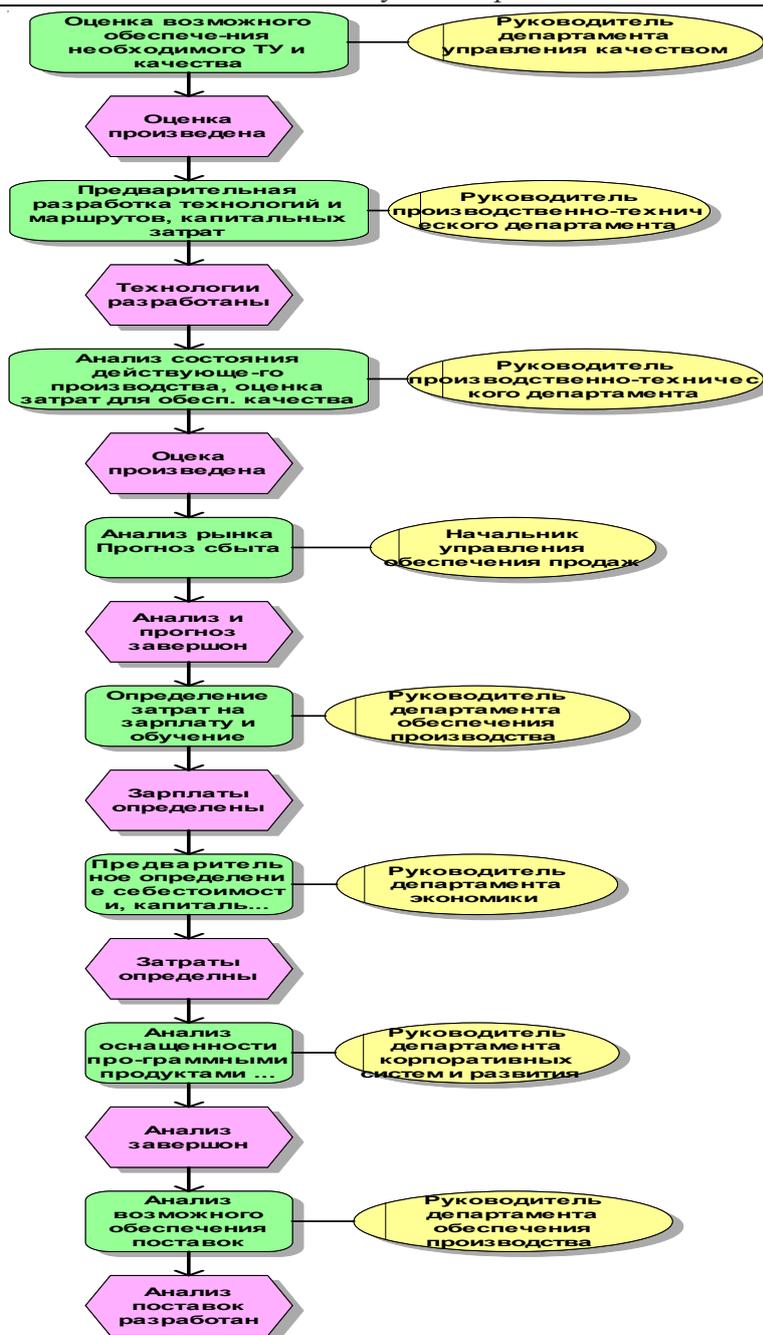
Таблица 2

**Подпроцессы ПРА и их владельцы**

Наименование	Владелец
Формирование входных проектных данных	Главный конструктор
Планирование проектирования и разработки	Руководитель проекта
Обеспечение ресурсами	Начальник отдела планирования и экономики УГК
Разработка основополагающих конструкторских документов	Руководитель проекта
Проектирование и разработка	Руководитель проекта
Изготовление опытных образцов I серии	Начальник цеха опытного производства (ЦОП)
Испытания образцов I серии	Начальник испытательного комплекса (ИК)
Технико-экономическая оценка качества проекта	Главный конструктор
Изготовление образцов II серии	Начальник ЦОП
Испытания образцов II серии	Начальник ИК
Технико-экономическая оценка проекта. Выдача КД в подготовку производства	Главный конструктор
Авторский контроль. Управление документацией и записями	Руководители подразделений УГК
Проведение сертификационных испытаний	Зам. главного конструктора
Продолжение испытаний опытных образцов на надежность	Начальник ИК
Испытания образцов опытно-промышленных партий	Начальник ИК
Внесение изменений в КД в процессе подготовки производства.	Руководители конструкторских подразделений УГК
Разработка предложений по модернизации на последующих этапах. Управление документацией и записями	Руководитель проекта
Авторский контроль, конструкторское и испытательское сопровождение производства	Руководители подразделений УГК
Анализ результатов оперативного маркетинга, результатов испытания образцов опытно-промышленных партий, отзывов потребителей. Внесение изменений в КД	Главный конструктор

