

Р.М. ЮСУПОВ, Б.В. СОКОЛОВ, А.И. ПТУШКИН, А.В. ИКОННИКОВА,
С.А. ПОТРЯСАЕВ, Е.Г. ЦИВИРКО

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИСКУССТВЕННО СОЗДАНЫХ ОБЪЕКТОВ

Юсупов Р.М., Соколов Б.В., Птушкин А.И., Иконникова А.В., Потрысаев С.А., Цивирко Е.Г. Анализ состояния исследований проблем управления жизненным циклом искусственно созданных объектов.

Аннотация. В обзоре на основе отечественной и зарубежной литературы, а также результатов проектов, выполненных по заказу РФФИ, проведен анализ современного состояния исследований проблем интеграции и комплексной автоматизации процессов управления основными и вспомогательными производственными, логистическими и сервисными организационно-техническими системами, обеспечивающими поддержку жизненного цикла (ЖЦ) конкретного изделия. Также сделан анализ проблем создания, использования и развития интеллектуальных информационных технологий, в том числе технологий повсеместных вычислений и коммуникаций и многомодальных пользовательских интерфейсов; проблем многокритериального оценивания и анализа вкладов информационных технологий и систем в основную деятельность предприятий (фирм), в том числе при выборе и реализации эффективных технологий управления ЖЦ изделий (ЖЦИ). Главная особенность данного обзора состоит в том, что все перечисленные проблемы рассмотрены на основе новой кибернетической парадигмы XXI века, связанной с концепцией управления сложностью.

Ключевые слова: сложные организационно-технические системы, управление жизненным циклом, интеллектуальные информационные технологии и системы.

Yusupov R. M., Sokolov B. V., Ptushkin A. I., Ikonnikova A. V., Potrysaev S. A., Civirko E. G.

Research problems analysis of artificial objects lifecycle management.

Abstract. The survey, based on domestic and foreign literature, as well as the results of projects carried out by the order for Russian Foundation for Basic Research, is devoted to the problems research current state analysis of the integration and complex automation of management processes by the main and auxiliary production, logistic, service organizational-technical systems that supports life-cycle (LC) of a specific product; problems of creation, use and development of intelligent information technologies, including technologies of ubiquitous computing and communications, and multimodal user interfaces; problems of multicriteria evaluation and analysis of the contribution of information technologies and systems into the mainstream enterprise (firms), including when selecting and implementing effective technologies of life-cycle products (LCP) management. The main feature of this review is that the consideration of all these problems is based on a new cybernetic paradigm of the XXI century, associated with the concept of complexity control.

Keywords: complex organizational and technical systems, life cycle management, intelligent information technologies and systems.

1. Введение. На протяжении многих лет исследования по проблемам управления жизненным циклом (ЖЦ) различных искусственно

созданных объектов проводятся преимущественно по вопросам обеспечения информационной поддержки их ЖЦ. Принципиальные научно-методические вопросы организации управления ЖЦ в целом, а не отдельными его этапами практически оказались вне поля зрения ученых и специалистов. Основные усилия были направлены на разработку таких технологий, как CAD, CAM, PDM и др., и их интеграцию в единое информационное пространство. Вместе с тем ключевое значение для ее решения имеют прежде всего управленческие аспекты, связанные с постановкой управленческих задач для различных уровней управления, разработкой требований к информационному обеспечению их решения, организацией управления (в частности, с выбором организационных структур управления) и, конечно же, с экономическими вопросами.

О важности и срочности решения этих вопросов, о том, что отсутствие научно-методического обеспечения управления ЖЦ тормозит внедрение ИПИ-технологий и снижает эффективность их применения, уже давно говорится на многих конференциях и в различных публикациях, но серьезных результатов в этой области до сих пор не получено. Одной из главных причин этого является отсутствие заказов на подобные фундаментальные работы. В то же время за рубежом подобные фундаментальные исследования перечисленных проблем активно проводятся. Так, в 2008 г. успешно завершён международный проект Promise, в котором участвовали 20 организаций из Евросоюза, Швейцарии, Японии, Австралии и США. В результате его выполнения предложена более совершенная технология управления ЖЦ, названная CL2M (Closed Loop Lifecycle Management — управление ЖЦ с обратной связью). Наиболее характерными чертами этой технологии являются:

- закрытие информационной брешы между начальной, средней и конечной стадиями ЖЦ;
- более глубокая, чем в традиционных технологиях управления ЖЦ, интеграция людей, процессов и информации;
- обработка информации с целью превратить ее в знания, необходимые для анализа процессов, составляющих полный ЖЦ объектов, и принять соответствующее решение по его результатам;
- принципиальная возможность применения для управления ЖЦ не только промышленной продукции, но и других объектов.

Из сказанного следует, что в области разработки научно-методического обеспечения управления ЖЦ имеется большой круг

важных для экономики страны задач, для решения которых требуется проведение междисциплинарных фундаментальных исследований.

Предлагаемая статья о состоянии и тенденциях развития мировой науки в области фундаментальных основ информационных технологий, вычислительных систем и телекоммуникаций при решении задач управления ЖЦ искусственно созданных объектов различной природы, базирующаяся на анализе отечественной и зарубежной литературы, а также результатах исследований, проводимых по заказу Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), позволяет ознакомиться с наиболее актуальными задачами в рассматриваемой предметной области, требующими первоочередного решения, и научным заделом, который имеется к в данной области.

2. Наиболее важные проблемы, задачи и результаты, полученные в области управления жизненным циклом искусственно созданных объектов.

2.1. Анализ современных технологий и систем управления жизненным циклом искусственно созданных объектов.

Важнейшая особенность происходящей в настоящее время научно-технической революции состоит в том, что по мере ее развития все большее значение приобретает учет факторов сложности в ныне существующих и создаваемых людьми изделиях, системах и комплексах [1–12], имеющих материальное, идеальное или комбинированное воплощение. Часто указанные результаты деятельности человека называют артефактами [6–8]. В предлагаемом обзоре мы данные артефакты будем называть искусственно созданными объектами (ИСОБ). При этом основное внимание уделим двум важнейшим подклассам рассматриваемых объектов: сложным техническим и организационно-техническим объектам (соответственно СТО и СОТО). Далее под СТО и СОТО будем понимать объекты, познание (изучение) которых требует совместного привлечения разнотипных моделей, многих теорий, а в некоторых случаях, многих научных дисциплин (организации междисциплинарных исследований). При этом отличие первых объектов от вторых заключается в том, что в состав СОТО входят коллективы людей, которые образуют различные структуры (например, линейные, функциональные, матричные), разрабатывают и используют соответствующие технологии управления для обеспечения работоспособности и качественного функционирования как СТО, так и в целом всего СОТО. Для того чтобы отличать простые объекты от сложных вводят в рассмотрение несколько аспектов сложности: структурную сложность, сложность

функционирования, сложность выбора поведения, сложность развития, сложность моделирования [6–7, 13–17].

В качестве наиболее характерных примеров СТО и СОТО приведем системы управления функционированием различных классов транспортных систем (наземных, воздушных, морских, космических и т. п.); территориально-распределенные неоднородные информационно-вычислительные сети, компоненты которых — локальные вычислительные сети — тоже являются СТО; гибкие автоматизированные и автоматические производства различных типов продукции [7, 8, 11, 12, 17–24]. На рис. 1 представлен пример типовой структуры СОТО.

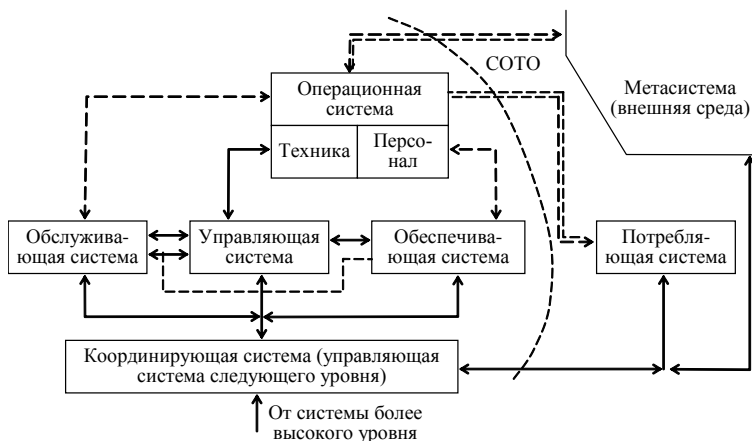


Рис. 1. Пример типовой структуры современного сложного организационно-технического объекта [25].

