



## MANAGING THE LIFECYCLE OF A NEWLY CREATED PRODUCT

Avazov Yu. Sh.,

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

Abdukodirov A. A.,

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

Isokova M. A.

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

### Abstract

This article describes the methods of modern technologies in the life cycle of systems and their application for thinking about the life of assets. This software system technology CYCLES changes and provides all the information about the relevant processes. In general, an increased level of information is achieved in the management of the process.

**Keywords:** design, logic-dynamic systems, black box, mechatronics, PDM-technology (Product Data Management-technology), CAE( Computer-Aided Engineering), generative system.

**Введение.** Одной из первых публикаций по применению системных методов программирования жизненных циклов (ЖЦ) объектов новой техники, вероятно, является работа [1]. Уже в [2] профессором К.Д.Жуком обобщалась теория ЖЦ, логико-динамических систем и современных САПР с учетом уровня развития информационных технологий того периода времени. Поток публикаций в массовой печати по управлению ЖЦ изделий (ЖЦИ - PLM) начался на рубеже веков и постоянно растет. Ранее модели объекта на каждом этапе ЖЦ писались заново, на что тратились информационные, человеческие, временные и экономические ресурсы, основной целью ставилось сокращение непроизводительных фаз ЖЦ (гипотеза, НИР, проектирование, конструирование, построение и утилизация объекта), увеличение длительности периода эксплуатации, когда объект начинает приносить прибыль (рис.1).



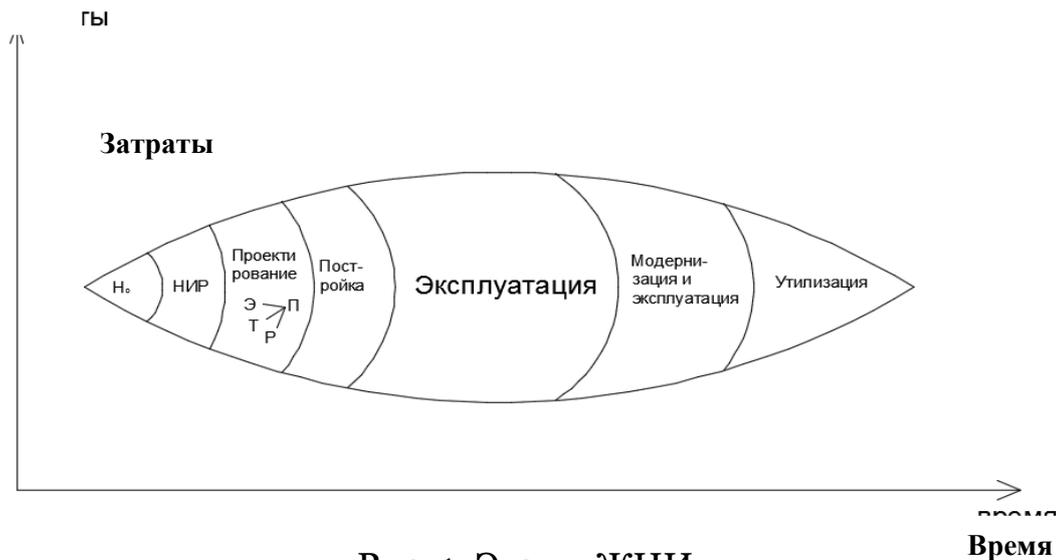


Рис. 1. Этапы ЖЦИ.

Обратимся к роли PLM-технологии – координации CAD/CAM/CAE и PDM-технологий, пониманию которых в современном обществе ещё не было в 1980-х годах. Возникли IGES-, CALS-технологии, стандарт STEP, затем более современные PDM-технологии, соответственно понятие ЖЦ от простого «философского» термина в проектировании трансформировалось в PLM-систему – координатора этих технологий и стандартов (рис. 2) [3].