На рисунке 4 дано формализованное функциональное описание подпроцесса «Разработка и утверждение основополагающих конструкторских документов» (таблица 2), выполненного на более низком уровне декомпозиции, чем на рисунке 3 в системе ARIS. Выходами данного подпроцесса являются техническое задание (ТЗ), дизайн-проект в эскизах и технико-экономическое обоснование (ТЭО). Заметим, что утвержденное ТЗ является основополагающим документом для всей последующей работы.

Аналогично подпроцессу, представленному на рисунке 4, описываются все подпроцессы, входящие в процесс верхнего уровня (рисунок 3). При этом становится возможным анализ и оценка необходимых для выполнения всего процесса ресурсов: кадровых, материальных, энергетических и т.п.



**Рисунок 4 – Подпроцесс «Разработка и утверждение основополагающих конструкторских документов» до оптимизации (внесения изменений)**

Для последующего анализа разработанных процессов потребуются применение математического аппарата теории графов - сетевой анализ с применением метода прогнозного графа в сочетании с элементами теории вероятности.

#### **Применение методов сетевого анализа.**

Эти методы позволяют осуществить анализ процессов, которые включают в себя большое число взаимосвязанных операций. При этом можно определить вероятную продолжительность выполнения работ, их стоимость, возможные размеры экономии времени или денежных средств, а также выполнение каких операций нельзя отсрочить, не задержав при этом срок выполнения проекта в целом

Анализ любого подпроцесса требует выделения ряда отдельных работ (операций), составляющих рабочий поток бизнес-процесса, составляющих логическую схему. Под опера-

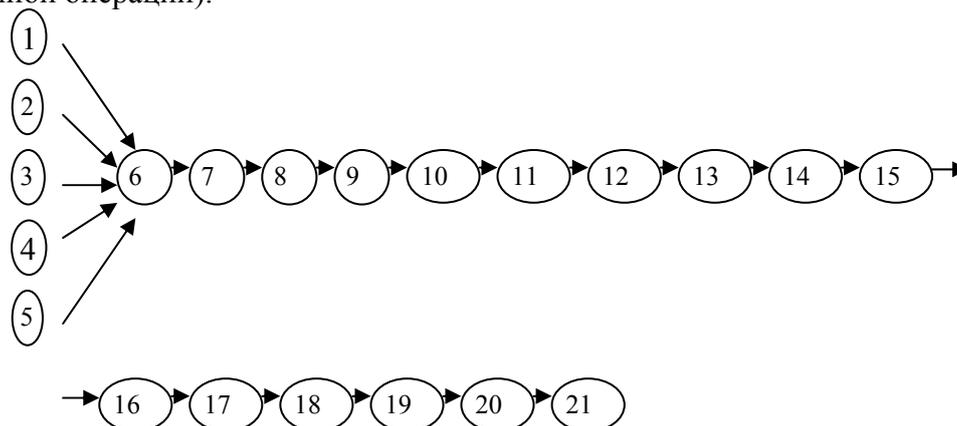
цией здесь понимается деятельность, выполнение которой требует затрат временных и иных ресурсов.

Далее производится оценка продолжительности выполнения каждой операции; составление графа выполнения подпроцесса и выделение работ, которые определяют завершение выполнения процесса в целом.