В целом создание и развитие СОТО (в том числе и СТО) представляет собой многоэтапный процесс, характеризующийся значительными капиталовложениями, длительным сроком внедрения и реализации, а также существенной неопределенностью, связанной с возможными изменениями целей проектирования и применения, а также воздействий различного рода возмущений внешней среды на указанные объекты на различных этапах их ЖЦ. Используя в дальнейшем понятие ЖЦ, будем руководствоваться определением, приведенным в стандарте ISO 9000:2000 [17, 24, 37], где под ЖЦ изделия (объекта) понимается совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенном изделии до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации изделия.

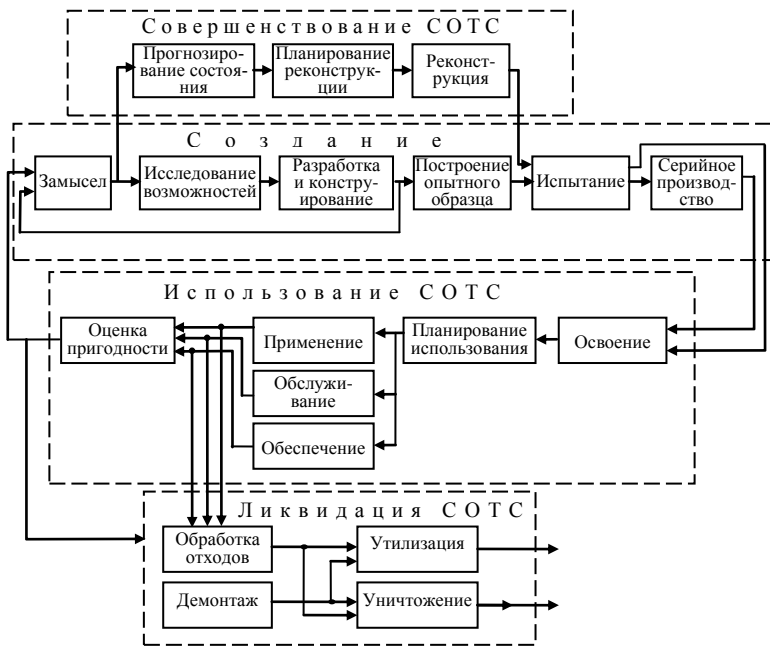


Рис. 2. Этапы и фазы ЖЦ СОТО (СТО) [25].

Понятие ЖЦ изделия (в том числе СОТО и СТО) относится к числу основных в экономике, производстве и потреблении создаваемой в мире продукции (товарах и услугах). На рис. 2 для примера в агрегированном графическом виде представлены типовые этапы и фазы ЖЦ СОТО (СТО).

Проведенный анализ показал, что постоянно расширяющееся с конца XX века многообразие процессов ЖЦ СОТО (СТО), вызванное научно-технической революцией, а также настоятельная необходимость интенсифицировать данные процессы в условиях глобализации мировой экономики потребовали активизации информационного взаимодействия объектов и субъектов, участвующих в их поддержке. При этом с ростом числа участников рыночных отношений в указанный период времени существенно возрос объем формируемых, хранимых, передаваемых, обрабатываемых и используемых данных. Перечисленные факторы привели к необходимости разработки и внедрения в мире различных классов информационных и автоматизированных систем управления (АСУ) объектами и процессами [7, 11, 17–24, 28–30].

В зависимости от реализованных функций управления, типов объектов управления, используемых поколений информационных техно-

логий и средств за последние 45 лет (с середины 1960-х гг.) создано и успешно функционирует множество конкретных типов АСУ СОТО. В их число входят следующие классы АСУ [7, 8, 11, 28]: АСУ технологическими процессами (ТП); АСУ производственными процессами (АСУ ПП); АСУ гибкими производственными системами (АСУ ГПС); системы автоматизации проектирования (САПР); автоматизированные системы, обеспечивающие проведение научных исследований (АСНИ); интегрированные АСУ (ИАСУ); АСУ организационного управления (АСОУ); отраслевые АСУ (ОАСУ); АСУ объединения (АСУО); АСУ предприятия (АСУП); информационно-поисковые системы (ИПС); информационно-советующие системы (ИСС); информационно-управляющие системы (ИУС). Проведенные исследования показали, что наиболее широкое распространение и наилучший экономический эффект в РФ (в 1960–1980-е гг. — в СССР) и за рубежом перечисленные АСУ получили на предприятиях, производящих различные виды продукции [30–36].

Как правило, в состав таких АСУ входят следующие системы: АСУ ТП (SCADA), АСУ ПП (MES), АСУП (ERP)¹. При объединении перечисленных систем образуются интегрированные АСУП — ИАСУП (СІМ). На рис. 3 и 4, взятых из работы [32], в обобщенном виде представлена эволюция базовых информационных технологий, которые были положены в основу создания соответствующих АСУ СОТО.

В настоящее время перспективы развития и внедрения новых информационных технологий (НИТ) (см. рис. 3 и 4) во всех сферах человеческой деятельности определяются в первую очередь нарастающей тенденцией глобализации мировой экономики и производства в соответствии с принципом: «Производить там, где дешевле производить, продавать там, где выгоднее продавать».

Насыщение мирового рынка всеми видами продукции, доступность высоких технологий для всех, предельно высокое качество выпускаемой продукции выдвигают на первый план конкурентной борьбы *фактор времени*. В настоящее время в указанной борьбе выигрывает тот производитель, который в своей деятельности использует следующее:

- синхронизирует в реальном масштабе времени (РМВ) бизнес-процессы и производство (системы ERP, MES, АСУ ТП);
- быстрее разработает и предложит на рынке новый продукт (системы CAD/CAM/PDM);

¹ В скобках при перечислении отечественных автоматизированных систем приведены сокращенные названия аналогичных зарубежных систем.



Рис. 3. Эволюция базовых информационных технологий [38].



Рис. 4. Этапы эволюционного развития автоматизированных и информационных систем [32].

- имеет гибкое эффективное высокоавтоматизированное производство (системы COTS ТП, MES);
- сокращает циклы производства (MES), поставок и продаж (SCM);
- сокращает время обработки заказов (CRM);
- в реальном времени контролирует расход ресурсов;
- осуществляет в РМБ оперативное управление и диспетчеризацию производства (АСОДУ);
- сокращает периоды времени возврата инвестиций (ROI-systems), анализа и принятия решений (OLAP, моделирование RT, аналитические системы RT);
- управляет производственной кооперацией в РМБ (e-manufacturing, co-manufacturing).

Перечисленные требования и информационные системы объединяет концепция *предприятия реального времени*, гибкого, адаптивно приспособляющегося к быстроменяющемуся конкурентному рынку, не знающему расстояний и границ, моментально реагирующему на все внутренние производственные и внешние рыночные факторы в РМБ [31, 43–48]. Однако, как показывает анализ, эффективность использования ИТ и соответствующих автоматизированных и информационных систем (АС и ИС) недостаточно высока [47, 49–55]. Одна из главных причин указанной ситуации связана с отсутствием комплексной интеграции и автоматизации существующих АС и ИС.

На рис. 5 приведен типовой пример функционального и информационного разрыва между контурами управления технической подготовки и оперативного управления производством СТО на уровнях САПР/CAD (Computer Aided Design), АСУ ТП/CAM Computer Aided Manufacturing, CAE (Computer Aided Engineering), АСУПП/MES (Manufacturing Execution System) и в целом контуром управления ресурсами предприятия (уровень АСУП/ERP).