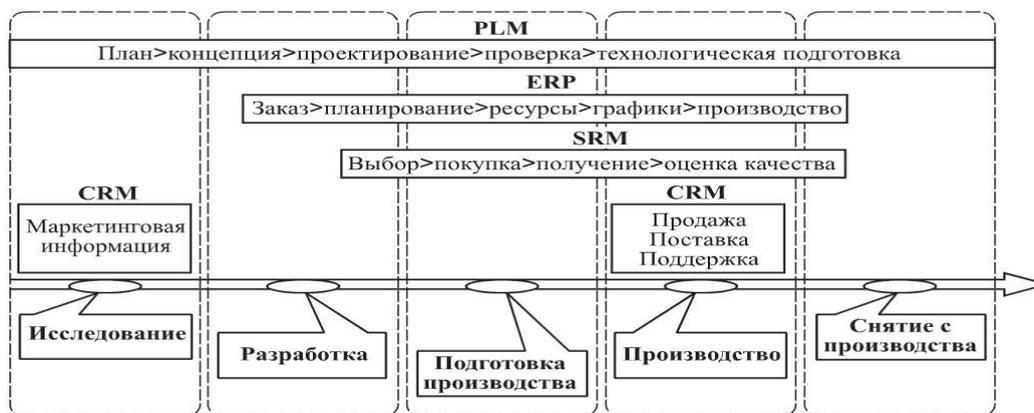


Рис.2. Взаимодействие системы PLM с системами ERP, SPM и CRM

PLM – организационно-технические системы, поддерживающие технологию управления ЖЦИ. Они обеспечивают управление всей информацией об изменениях и связанных с ними процессах на протяжении всего ЖЦИ. С точки зрения эпистемологии, к ЖЦИ относится 2-й уровень, представляющий ступень БЗ генерации структуры проектируемого объекта, значений переменных определяющих свойства изделий и технологических процессов (ТП) объекта [3].



Поскольку задачей генерации свойств является реализация процесса, при котором состояния основных переменных объекта могут порождаться по множеству параметров при любых начальных или граничных условиях. Системы второго уровня иерархии называются порождающими системами (generative system). При конструировании на уровне 2 располагаются БЗ, связанные с расчетом конструкций изделия, а при проектировании ТП – БЗ по выбору заготовок, формированию набора переходов, расчету режимов обработки, норм времени и т. п.

Для построения функциональной модели ЖЦИ применяется методология IDEF0. Модель создания изделия типа «черный ящик» приведена на рис. 3.



Рис.3. Модель создания изделий машиностроения как «черный ящик».

Методология IDEF0 и диаграммы предлагались авторами работы [3] и являются гражданской версией SADT-технологии, разработанной для механического цеха аэрокосмической корпорации 1950-х годах.

Функциональную модель ЖЦИ типа «черный ящик» (приведенную на рис.4, можно декомпозировать на этапы: 1) проектирование; 2) производство; 3) эксплуатацию; 4) утилизацию).



Рис. 4. Модель IDEF0 основных этапов ЖЦИ.



На рис. 5 представлена декомпозиция этапа «проектирование» ЖЦИ. На IDEF0-диаграмме первый функциональными блок «маркетинг», на выходе блока – «техническое задание (ТЗ)» – «совершенствование товара».