При оценке резервов времени удобно использовать два вспомогательных понятия:

*раннее окончание* – срок, раньше которого нельзя закончить операцию (равно раннему началу плюс продолжительность операции);

*позднее начало* – срок, позже которого нельзя начинать операцию, не увеличив общую продолжительность процесса (равно позднему окончанию минус продолжительность данной операции).



**Рисунок 5 – Построение сетевого графа подпроцесса «Разработка и утверждение основополагающих конструкторских документов»**

Сетевой граф содержит конечное число событий. Движение осуществляется в направлении стрелок (работ), никакое предшествующее событие не может получить номер, больший, чем любое последующее. Работа обычно кодируется номерами событий, между которыми они заключены, то есть парой  $(i, j)$ , где  $i$  – номер предшествующего события,  $j$  – номер последующего события.

В одно и то же событие могут входить (выходить) одна или несколько работ. Поэтому свершение события зависит от завершения самой длительной из всех входящих в него работ. Взаимосвязь между работами определяется тем, что начало последующей работы обусловлено окончанием предыдущей. Последовательные работы и события формируют цепочки (пути), которые ведут от исходного события сетевого графа к завершающему. Граф, не содержащий циклов и имеющий только один исток и только один сток, называется направленным графом. Сетевой граф есть ориентированный связный асимметрический граф с одним истоком, одним стоком и без циклов, то есть это направленный граф. При этом вершинами графа служат события подпроцесса (рисунок 4), а дугами (ребрами) – работы (операции). Продолжительность работы представляет собой, в терминах теории графов, длину дуги. Следовательно, длина пути  $T$  – это сумма длин всех дуг, образующих данный путь, то есть

$$T = \sum_{t_{ij} \in T} t_{ij}$$

где символом  $t_{ij}$  обозначается дуга, которая соединяет вершины  $i$  и  $j$  и направлена от вершины  $i$  к вершине  $j$  [2].

Подпроцесс на рисунке 5 состоит из следующих операций:

1. Разработка в соответствии с планом-графиком и планами подразделений проекта ТЗ (20 ч.)
2. Разработка эскизных компоновок (10 ч.)
3. Разработка эскизного дизайн проекта. (10 ч.)
4. Оценка рынков сбыта и цен. (15 ч.)

5. Разработка предложения по повышению тех. уровня и качества. (5 ч.)
6. Анализ соответствия ТЗ и других основополагающих КД ТТ. (3 ч.)
7. Рассмотрение и анализ проектов основополагающих КД ТТ. (5 ч.)
8. Принятие решения о целесообразности продолжения работы над проектом. (2 ч.)
9. Тиражирование проектов основополагающих КД. (1 ч.)
10. Оценка возможного обеспечения необходимого ТУ и качества. (2 ч.)
11. Предварительная разработка технологий и маршрутов, капитальных затрат. (10 ч.)
12. Анализ состояния действующего производства, оценка затрат для обеспечения качества. (20 ч.)
13. Анализ рынка. Прогноз сбыта. (10 ч.)
14. Определение затрат на зарплату и обучение. (12 ч.)
15. Предварительное определение себестоимости, капитальных затрат и цен. (10 ч.)
16. Анализ оснащенности программными продуктами и оргтехникой. (5 ч.)
17. Анализ возможного обеспечения поставок комплектующих изделий и материалов. (5 ч.)
18. Получение замечаний и предложений по доработке. (1 ч.)
19. Доработка материалов по замечаниям. (5 ч.)
20. Согласование с ГК. (3 ч.)
21. Рассылка. (2 ч.)

$$T_1 = 20 + 3 + 5 + 2 + 1 + 2 + 10 + 20 + 10 + 12 + 10 + 5 + 5 + 1 + 5 + 3 + 2 = 116 \text{ ч.}$$

Таким образом, общее время, затраченное на разработку и утверждение КД, равно 116ч.

#### Определение критического пути

Полный путь, суммарная продолжительность работ на котором является максимальной, называется критическим. Продолжительность критического пути определяет минимальное время, объективно необходимое для выполнения всего комплекса мероприятий, входящих в подпроцесс. Работы (операции), входящие в состав критического пути, называются критическими.