Указанный разрыв наблюдается также между технологиями и ИС, обеспечивающими этапы создания и сопровождения изделий (сложных технических объектов). Указанные причины в середине XX века привели к появлению за рубежом концепции CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) или более широко употребляемого термина PLM (Product Lifecycle Management) — обозначающего интегрированные ИТ и соответствующие ИС, поддерживающие весь ЖЦ изделий — ИПИ (ЖЦИ) [17–20]. В России широко применяется русскоязычная интерпретация термина PLM — информационная поддержка ЖЦИ (ЖЦ СТО) [21].

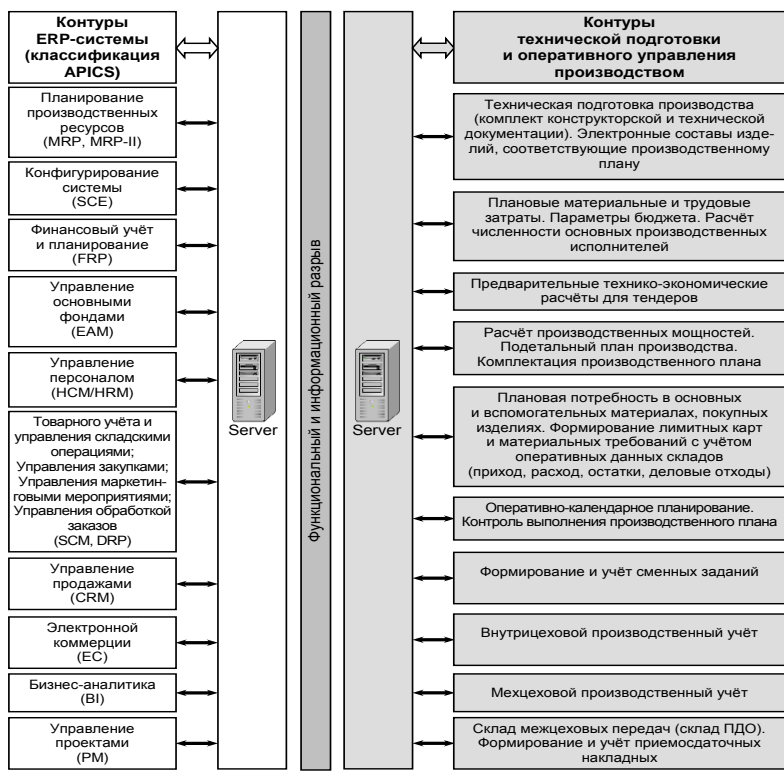


Рис. 5. Иллюстрация функционального и информационного разрыва между уровнями АСУП/ERP систем и уровнями САПР/CAD, АСУПП /MES, АСУТТ/CAM [17].

Анализ результатов внедрения PLM на современных предприятиях за прошедшие 30 лет показал, что технологии и модели управления ЖЦ позволяют, во-первых, на конструктивной основе связать, оценить и проанализировать эффективность процессов автоматизированного управления СТО и по «горизонтали», и по «вертикали», а также по времени с точки зрения конечного результата — качества выпускаемой предприятием продукции; и, во-вторых, указанные технологии в наибольшей степени влияют на совокупную стоимость владения выпускаемой продукцией, включающей в себя суммарные затраты на этапе проектирования, производства, эксплуатации и утилизации [24, 26, 27, 30, 36].

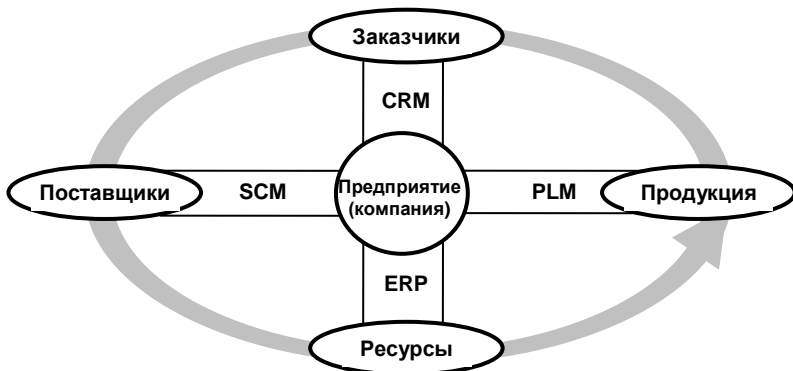


Рис. 6. Распределение информационных систем по целевой направленности [24].

ERP — ИТ и ИС, поддерживающие интегрированное планирование всех бизнес-ресурсов предприятия, CRM (Customer Relationship Management) — управление взаимодействием с заказчиком, SCM (Supply Chain Management) управление цепочками поставок.

На рис. 6 проиллюстрировано место технологий PLM с точки зрения их целевой направленности.

На рис. 7 показано место и основные функции перечисленных зарубежных ИТ. Каждая из систем ERP, CRM, SCM влияет на эффективность соответствующих процессов на отдельных этапах ЖЦ СТО, но вместе с тем не оказывают прямого воздействия на разрабатываемую и выпускаемую продукцию. Системы же PLM в первую очередь ориентированы на конечный результат — производство СТО в требуемые сроки и с нужным качеством, а также гармонизированное с пожеланиями заказчика его обслуживание. Для этого в рамках PLM организуется управление определенной совокупностью процессов, обеспечивающих решение задач формирования и поддержания *единого информационного пространства* (ЕИП) на всех этапах ЖЦ СТО [17, 18–21, 24].

Особая актуальность и необходимость создания в настоящее время ЕИП вызвана тем, что разные АС и ИС, обеспечивающие ЖЦ СТО, имеют различные организации и структуры исходных и результирующих данных. На рис. 8 показано, как исходные и выходные данные (а в общем случае также информация и знания) об изделии (СТО), а также выполняемых процессах и расходуемых ресурсах совместно используются объектами и субъектами, участвующими в его ЖЦ.

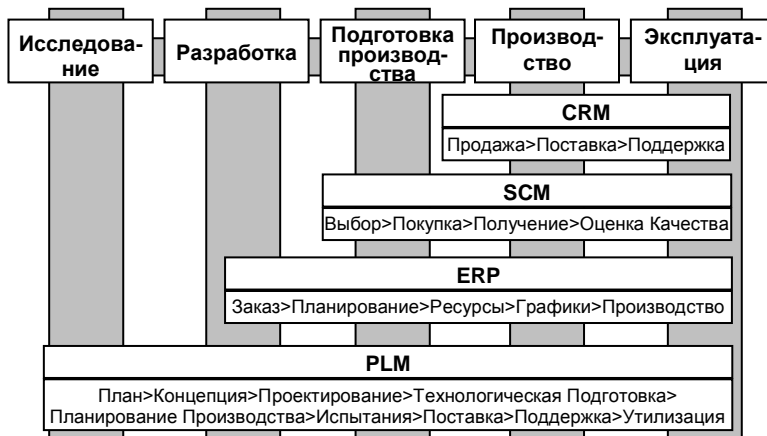


Рис. 7. Распределение систем управления по этапам ЖЦИ [24].

Чтобы на конструктивном уровне реализовать указанные процессы информационного взаимодействия, необходимо следующее:

- 1) создание формализованных моделей (математических, логико-алгебраических, логико-лингвистических, комбинированных), описывающих состав, структуру, технологии создания, использования, послепродажного обслуживания соответствующих СТО;
- 2) во-вторых, наличие методов, алгоритмов, методик манипулирования указанными моделями.

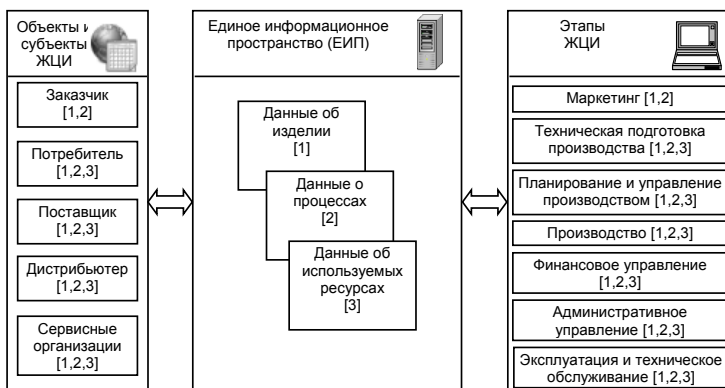


Рис. 8. Совместное использование данных (информации, знаний) об изделиях, процессах и ресурсах на различных этапах ЖЦ СТО (изделия) [17].