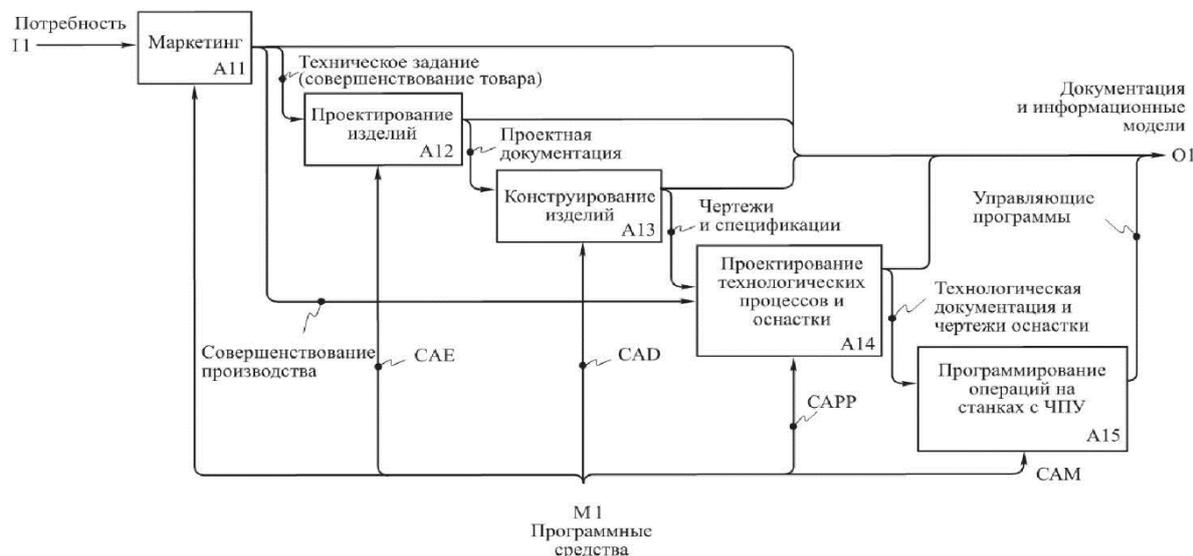


Рис. 5. Декомпозиция этапа «Проектирование».

Маркетинговая деятельность предприятия основана на пяти концепциях. Приведём одну из них – концепция совершенствования товара (the product concept), которая всё больше интересует потребителей проявляющих интерес к товарам, предлагающим наивысшее качество лучшие эксплуатационных характеристики и свойства. Предприятие должно сосредоточить свою энергию на совершенствование изделия.

Отметим, что для реализации ТЗ используются программные средства САЕ и САД Э М1, а для совершенствования производства САРР и САМ Э М1.

На этапе «проектирование» изделие представляется как формальная система с оформлением соответствующих схем и эскизной проектной документации. Проводятся разнообразные инженерные расчеты для анализа геометрии, моделирования и оптимизации его конструкции. Семейство программных систем, используемых при проектировании, называется САЕ (Computer Aided Engineering). Система САЕ - это разнообразные программные продукты позволяющие, с помощью расчетных методов, оценить, как поведет себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Эти системы помогают убедиться в работоспособности изделия без привлечения больших затрат времени и средств.



На основе проектных расчетов (выявленных основных характеристик изделия) осуществляется конструирование, основной задачей которого является построение модели изделия, как объекта производства с получением необходимого комплекта чертежей и спецификаций. В качестве средства конструирования используются САД.

На основе полученной конструкторской документации проводится проектирование технологических процессов с помощью систем САРР, при необходимости конструируется оснастка. Полученная технологическая документация и чертежи оснастки используются при программировании операций обработки на станках с ЧПУ. Для выполнения этих действий используются системы САМ (Computer Aided Manufacturing).

Первый блок декомпозиции «Производства» рис. 6 «Планирование ресурсов предприятия». Для её реализации используется ERP, в результате