Задержка в выполнении работы на величину

$$\Delta t_{ij} > r_n(ij)$$

приводит к задержке в наступлении завершающего события на величину

$$\Delta t_{ij} - r_n(ij).$$

Задержка в выполнении работы на величину

$$\Delta t_{ij} \leq r_n(ij)$$

вообще не повлияет ни на один другой срок, определенный данным сетевым графом.

Следовательно, у критических работ и полные, и свободные резервы времени равны нулю. Равенство нулю полного резервного времени работы является необходимым и достаточным признаком того, что данная работа критическая, поэтому критический путь находится посредством определения работ, полные резервы времени которых равны нулю.

#### Расчет вероятности выполнения работ в расчетный срок

Если считать, что время выполнения работ подчиняется нормальному закону, то вероятность совершения  $j$ -ой операции подпроцесса в расчетный срок можно определить по следующей формуле:

$$P_i = \Phi \left( \frac{T_{зд} - T_p}{\sqrt{\sum \sigma_{ij}^2}} \right), \quad (1)$$

где:  $\Phi$  — функция Лапласа;

$T_{зд}$  — директивный срок;

$T_p(j)$  — время раннего выполнения  $j$ -ой операции;

$\sum \sigma_{ij}^2$  — сумма дисперсий работ, которые использовались при вычислении раннего срока выполнения  $j$ -ой операции.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n). \quad (3)$$

где  $\sigma^2$  — дисперсия;  $x_i$  —  $i$ -й элемент выборки;  $\bar{x}$  — среднее арифметическое выборки;  $n$  — объём выборки.