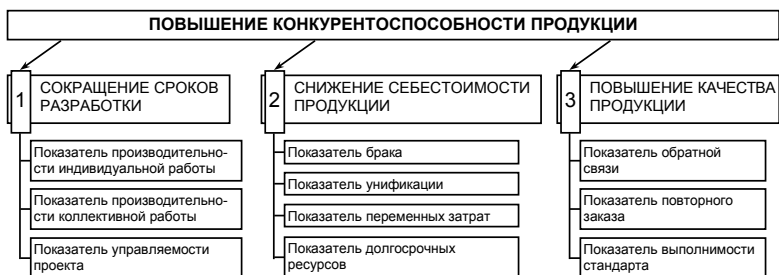


Рис. 9. Типовые цели задачи и показатели эффективности внедрения PLM системы [24].

Кроме того, в каждом конкретном случае (для каждого конкретного СТО) следует четко определить цели, задачи внедрения PLM-системы, а также те количественные и качественные показатели, с помощью которых можно оценить эффективность внедрения данной системы. На рис. 9 показан пример задания типовых целей, задач и показателей эффективности внедрения систем PLM [24, 38–40, 44, 47].

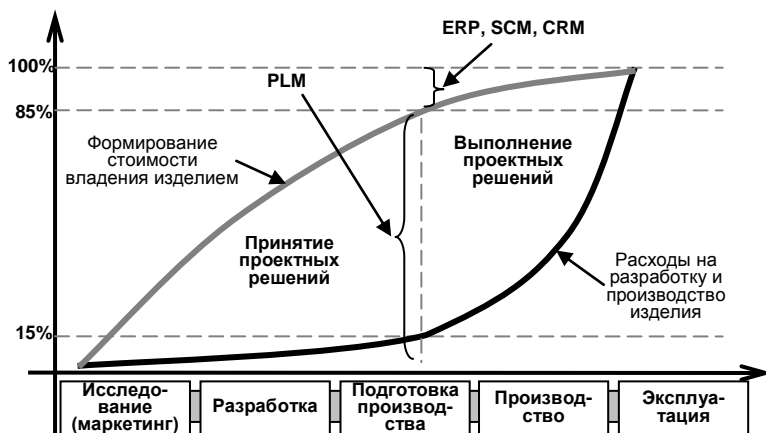


Рис. 10. График формирования стоимости владения изделием [24].

На рис. 10 приведена качественная функциональная зависимость стоимости владения СТО от этапа ЖЦ и от тех ИТ, которые поддерживают данный этап. Из анализа этой зависимости следует, что на этапах исследования, разработки и подготовки производства фактически тратятся в среднем около 15% общих объемов реальной стоимости владения изделием, стоимость же самих управленческих решений,

принимаемых на этих этапах, еще задолго до начала производства и эксплуатации, составляет 85% [24, 51]. Указанное обстоятельство говорит о чрезвычайной важности начальных этапов в ЖЦ создаваемой продукции и необходимости тщательного обоснования принимаемых управленческих решений как на данных, так и на всех последующих его этапах.

Внедрение технологий PLM позволяет в современных условиях повысить конкурентоспособность продукции, выпускаемой предприятиями, за счет сокращения сроков разработки, снижения себестоимости продукции, повышения ее качества. На рис. 11 на качественном уровне проиллюстрирована оценка выгод от внедрения системы PLM.

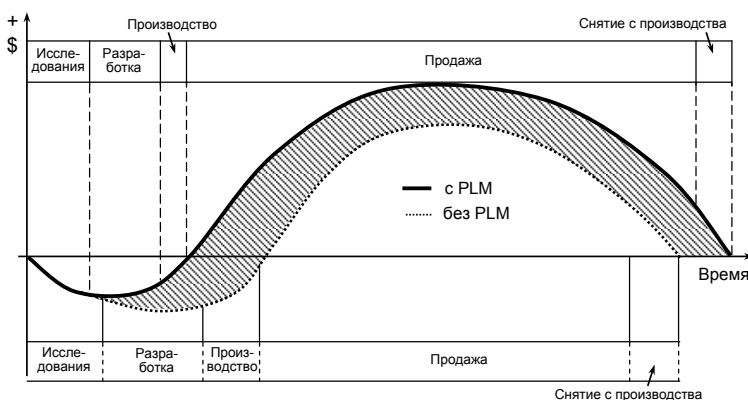


Рис. 11. Оценка выгод от внедрения системы PLM [24].

Представленный график характерен для создания и эксплуатации серийного изделия с непродолжительным циклом активного использования, но массовыми продажами [24]. Это означает, что для сложных наукоемких изделий с длительным циклом эксплуатации и изготавливаемых в штучном варианте, график потока денежных средств будет иметь другой вид. Заштрихованная область между двумя кривыми на рис. 10 характеризует суммарные выгоды от внедрения PLM-системы. Из анализа рис. 11 видно, что эта система позволяет сократить отток денежных средств на затратных этапах и увеличить приток денежных средств на постпроизводственных этапах ЖЦ [24, 25–27, 30, 48, 49].

В целом анализ результатов внедрения PLM-систем и технологий позволяет выделить следующие их технические и экономические преимущества [17, 19–21]:

- возможность организовать параллельное производство наукоемких изделий несколькими предприятиями (параллельный инжиниринг), что существенно сокращает время разработки;
- планирование и управление бизнес-процессами предприятий, участвующих в ЖЦИ, на основе результатов функционального моделирования, расширение и совершенствование кооперационных связей в форме «виртуального предприятия» и электронного бизнеса;
- значительное сокращение числа ошибок и переделок в конструкторско-технологической документации, что приводит к сокращению сроков реализации проектов и существенному повышению качества изделия (от 10 до 30 процентов);
- обеспечение интегрированной логистической поддержки ЖЦИ;
- сокращение затрат и трудоемкости процессов технической подготовки и освоения производства новых изделий (от 40 до 60 процентов), сроков вывода на рынок новых конкурентоспособных изделий (от 25 до 75 процентов), брака и затрат, связанных с внесением изменений в первоначальную конструкцию изделия (от 23 до 73 процентов);
- увеличение объема продаж, обеспеченного эксплуатационной ЭТД в соответствии с требованиями международных стандартов (до 30 процентов);
- сокращение затрат на эксплуатацию, обслуживание и ремонты изделия (от 40 до 60 процентов).

В настоящее время на российском рынке предлагается более десяти автоматизированных и информационных систем отечественных и зарубежных компаний, продвигаемых как системы класса PLM. В табл. 1 и 2 перечислены некоторые из указанных систем, а также представлены контуры управления ЖЦ СТО, которые ими охватываются, приведены сайты Интернета, где можно получить более подробную информацию о данных системах [17–21, 35, 36, 47–54].

Анализ содержания данных таблиц показывает, что все перечисленные системы PLM имеют базовый набор технологий, который соответствует уровню систем PDM. Этот класс ИС существует довольно давно и поэтому развит в наибольшей степени. Также в представленном на рынке многообразии систем PLM присутствуют средства интеграции с системами CAD/CAM и технологиями визуализации. Все множество перечисленных поставщиков условно разделим на три группы [24, 44–54]. В первую из них входят разработчики, которые

эволюционно пришли к PLM от САПР (UGS, Dassault Systems, PTS, АСКОН). Во вторую группу входят разработчики, которые пришли к PLM из ERP (SAP, BAAN). И, наконец, в третью группу входят разработчики, которые начали свое развитие с систем PDM (Product Data Management) — ИНТЕРМЕХ, НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», Lotia Soft.