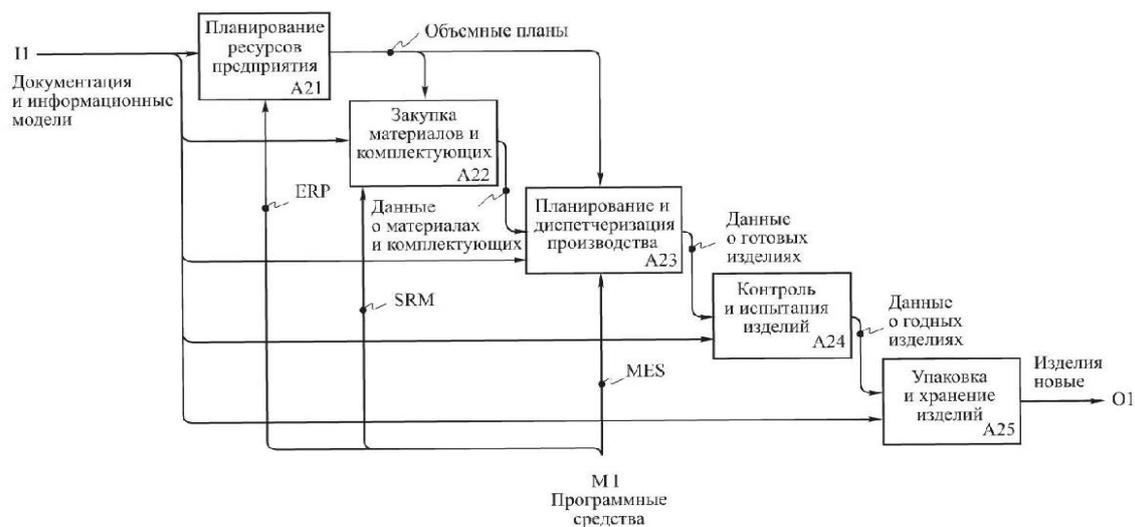


Рис. 6. Декомпозиция этапа «Производство».

разрабатываются планы управляющие блоком «закупка материалов, комплектующих и ресурсов предприятия» реализуемых SRM.

Данные о приобретенных материалах и комплектующих совместно с документацией и информационными моделями изделий передаются на вход функционального блока «Планирование и диспетчирование производства», реализуемого MES.



На рис. 7 представлена декомпозиция предпоследнего этапа ЖЦИ «Эксплуатация», реализуемая SCADA-системой. Важной является функция «Продажа и распределение», выполняемая CRM системами. Стандарт STEP (Standart for Exchange of Product model data) является совокупностью стандартов ISO 10303, используемых в САПР. Этот стандарт задает полную информационную модель изделия на протяжении его жизненного цикла, а также способы реализации обмена данными, содержащимися в этой модели. Как полная модель изделия, так и способы обмена данными представлены в виде, доступном для программной обработки и не зависят от применяемых программных и аппаратных средств.

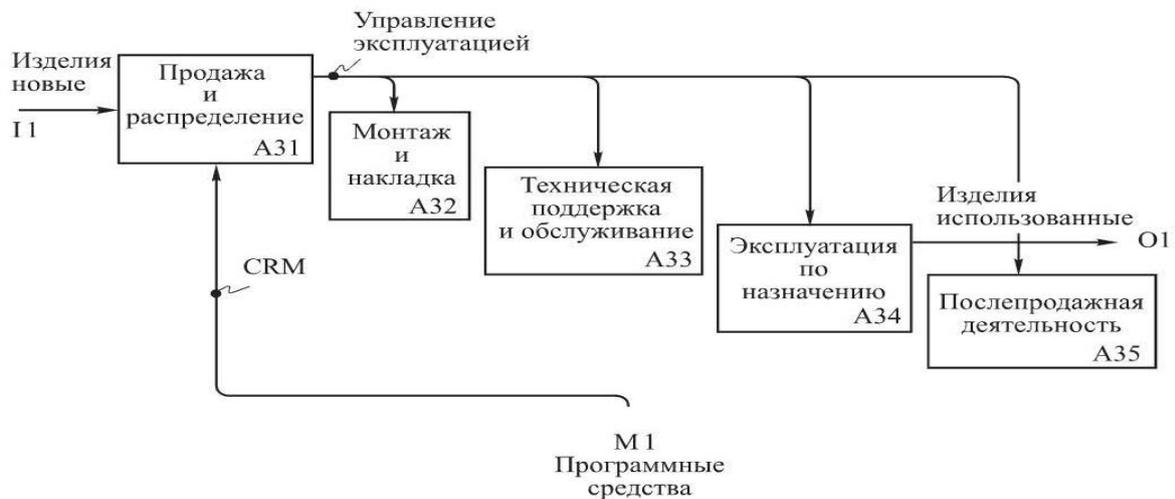


Рис. 7. Декомпозиция этапа «Эксплуатация».

Суть механизмов, реализующих работу в формате стандарта STEP, представляет «Концепции смысла» Фреге (рис.8).

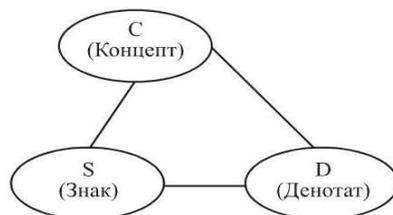


Рис. 8. Треугольник Фреге.