Таблица 3

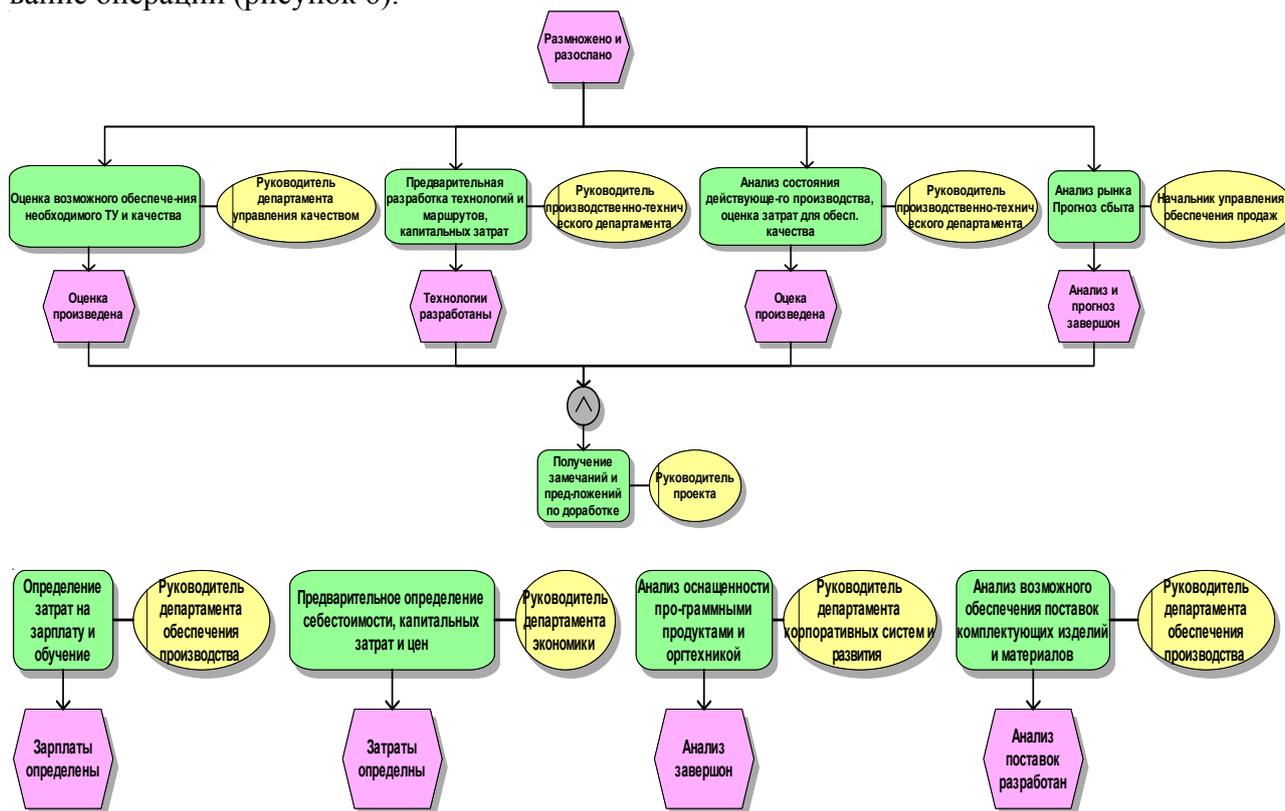
Значения функции Лапласа

Ф	Pk	Ф	Pk	Ф	Pk	Ф	Pk
0.1	0.5398	1.7	0.9554	-2.9	0.0019	-1.3	0.0968
0.2	0.5793	1.8	0.9641	-2.8	0.0026	-1.2	0.1151
0.3	0.6179	1.9	0.9713	-2.7	0.0035	-1.1	0.1357
0.4	0.6554	2.0	0.9772	-2.6	0.0047	-1.0	0.1587
0.5	0.6915	2.1	0.9821	-2.5	0.0062	-0.9	0.1841
0.6	0.7257	2.2	0.9861	-2.4	0.0082	-0.8	0.2119
0.7	0.7580	2.3	0.9893	-2.3	0.0107	-0.7	0.2420
0.8	0.7881	2.4	0.9918	-2.2	0.0139	-0.6	0.2743
0.9	0.8159	2.5	0.9838	-2.1	0.0179	-0.5	0.3085
1.0	0.8413	2.6	0.9953	-2.0	0.0228	-0.4	0.3446
1.1	0.8643	2.7	0.9965	-1.9	0.0287	-0.3	0.3821
1.2	0.8849	2.8	0.9974	-1.8	0.0359	-0.2	0.4207
1.3	0.9032	2.9	0.9981	-1.7	0.0446	-0.1	0.4602
1.4	0.9192	3.0	0.9987	-1.6	0.0548	-0.0	0.5000
1.5	0.9332			-1.	0.0668		

Рассчитаем вероятность совершения конечной функции. Для начала нам надо найти и вычислить критический путь. В нашем случае критический путь это 1-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21 (рисунок 5). Т.к. нам известно время каждого из этих событий, то

мы, сложив все временные отрезки, получим время критического пути -  $T_p=116$  ч. Теперь необходимо посчитать сумму дисперсий работ нашего процесса по формуле (2). В результате получаем, что сумма дисперсий работ для нашего процесса равна 6,66.

Для вычисления вероятности необходимо знать директивное время. Директивное время для нашего процесса равно 120 ч. Теперь по формуле (1) вычисляем коэффициент Лагранжа для дальнейшего поиска вероятности. Получаем, что коэффициент равен 0,6. Из таблицы 3 и находим, что вероятность выполнения операций критического пути при заданном директивном сроке равна 72%. Это хороший показатель, но в результате реинжиниринга процесса он может быть улучшен, т.к. функциональный анализ показывает, что возможно распараллеливание операций (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Подпроцесс «Разработка и утверждение основополагающих конструкторских документов» после реинжиниринга за счет распараллеливания процесса рассылки документов руководителям департаментов**

Вычислим критический путь из операций 9-10-18,9-11-18,9-12-18,9-13-18,9-14-18,9-15-18,9-16-18,9-17-18. (рисунок 7.) Он составит 20 ч.