Из анализа представленных таблиц следует, что лишь немногие разработчики систем PLM к настоящему времени реализовали весь перечень функций необходимый на практике. Это прежде всего функции взаимодействия с FRP, MRP, MES, SCADA системами, а также системами, обеспечивающими сервисное обслуживание. На рис. 12 и 13 в агрегированном виде описаны основные функции и задачи, решаемые в рамках соответственно зарубежной и отечественной систем PLM, в которых в максимальной степени была реализована исходная концепция управления ЖЦ СТО [17, 24].

Подводя краткий промежуточный итог современного состояния развития систем управления ЖЦ искусственно созданных объектов (в том числе СТО, СОТО), отметим, что, несмотря на достаточно высокий уровень автоматизации и интеграции процессов проектирования, производства, эксплуатации и сервисного обслуживания в указанных системах, существует целый ряд методологических, технико-технологических и организационных проблем снижающих эффективность их внедрения и модернизации.

Таблица 1. Отечественные и зарубежные разработчики PLM-систем, представленные на рынке РФ

PLM-система	Разработчик	Сайт
Teamcenter	UGS (США)	www.ugs.com www.teamcenter.ru
Windchill	PTC (США)	www.ptc.com
ENOVIA	Dassault Systems (Франция)	hppt://www.3ds.com
Baan PLM	Бaan (Франция)	hppt://www.ssaglobal.com
mySAP PLM	SAP (Германия)	www.sap.com
Lotia PLM	Lotia Soft (Россия)	hppt://www.lplm.ru/
PDM STEP Suite	НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика» (Россия)	hppt://pss.cais.ru/
ЛОЦМАН:PLM	Аскон(Россия)	hppt://www.ascon.ru/
Search	Интермех(Белоруссия)	hppt://www.intermech.ru

Таблица 2. Зарубежные и российские компании-разработчики
PLM-систем

Компания-разработчик PLM-системы (класс системы)	Контуры PLM-системы								
	CAD	CAM				PDM	FRP	MRP	MES
		проектирование маршрутных расщепов	проектирование технологических процессов	подетальное сводное материальное нормирование + оптимальный раскрой	управляющие программы для ЧПУ				
Dassault «Hi-end»	Catia	—	Catia						
Dassault «Mid-range»	Solid Works	—	—	—	CAM-Works	Enovia, Delmi, Smarteam	—	—	—
UGS «Hi-end»		—	Uni-graphics			PDM Works	—	—	—
UGS «Mid-range»	Solid Edge	—	NX CAM Express	—	NX CAM Express	Teamcenter	—	—	—
PTC «Hi-end»	Pro/Engineer	—	Pro/	Engineer	Wildfire	Teamcenter Express	—	—	—
MORINET Global Edition «Mid-range»	Solid Edge	—	MORI APPL., MAPPS-III	—	MORI APPL., MAPPS-III	Wildchill	—	—	MORI Monitor
Аскон «Mid-range»	Компас 3D	Вертикаль		Материальное нормирование в явном виде	ГЕММА 3D	MORI SERVER	—	—	—
Топ Системы «Mid-range»	T-FLEX CAD 3D	—	ТехноПро	Материальное нормирование в явном виде	T-FLEX ЧПУ	T-FLEX DOCs	—	—	—
НИИП «Интермех» «Mid-range»	CADMech	TechCard		Материальное нормирование в явном виде	—	Search	—	—	—
Stalker «Mid-range»	Интеграция в ЕИП	Stalker NRM	Stalker Tech	Stalker NRM (Автоматизированное материальное нормирование, оптимальный раскрой)	Интеграция в ЕИП	Stalker PDM	Stalker FRP	Stalker MRP	Stalker MES

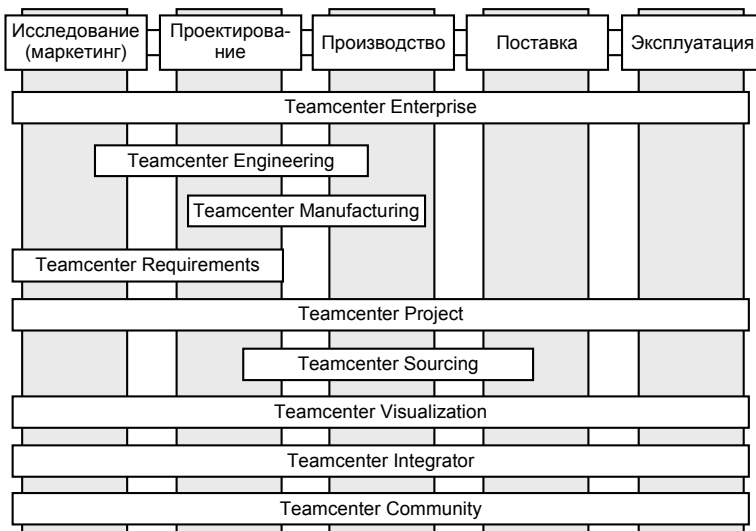


Рис. 12. Состав PLM-системы Teamcenter [24].

К числу указанных проблем, выявленных к настоящему моменту времени в ходе создания и применения PLM-систем, можно отнести следующие [7, 8, 10, 13, 16, 17, 24]:

- в ряде случаев при автоматизации процессов управления ЖЦ СТО *не проводится* всесторонний критический анализ существующих (неавтоматизированных) технологий сбора, обработки информации и принятия проектных и оперативных решений, не вырабатываются предложения и рекомендации по их совершенствованию, переходу на новые интеллектуальные информационные технологии (не проводится реинжиниринг существующих обеспечивающих, вспомогательных и бизнес-процессов и, по сути, автоматизируется непроизводительный труд), не обосновывается необходимая автоматизация проектной, производственной и сервисной деятельности каждой конкретной организации;
- при автоматизации процессов управления ЖЦ СТО не в полной мере используются возможности современных методов и алгоритмов комплексного моделирования и многокритериальной оптимизации для обоснования и принятия решений, связанных с повышением качества обслуживания СТО и оперативного учета соответствующих требований заказчика при модернизации и развития указанных объектов, мало положительных примеров ис-

- пользования современных методов и алгоритмов оптимального управления при расширении контуров обратной связи, создаваемых с целью повторного использования СТО или его компонентов (материалов) при проектировании новых СТО;
- в PLM-системах наблюдается значительная несогласованность по целевой ориентации, техническому, математическому, программному, информационному, организационному обеспечению АС различных уровней управления, АС, находящихся на одном уровне в рамках фиксированной иерархической структуры соответствующей организации;
 - в большинстве PLM-систем еще не обеспечивается требуемая ориентация каждой конкретной организации на оптимизацию использования имеющихся в наличии ресурсов и повышение в целом эффективности ее функционирования; об этом, в частности, свидетельствует факт, что в общем числе задач, решаемых в АС, доля оптимизационных задач всего лишь несколько процентов;
 - во многих PLM-системах отсутствует необходимое программно-математическое обеспечение для проведения системного анализа функционирования организации в целом и собственно функционирования ИАСУП, управления качеством их функционирования, не обеспечивается в должной мере учет социально-экономических и экологических аспектов устойчивого развития при разработке методов управления ЖЦ СТО;
 - развитие программных и технических средств общения человек-ЭВМ, диалоговых процедур общения (создание интеллектуальных интерфейсов) существенно отстает от практики;
 - создание PLM-систем не увязывается соответствующим образом с задачами развития, наделением данных систем высокой степенью гибкости и адаптации к изменениям в окружающей обстановке.