**Системы управления данными PDM.** PDM-технология (Product Data Management-technology) управления данными об изделии и информационными процессами ЖЦИ. Основными преимуществами использования PDM

технологии являются:

1) сокращение времени разработки изделия за счет повышения эффективности процесса проектирования; 2) автоматизации работы, улучшение взаимодействия конструктора, технолога, специалистов поддержки методики совмещенного проектирования, значительное сокращения сроков проведения работ с уменьшением конструкции и технологии; 3) значительное увеличение доли заимствованных или слегка измененных компонентов изделия (до 80%) за счет поиска.

Данные об изделии включают всю информацию об изделии в электронном виде в течение всего ЖЦИ: состав и структуру изделия, геометрические данные, чертежи, технологические документы, планы проектирования и производства, спецификации, нормативные документы, программы для станков с ЧПУ, результаты анализа, корреспонденцию, сведения о партиях и отдельных экземплярах изделия и др.

Информационные процессы являются процессами ЖЦИ, создающими или использующими данные о нем. Примером служит формальная процедура изменения изделия. Совокупность информационных процессов представляет собой документооборот, происходящий в течение всего ЖЦИ. Документооборот, управляемый PDM-системой, называется электронным документооборотом. При необходимости PDM используются другие системы обработки данных (например, САПР-CAD). Функции PDM систем: управление хранением данных и документов; управление процессами; управления составом изделия; классификация.

**Система PLM.** Дальнейшим развитием PDM-технологии являются системы PLM (Product Lifecycle Management) управления ЖЦИ. С технической точки зрения система PLM обеспечивает интеграцию всей информации об изделии в единой структуре на протяжении всего его ЖЦИ вплоть до утилизации изделия. Однако системы PLM не ограничиваются только технологическим объединением данных из систем автоматизации разных этапов системы





ЖЦИ: подход и решения систем PLM направлены на упорядочение бизнес процессов дискретного производства, объединение всех разрозненных подразделений предприятия, а также его поставщиков и клиентов. Системы PLM (рис. 9) - интеграционное решение, объединяющее программные компоненты и внешние системы, консолидирующее всех участников соответствующих процессов, включая партнеров и потребителей. В PLM-среде формируется единая структура изделий. Для обозначения такого интегрированного подхода используется термин «мехатроника».



Рис. 9. Структура системы PLM.

Специалистами выделяются три основных этапа эволюции платформ PLM. На каждом этапе появлялся новый блок возможностей, который не отменял при этом функций, сложившихся на предыдущей этапе:

- 1) 2000-2005гг. - Управление данными об изделии с поддержкой совместной работы.
- 2) 2005-2010гг. - Расширение возможности управление ЖЦИ.
- 3) 2010г.и далее - социальная разработка продуктов: усовершенствование совместной работы в распределенных командах; новые идеи, решения проблем и обратная связь от внешних сообществ; интеграция новых сервисов в традиционные продуктовые предложения.

Основные выгоды от использования PLM: повышение производительности труда, прибыли; общее снижение материальных затрат, достигаемое за счет детального учета требований к изделию на ранних этапах ЖЦ



и отслеживания их выполнимости в последующем, это позволяет выявить большинство ошибочных решений в виртуальном прототипе изделия, а не в физическом его воплощении. При этом значительно повышается число заимствованных и типовых решений.

**Системный анализ проектных действий.** Система автоматизированного конструирования описывается формулой:

$$X_{и}: I_{и} \rightarrow O_{и}.$$

Объект проектирования, рассматриваемый как «чёрный ящик», имеет

$$\text{вид: } S_{м}: I_{и} \rightarrow O_{w}.$$

После получение ТЗ на проектирование ТО информационно-поисковая система ищет в БД аналог ТО максимально удовлетворяющий поставленной задаче. Интеллектуальные системы проектирования (ИСП) принадлежат к классу систем типового вариантного проектирования. ИСП базируются на знаниях, содержащихся в метасистеме.