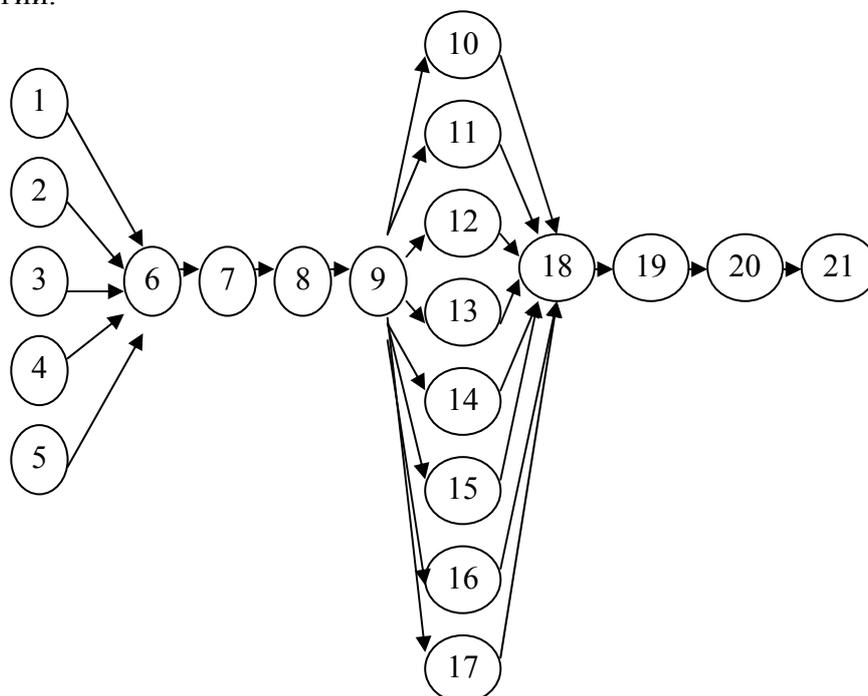
Тогда весь критический путь будет:  $T_p = 20+3+5+2+1+20+1+5+3+2=62$  ч.

Аналогично вышеизложенному, рассчитаем вероятность совершения конечного события. Получаем сумму дисперсий работ - 29. Директивное время осталось прежним 120 ч. Находим коэффициент Лагранжа - 2, и определяем вероятность конечного события - выполнения операций процесса в заданное время 0,97. Следовательно, сокращено время процесса «Разработка и утверждение основополагающих конструкторских документов» на 54 ч. За счет распараллеливания операций подпроцесса и соответствующего распределения времени увеличена вероятность выполнения процесса на 30 %.

Этот метод можно применить для реинжиниринга всех остальных подпроцессов и процессов, составляющих ЖЦ автомобилестроительных предприятий.

В заключение отметим, что за счет передовой организации производства посредством внедрения CALS-технологий, развитие которых является одним из приоритетных направле-

ний, возможно получение значительного экономического эффекта, несмотря на начальные затраты, необходимые для приобретения дополнительной компьютерной техники и лицензий на программное обеспечение - CAD/CAE/CAM/ PLM – систем, составляющих комплекс CALS-технологий.



**Рисунок 7 – Сетевой граф подпроцесса «Разработка и утверждение основополагающих конструкторских документов» после реинжиниринга**

Отставание в развитии технологий сопровождения жизненного цикла изделий, означает для Российской промышленности в целом, и в частности для автомобилестроительных предприятий потерю конкурентоспособности выпускаемой продукции на мировом рынке.

#### Литература

1. Введение в экономико-математическое моделирование. Лотов А.В. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 392 с.
2. Прикладной системный анализ: сетевой анализ и календарное планирование проектов, метод прогнозного графа: Учеб. пособие. /Под ред. В.К. Буторина. НФИ КемГУ. – Новокузнецк, 2002. 59 с.
3. Экономико-математические методы и модели: Учеб. пособие / Н.И. Холод, А.В. Кузнецов, Я.Н. Жихар и др.; Под общ. Ред. А.В. Кузнецова. 2-е изд. – Мн.: БГЭУ, 2000. – 412 с.

#### **Метод графов в теории надежности и практике технического сервиса**

д.т.н. проф. Олейник А.В., д.т.н. проф. Лукашев Е.А., д.т.н. проф. Посеренин С.П., д.т.н. проф. Ставровский М.Е.

Минтранс России, ГОУ ВПО РГУТиС, НП Уником-сервис  
stavrov@list.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается возможность использования метода графов в решении задач теории надежности применительно к практике технического сервиса.

*Ключевые слова:* теория надежности, метод графов, практика технического сервиса.

Теория надежности включает два основных блока, которые условно можно назвать