На последней проблеме остановимся более подробно, так как в современных условиях ведущие производители компьютерных технологий и систем осознают необходимость и важность проблем создания и внедрения в XXI веке концепции адаптивного управления и самоорганизации в информационную сферу. Указанные ИТ XXI века уже определены как «естественные», «органичные» (Organic IT). Данной терминологией аналитики из Forrester Research [32–33], хотя подчеркнуть необходимость более органичного, естественного, непосредственного использования ИТ в интересах бизнес-приложений. Внедрение Organic IT призвано решить следующие три группы задач [31–34]:

Бизнес процессы концепции PLM-системы Stalker

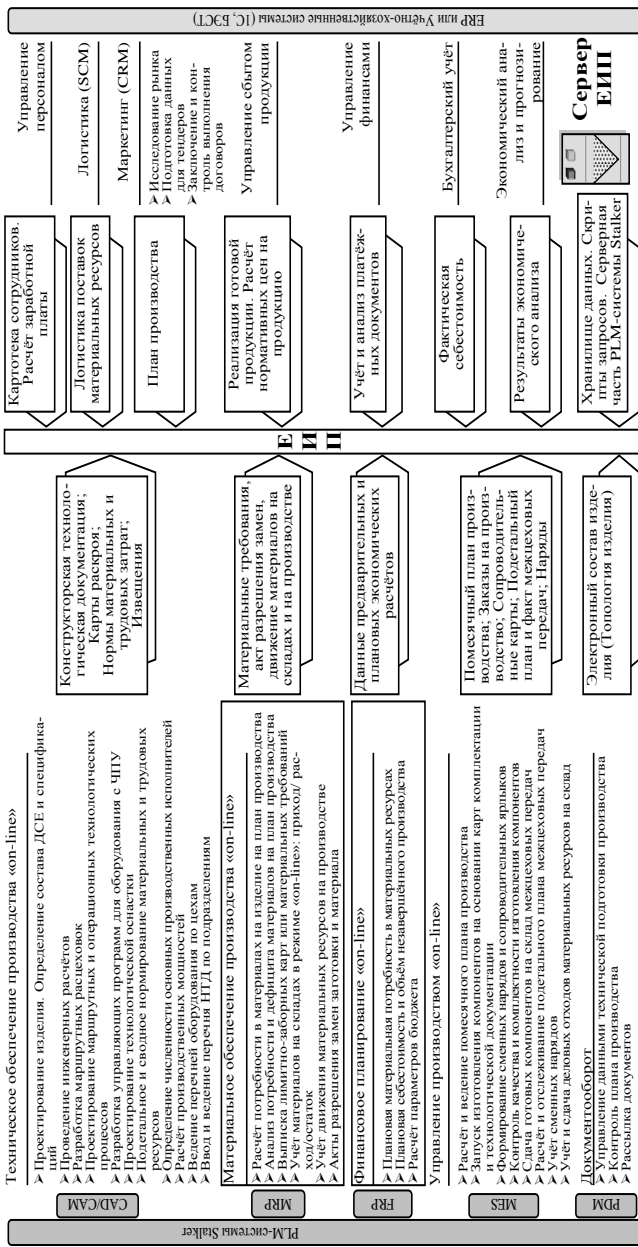


Рис. 13. Концепция PLM-системы Stalker [17].

- 1) эффективное использование ресурсов (Utilization) — данная технология должна допускать масштабирование ресурсов адаптивных ИАСУП (АдИС) вверх и вниз без перерывов в обслуживании; по своей надежности данные системы должны быть подобны современным энергетическим или телефонным сетям;
- 2) интеграция (integration) — Organic IT должны позволять легко и просто объединять разнородные технологии;
- 3) управляемость (manageability) — Organic IT должны поддерживать процессы автоматической инсталляции, балансировки нагрузки, обнаружения неисправностей и восстановления, оставляя оператору возможность вмешательства только в условиях нештатных ситуаций.

В качестве конкретных примеров продвижения к «естественным» компьютерным системам со стороны крупных корпораций-производителей информационных услуг перечислим следующие: Dell — *Dynamic Computing*; Hewlett-Packard — *Adaptive Infrastructure (Adaptive Enterprise)*; IBM — *Computing On Demand; Autonomous Computing*; Microsoft — *Dynamic Systems*; Sun Microsystems — *NI*. Будущие PLM-системы, как и все другие компоненты АдИС, должны обладать такими свойствами как *проактивность, самоконфигурирование, самообслуживание, самооптимизация, самолечение, отказоустойчивость (самозащита)* [29–34, 58–59].

Проведенный анализ показал, что создание новых поколений PLM-систем, базирующихся на принципах адаптации и самоорганизации, порождает наряду с перечисленными ранее проблемами целый ряд принципиально новых *научно-методологических* проблем. К их числу можно отнести проблему обоснования состава, структуры, количественных и качественных характеристик информации, необходимой для эффективного управления как самими бизнес-приложениями, так и информационными системами (АСУП/ERP, САПР/CAD, АСУПП/MES, АСУ ТП/CAM, PLM), обеспечивающими успешную реализацию бизнес-процессов. В этой связи в числе первоочередных задач, требующих своего решения, можно назвать следующие [16, 29]:

- формирование и обоснование системы показателей меры информации, необходимой для эффективного функционирования адаптивных ИАСУ (для различных классов потребителей и приложений);

- разработка и обоснование методов и алгоритмов определения значений показателей меры информации;
- разработка и обоснование структуры системы регулярного измерения информации;
- разработка и обоснование методов анализа и синтеза адаптивных технологий организации и реализации процессов генерирования, регистрации, сбора, передачи, накопления, хранения, поиска, переработки и выдачи информации конечным пользователям с учетом объективных потребностей в информации и объективных предпосылок реализации перечисленных процессов;
- разработка и обоснование моделей, методов и алгоритмов адаптивного управления качеством информации.

2.2. Необходимость перехода к новой концепции управления ЖЦ искусственно созданных объектов. Осознание отечественными и зарубежными научными школами особой актуальности решения перечисленных проблем создания и внедрения новых поколений систем управления ЖЦ искусственно созданных объектов привело к необходимости проведения множества фундаментальных и прикладных междисциплинарных исследований [17, 24, 28–29, 60–62].

В качестве первого примера такого рода исследований можно привести международный проект Promise [61], в котором участвовали 22 организации из Евросоюза, Швейцарии, Японии, Австралии и США. Данный проект был успешно завершен в 2008 г. В результате выполнения этого проекта предложена более совершенная технология управления ЖЦ, которая получила название CL₂M (Closed Loop Lifecycle Management — управление ЖЦ с обратной связью). На русском языке в настоящее время, к сожалению, нет публикаций, посвященных сущности этой новой технологии, являющейся естественным развитием PLM-технологии. Поэтому рассмотрим более подробно основные концептуальные положения методологии управления ЖЦ, разработанной в проекте Promise.

В проекте Promise рассматриваются три фазы ЖЦ СТО:

- 1) начальная (Beginning of life — BOL) — фаза создания, включающая в себя проектирование и производство;
- 2) средняя (Middle of life — MOL), включающая в себя применение (использование), техническое обслуживание и различные услуги, в том числе ремонт;
- 3) конечная (End of life — EOL), которая может характеризоваться различными сценариями: повторным использованием изде-

лия после его модернизации, повторным использованием составных частей или материалов изделия после его разборки, применением новых материалов с улучшенными свойствами, передача (продажа) для использования по новому назначению или для уничтожения.

Проект Promise фокусирует внимание на полном ЖЦ, но наибольший акцент делается на необходимости обеспечения обратной связи двух последних фаз (MOL и EOL) с первой фазой — BOL. Это вызвано следующими обстоятельствами:

- обмен информацией между этапами, входящими в состав BOL — проектированием и производством — осуществляется достаточно эффективно, благодаря таким интеллектуальным информационным системам, как CAD/CAM. Системы PDM и КМ (управления знаниями) также эффективно используются предприятиями промышленности и поставщиками;
- поток информации между BOL, MOL и EOL гораздо слабее. Для большинства технических изделий, особенно высокотехнологичных, выработавших назначенный для них ресурс (изделий бытовой электроники, транспортных средств, холодильников, стиральных машин и т. д.) поток информации о них практически обрывается после поставки их потребителю, так как контур обратной связи от потребителей к разработчикам и производителям отсутствует.

В современных условиях в связи с постоянным изменением внешних условий компании пытаются найти новые пути создания привлекательности для потребителя выпускаемой ими продукции и за счет этого получить преимущество перед конкурентами. В XX веке первые шаги на пути создания изделия были нацелены на стоимость изделия, его надежность или время выхода на рынок. Достижение иных преимуществ на рынке не предусматривалось.