Переменные, содержащиеся в ТЗ, являются входными данными. ИСП имеет набор управляющих переменных, которые не определены в ТЗ, но оказывают влияние на результаты проектирования. Таким образом используется метод типового вариантного проектирования с полученным несколькими альтернативных проектных решений для выбора из них наилучшего  $I_{и}^j, O_{и}^{\tau}, X_{и}^{\tau}$ . Результатом ИСП, кроме геометрических моделей и конструкторской документации, являются объектные модели спроектированных изделий, которые генерируются на основе метамоделей в виде данных представленных на языке UML диаграммами объектов.

**Многокритериальная оптимизация в ЖЦИ** проводится на основе упомянутых выше данных, определяются свойства проектируемого объекта  $\omega_i$ , связанные с функциональными ограничениями  $C_i^* < f_i(\alpha) < C_i^{**}$  где  $f_i(\alpha_i)$  - некоторые функции от параметров, которые задаются в БЗ, или другие требования. При проектировании изделия ТЗ должно включать заданные его параметры  $\alpha_i$  в процессе проектирования определяются другие параметры или выбираются данные символьной модели необходимые для расчётов.



Управление каждого этапа ЖЦИ осуществляется соответствующими критериями, связанными с качеством характеристики монотонной зависимостью (при прочих равных условиях изделия тем лучше, если значение критерия больше). При многокритериальной оптимизации строится интегрированная система конструкторско-технологического проектирования. Сформулировать математическую оптимизационную задачу при наличии нескольких критериев качества непросто, критерии часто противоречивые, это отмечалось и ранее Н.Н.Моисеевым, например в [5].

Положим, что заданные критерии  $\Phi_1, \dots, \Phi_{k(\alpha)}$  необходимо уменьшить  $\Phi_\alpha \rightarrow \min$ . (Иногда ограничиваются одним наиболее значимым критерием, такой подход часто себя не оправдывает.) Каждый их скалярных критериев  $\Phi_{k(\alpha)}$   $k \in [1,5]$ , называется частным критерии оптимальности, а их совокупность  $\Phi(\alpha) = (\Phi_1(\alpha), \dots, \Phi_s(\alpha))$  - векторными критерием оптимальности. Задачу многокритериальной оптимизации запишем в виде поиска множества Парето P:

$$\Phi(P) = \min \Phi(\alpha) \quad (*)$$

где  $\Phi(\alpha)$  - критериальні  $\alpha \in D$  тор на множестве критериев  $D_\Phi$ .

Множество P является подмножеством пространства критериев  $\{\Phi\}$ .  $\Phi(\alpha)$  выполняет отображение множества допустимых значений  $\alpha \in D_\alpha$  пространства варьируемых параметров в пространства критериев  $\{\Phi\}$ . На множестве  $D_\alpha$  вводится отношение предпочтения. Аналогично, на множестве  $D_\Phi$  вводят отношение доминирования.

Задачу многокритериальной оптимизации (\*) иногда сводят к задаче однокритериальной (направление, метод весовых множителей). При этом исходная задача искажается. Перспективно применения метода ИПП (исследования пространства параметров) Этот метод основан на построении и анализе допустимого множества решений с помощью таблиц испытаний и реализуется программным комплексом MOVI в интерактивном режиме.





**Модели представления ЖЦИ.** Академиком Н.Р.Юсупбековым отмечалось, что существуют несколько видов представления ЖЦИ [6]. Среди новых стратегий «проектирования для X» наиболее интересно «проектирование для технического обслуживания (ТО)», которое представляет свод принципов и правил разработки сложной технической системы (СТС) на начальных стадиях её ЖЦ. Среди моделей ЖЦ СТС: последовательной, последовательно-параллельной, инкрементальной и спиральной выделим последнюю. Причём её вариант, ориентированный на техническое обслуживание (ТО) – Design for Maintenance.

Инкрементальная модель, предусматривает несколько инкрементов (версий) с запланированным улучшением. Заказчик может раньше увидеть результаты, изменить требования к разработке, отказаться или предложить более совершенный продукт. Спиральная модель ЖЦ (рис.10), ориентированная на технологический объект (ТО), состоит из 34 этапов.



Рис. 10. Спираль ЖЦИ.

Используя PLM-технологии можно ограничиться 12 этапами: 5; 21, 22, 23; 26÷33.



Типовое вариантное проектирование позволяет по эскизной модели 5 изучать технологические процессы и свойства эксплуатации (21 – транспортировка и хранение СТС, 22 – ввод в эксплуатацию, 23 – использование СТС по назначению; с последующей модернизацией 26 – осмотры и диагностика, 27 – гарантийное обслуживание, 28 – текущий ремонт СТС, 29 – эксплуатация СТС, 30 – периодическое ТО, 31 – капитальный ремонт, 32 – послегарантийное ТО, 33 – применение СТС по назначению), исключая физическую реализацию объекта.

Это реализуется средствами CAE, стандарта STEP и PDM-технологии, координируемых PLM-системой.

**Вывод.** Спиральная модель ЖЦИ и PLM-технологии являются, на наш взгляд, наиболее эффективным сочетанием решения поставленных задач управления ЖЦ вновь создаваемого изделия.

Литература:

1. Жук К.Д. Системные методы в программировании жизненных циклов объектов новой техники. – В кн.: Автоматизация проектирования сложных систем. Минск: ИТК АН БССР, 1976. С.16-26.
2. Жук К.Д. и др. Построение современных систем автоматизированного проектирования. – Киев: Наукова думка, 1983. 248с.
3. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учебное пособие: в 2т. Под ред. Г.Б.Евгенева. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2015
4. Дэвид А.Марка и Клемент Мак Гоэн. Методология структурного анализа и проектирования SADT. - ноябрь 1986г. (предисловие Дугласа Т.Росса. SofТесв и МТИ).
5. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 488 с.
6. Юсупбеков Н.Р. Интеллектуальные системы управления и принятия решений. – Лекции. ТашГТУ. Ташкент. – 2019.  
Управление ЖЦИ + Н.Н.Моисеев. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1981. – 488с.





П.О.Сухой ведущий авиаконструктор: «Вы машинные математики, должны помочь, прежде всего, мне – главному конструктору (ГК). Вместе со мной вы должны разработать такую методику проектирования, которая позволяла бы уже на самых ранних этапах проектирования достаточно правильно выбрать основные параметры конструкции и оценить различные характеристики её эффективность и на протяжении всего процесса проектирования контролировать изменения этих характеристик так, чтобы в результате предъявить к испытаниям конструкцию, уже не требующую доводок. Ошибку, которую допустит конструктор (ГК) при «завязке» проекта, уже не исправить совершенствованием инженерных расчётов и чертёжными автоматами».

Объективные законы экономики привели к увеличению сложности создаваемых конструкций, расширению круга решаемых ими задач. Цена вопроса – прибыль, передел рынка (оборонеспособность страны и т.д.), но арсенал конструктора оставался тем же (традиционный кульман и т.д.), методология так же классическая. ЭВМ первого и второго поколения, в сущности, были большими калькуляторами. Необходимо было менять методологию проектирования – создавались САПР. ГК осуществляя «завязку» проекта в целом, производит декомпозицию проблемы на задачи, поручаемые начальникам  $i$ -х отделов (служб), затем согласовывает их  $i$ -е решения при ограниченной информации в единое решение проблемы, причём эта процедура итерационная.

Напомним, что при оптимизации конструкции ГК оперирует критериями и функционалами, последние существуют, но могут быть неизвестными. Это несоответствие преодолевается методами имитации различных вариантов конструкции и процессов функционирования (программ имитации по Н.П.Бусленко) при различных начальных условиях  $x(0)$  и внешних возмущениях  $f_b$ . В этом случае имитационная система является испытательным полигоном – орудием экспериментатора, в роли которого выступает конструктор (ГК).

Ошибка в исходном замысле ГК («завязке» проекта) не может быть компенсирована никакими частными решениями. Чем раньше будет обнаружена ошибка в суждениях ГК, тем меньше будут затраты на их устранение. Со временем стоимость устранения ошибки возрастает на порядки.