В настоящее время акцентируется внимание на следующем нововведении: изделие должно отличаться от других изделий на рынке, также надежных, доступных по цене и быстро выходящих на рынок. Управление полным ЖЦ изделия (в нашем случае СТО) является критическим элементом на пути удовлетворения нужд заказчика на протяжении всего ЖЦ без взвинчивания стоимости, снижения качества или задержки поставки. Способность промышленности выпустить не просто продукт, а целостную систему «продукт + поддерживающие его сервисы» в настоящее время ограничена информационной брешью между BOL и MOL/EOL.

Цель проекта Promise состояла в разработке нового поколения систем сбора, обработки и управления потоком информации о состоянии изделия в процессе его ЖЦ, а также в обеспечении непрерывного электронного преобразования данных и информации в знания и закрытие за счет этого информационной брешы между BOL и MOL/EOL [50, 61–67, 70].

Эта информация и знания, как показывает анализ, позволит всем участникам ЖЦ изделия (менеджерам, разработчикам, изготовителям, обслуживающему персоналу, персоналу ремонтных органов и др.) организовать управление состоянием изделия на любой стадии его ЖЦ, в любое время и в любом месте. Для достижения названной цели предусматривалось решение следующих основных задач.

1. *Разработка моделей изделия и процессов, характерных для каждой фазы его ЖЦ, и их интеграция в комплексную модель ЖЦ изделия.*

Эти модели послужат основой для разработки новых модулей программного обеспечения принятия решений на различных этапах ЖЦ изделия, связанных с диагностикой его состояния, профилактическим обслуживанием, снятием с эксплуатации, адаптацией производства к новым требованиям к изделию, разработкой систем эксплуатации, производства, технического обслуживания, логистической поддержки и т. д. Этими модулями можно будет управлять, используя различные виды каналов связи (проводных, беспроводных и т. п.), в том числе Интернет.

2. *Разработка новой PLM-системы и информационно-телекоммуникационной инфраструктуры для стадии эксплуатации изделий, основанной на встроенных интеллектуальных информационных датчиках, приборах и исполнительных устройствах.*

Новое поколение PLM-систем должно быть сопряжено с распределенными базами знаний. В связи с этим предусматривается разработка и внедрение следующих элементов новой PLM-системы [50, 61, 70]:

- встраиваемых в изделие интеллектуальных информационных сенсоров и приборов (например, радиочастотных меток — RFID-tags, приемников GPS- и GSM-сигналов), позволяющих осуществлять глобальное и локальное позиционирование изделий, получать и предварительно обрабатывать данные и информацию о состоянии изделия, а также сведения о необходимом объеме его обслуживания;

- встраиваемых в изделие интеллектуальных информационных сенсоров для контроля технического состояния изделий (smart tags), обеспечивающих непрерывное накопление и обработку данных, информации и знаний о режимах функционирования изделия в течение его ЖЦ, а также сведений о степени удовлетворенности заказчика готовым изделием и создания на этой основе лучших, ориентированных на заказчика, устойчиво развивающихся изделий, процессов и услуг;
 - мобильных телекоммуникационных систем и средств для беспроводного считывания и передачи данных со встроенных в изделие интеллектуальные информационные сенсоры;
 - программного обеспечения для беспроводного Интернет-соединения мобильных средств считывания информации с PLM-системами в любом месте мира;
 - программного обеспечения, которое позволит с учетом разграничения доступа распределять данные, информацию и знания между субъектами управления в любое время и в любом месте мира. Этот модуль замыкает информационный контур между MOL/EOL и BOL.
3. *Разработка новых стандартов, которые позволят технологиям и инструментарию, созданным в рамках проекта Promise, выйти на рынок и быстро создать необходимые условия для разработки новых инновационных применений.*
 4. *Разработка новых рабочих и бизнес-моделей, необходимых всем участникам ЖЦ для использования новых технологий и инструментов.*

По итогам выполнения проекта Promise всем участникам ЖЦ СТО предоставляется важное концептуальное бизнес-предложение: одновременно с созданием ценностей заботиться о преобразовании информации, собираемой на всех этапах ЖЦ, в знания, что позволит улучшить качество товаров и услуг, обеспечить эффективное и устойчивое развитие производства.

Основной результат проекта Promise в конечном счете состоит в разработке методологии замыкания информационных потоков о состоянии изделий на этапах MOL и EOL на разработчиков и изготовителей.

Прерывание потока данных и информации об изделии, прежде чем оно закончит свой ЖЦ, не позволяло ранее использовать профессиональные опыт и знания специалистов по техническому обслуживанию, ремонту и рециклингу (повторному использованию материалов) при проектировании и производстве.

Контуры материальных и информационных потоков, охватывающих все стадии ЖЦ изделия, построенные на основе исследований по проекту Promise, представлены на рис. 14.

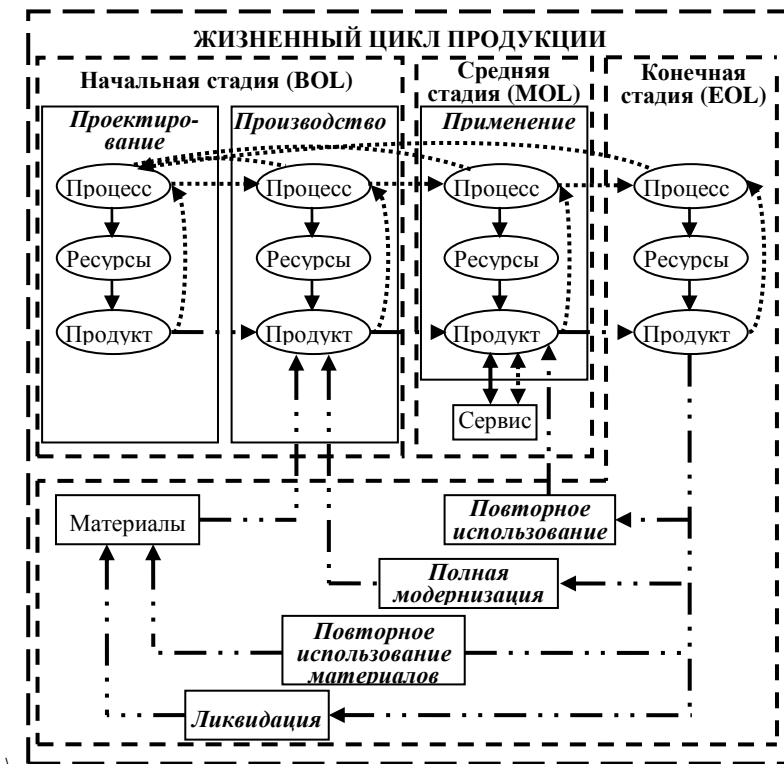


Рис. 14. Замкнутый контур управления ЖЦ (CL₂M).

Методология проектирования Promise предусматривает, начиная с этапа концептуального проектирования, разработку проекта с учетом сохранения окружающей среды (Design-For-Environment — DFE), потребностей пользователя (Design for Use — DFU), производителя (Design-For-Manufacturing — DFM), сервисных органов (Design-For-Service — DFS) и других участников ЖЦ. Для ее реализации необходимо выполнение двух условий: 1) возможность получения информации о состоянии изделия на любой стадии его ЖЦ и 2) наличие каналов передачи этой информации разработчику и производителю. Толь-

ко в этом случае появится возможность повышения конкурентоспособности изделия и его устойчивого существования на рынке.

Завершая обзор проекта Promise, отметим ряд его характерных положений, не отмеченных ранее:

- возможность сбора данных и информации в перспективных системах CL₂M не только с датчиков, но и из других источников информации;
- фильтрация и агрегирование исходных данных с целью получения информации, поддающейся интерпретации, преобразование ее в знания, необходимые для принятия решений или иной работы аналитического характера;
- более глубокая интеграция персонала, процессов и информации, чем в PLM.