ГК мыслит категориями с параметрами  $F_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) – агрегатами.  $F_i$  являются функциями конструктивных параметров  $x_s$  ( $i = 1, \dots, N$ ), причём  $n \ll N$ . Характеристики объекта (скажем ЛА)  $F_i$  – стандартны, их расчёт должен быть простым. Выбираемые «вспомогательные» функционалы должны зависеть от наиболее существенных переменных  $\mathbf{x}$ , т.е.  $\mathbf{x} = \mathbf{x} + \mathbf{x}^*$  :

$F_j(\mathbf{x}) = F_j(\mathbf{x}, \mathbf{e}\mathbf{x}^*)$ , причём  $F_j(\mathbf{x}, \mathbf{e}\mathbf{x}^*) = F_j(\mathbf{x}, \mathbf{0})$ .

Таким образом, решать задачи оптимизации критериев становится реальным. Если  $\mathbf{x}_i$  – является решением вектором решения задачи  $F_j(\mathbf{x}) \rightarrow \max$ , то реальный объект (в нашем случае ЛА) – является «гармонией» ряда свойств.

Полагая предельные возможности  $F_{i0}$ , введём новый функционал:

$$W(\mathbf{x}, \lambda) = \max \lambda_i (F_{i0} - F_i(\mathbf{x})) / F_{i0},$$

здесь  $\lambda$  – вектор концепции ЛА, чем больше значение  $\lambda^k$  – значение  $\lambda$ .

Решим задачу  $W(\mathbf{x}, \lambda) \rightarrow \min$  и найдём  $\mathbf{x}$  как функцию  $\lambda$ . Критерии  $F_i(\mathbf{x})$  легко вычисляемы, так как размерность вектора  $\mathbf{x}$  не очень велика, т.е. задача минимизации решается проще и эффективнее.

В случае отсутствия функционала  $F(\mathbf{x})$  в явном виде ГК может задать концепцию  $\lambda_1$ , минимизировать функционал  $W(\mathbf{x}, \lambda_1)$  и найти решение  $\mathbf{x}_1 = \mathbf{x}(\lambda_1)$  – вариант облика ЛА, принять соответствующее решение. Можно задать сетку с узлами  $\lambda = \lambda_k$ , тогда задача минимизации  $W(\mathbf{x}, \lambda_1)$  сводится к задаче  $\mathbf{x}_1 = \mathbf{x}(\lambda_k)$ . Сетка  $\lambda^k$  заранее согласуется с ГК, принимающим решение – выбор прототипа ЛА.

Диалог ГК и имитационной системы – сердце САПР. ГК, как отмечалось выше, производит декомпозицию проблемы на: задачи  $i$ -х отделов, подсистемы и этапы. Выбор  $\mathbf{x}$  является ответственным этапом построения САПР. Проектирование ЛА является иерархией задач.  $\mathbf{x} = \mathbf{x}(\lambda)$  – неоднозначная функция: 1) для математика – это проблема; 2) для ГК – ещё одна возможность проявить свой талант – на него завязаны все конструкторы  $\Sigma Kp_i$ , принимающие свои  $i$ -е решения  $\mathbf{x}_i$ .

В искусственный интеллект, как и в вычислительный интеллект [6] цель закладывает человек, в нашем случае это прерогатива ГК.



А любая целенаправленная деятельность – это цепочка принимаемых решений. Вычислительный интеллект помогает человеку достигнуть цели (в нашем случае ГК создать конструкцию – ЛА). То есть ИСУиПР является имитационной системой, снабженной методами и процедурами вычислительных технологий, используемыми в режиме диалога для достижения цели.

### **Принципы декомпозиции и имитации:**

1. сжатия множества вариантов создаваемого изделия;
2. их последовательный анализ и;
3. отбраковка вариантов (согласно А.А.Маркову, Вальду, Р.Беллману, В.С. Михалевичу и П.С.Краснощёкову – принцип последовательного анализа).
4. Если правило отбраковки сформулировано, то общая схема становится алгоритмом, однако правило отбраковки – это всегда изобретение.
5. Принцип декомпозиции лежит в основе всех технологий проектирования достаточно сложных конструкций. ГК, как бы талантлив он ни был, может оперировать только с относительно небольшим объёмом информации (параметров, критериев и т.д.)