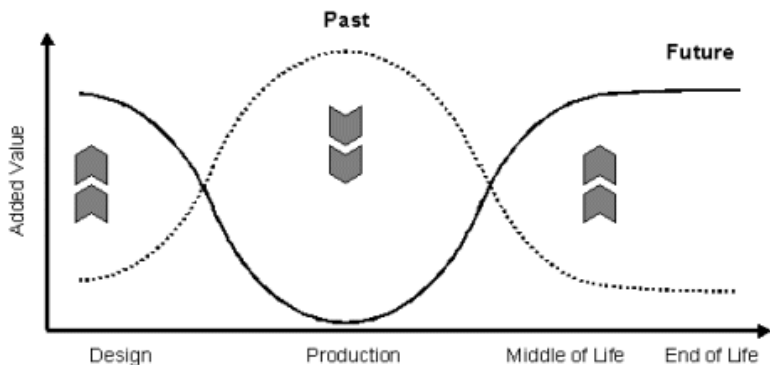
Целевая ориентация новой концепции CL₂M — обеспечение принятия управленческих решений в течение ЖЦ изделия на основе *знаний*. Система управления ЖЦ изделием будет функционировать по следующей технологии:

Данные → Информация → Знания → Решение → Действие → Данные

Методология CL₂M расширяет область применения PLM до LM, т. е. до управления не только техническими изделиями, но и любыми искусственными объектами, в том числе и организационными, например, предприятиями промышленности, здравоохранения, цепи поставок, технологии изготовления лекарств, продуктов питания и другими объектами. Ее можно также применить по отношению к людям, животным, инфраструктуре и услугам.

Внедрение рассмотренной методологии в практику приведет к существенному изменению характеристик цепи создания ценности (стоимости), которое иллюстрируется графиком, представленным на рис. 15 и пересмотру роли технического обслуживания и ремонта (ТОиР) в управлении ЖЦ и подходов к его организации [62].

Несмотря на то, что последние десятилетия концептуальные методологические основы организации ТОиР получили значительное развитие [62], негативный оттенок отношения к нему сохранился. ТОиР по-прежнему рассматриваются как вынужденная мера, направленная на предотвращение нежелательных ситуаций, вызванных отказами техники. Подразделения ТОиР считаются затратными, не создающими прибыли. Однако если рассмотреть роль ТОиР с точки зрения управления ЖЦ, то обнаружится совершенно иная картина. Остановимся на данном положении более подробно.



(adapted from Browne et al, 1994)

Рис. 15. Изменение характеристик цепи формирования ценности [61].

Очевидно, что управление ЖЦ необходимо для обеспечения устойчивого развития общества. С начала промышленной революции люди улучшают качество жизни человека, увеличивая возможности производства. Расширение производства приводит к увеличению потребления природных ресурсов и энергии, а также к проблемам утилизации непригодной к дальнейшему использованию продукции. Масштабы индустриальной деятельности уже достигли предела. Нельзя больше истреблять ресурсы и энергию и избавляться от отходов, не принимая во внимание сильное воздействие этой деятельности на окружающую среду. Поэтому меняется парадигма производства: от «Как произвести продукцию наиболее рациональным образом?» к «Как избежать выпуска новой продукции и обеспечить удовлетворенность потребителя и корпоративные выгоды?» [63]. Методология CL₂M, предусматривающая замкнутый цикл производства, позволяет решить эту проблему. Современную концепцию замкнутого производства можно выразить следующим образом: обновление функций продукции на основе использования старого материала. Возможны несколько путей возвращения материала в производство, каждому из которых соответствует свой ЖЦ продукта, характеризующийся следующими особенностями (см. рис. 14):

- длительное использование за счет своевременного ТОиР;
- повторное использование продукта по новому назначению;
- повторное использование составной части продукта;
- повторное использование материалов, из которых изготовлен продукт.

Для реализации замкнутого производства необходимо управление ЖЦ продукции, цель которого — обеспечить в каждый заданный период времени следующее:

- сохранение изделия в том состоянии, которое соответствует требованиям пользователя;
- минимальную нагрузку на окружающую среду;
- корпоративные интересы участников ЖЦ.

Существуют две причины, по которым необходимо управлять состоянием выпущенной продукции:

- 1) состояние изделия изменяется вследствие повреждения или изнашивания,
- 2) изменение требований со стороны заказчика или общества.

В обоих случаях первыми мероприятиями, которые следует рассмотреть, являются ТОиР и частичная модернизация, так как ТОиР способствуют снижению нагрузки на окружающую среду. Если эти мероприятия не дают нужный результат, то необходимо рассмотреть возможность полной модернизации продукции. Целесообразность производства новой продукции следует рассмотреть в последнюю очередь.

Таким образом, в современных условиях бизнес-модель замкнутого производства должна отражать деятельность предприятия не только как поставщика продукции, но и как поставщика услуг, связанных с управлением ЖЦ. При этом ТОиР может быть одной из основных услуг, связанных с управлением ЖЦ. В этом случае предприятие будет продавать не только продукцию, но и сопровождающие ее услуги. Снижая стоимость ТОиР, предприятие будет увеличивать свою прибыль.

Для совершенствования управления состоянием находящихся в эксплуатации изделий и в развитие главной идеи CL₂M — обеспечения принятия управленческих решений в течение ЖЦ изделия на основе глубоких знаний в Европейском Союзе наряду с проектом Promise в 2005–2009 гг. выполнен другой комплекс исследований под общим названием DYNAMITE — Dynamic Decisions in Maintenance, направленный на разработку перспективного метода ТОиР, основанного на принятии решений о необходимости и объеме обслуживания (ремонта) изделия в реальном времени в процессе его работы [66].

В результате этих исследований разработаны практические рекомендации по применению новых решений, предложенных в проекте Promise, и обеспечивающих более эффективный вклад ТОиР в выполнение таких задач, как создание условий для устойчивого развития промышленности и общества, сохранение ресурсов и снижение нагрузки на окружающую среду, управление безопасностью персонала

и разнообразными рисками, повышение безотказности, готовности и конкурентоспособности оборудования.

Будущее ТОиР в проекте DYNAMITE связывается с широким применением электронного обслуживания (e-maintenance). E-maintenance должно отвечать на следующие вопросы:

- какое оборудование и когда нуждается в обслуживании или/и ремонте,
- кто его должен выполнить,
- имеются ли в наличии и готовы ли для выполнения работ запасные части и необходимые руководства.

В этом случае на встроенные в будущие изделия интеллектуальные информационные сенсоры и приборы, о которых речь шла ранее (например, радиочастотные метки, Smart tags, построенные на других физических принципах, приемники GPS- и GSM-сигналов и т. п.) можно будет наряду с функциями позиционирования, контроля и диагностики также возложить функции автоматического составления отчетов о состоянии соответствующей подсистемы контролируемого оборудования, в том числе данных о всех возникающих неисправностях; об остатке ресурса изнашиваемых деталей; о ресурсе расходных материалов; загрузке оборудования и режиме его эксплуатации.

Ключевым элементом предлагаемого электронного обслуживания (e-maintenance) будут базирующиеся на Web-технологиях дистанционное администрирование, мониторинг, тестирование, диагностика, прогнозирование состояния эксплуатируемых изделий, реконфигурация их структур в случае возникновения аварийных и нештатных ситуаций и отсутствии необходимых резервов [71].

Уже в настоящее время крупные западные производители СТО и СОТО по всему миру для оказания услуг на этапе эксплуатации создают центры компетенции, которые не только замыкают на себя все юридические и финансовые аспекты послепродажного этапа, но и аккумулируют в себе информационные потоки всех этапов ЖЦИ, начиная с этапов проектирования и производства, и в последующем, отслеживают все процессы по поддержанию изделия в работоспособном состоянии.

Важная роль в решении всех этих задач отводится соответствующей подсистеме PLM. Для этого в указанной системе формируется отдельное информационное представление на состав изделия, которое обычно называют «Как эксплуатируется» (As Maintained), а в качестве основного процесса рассматривается управление конфигурацией изделия.

В рамках данного подхода удается устранить информационный разрыв между процессами материально-технического обеспечения, экс-

плуатации изделия и конструкторской подготовкой производства [17, 24]. Эксплуатирующий орган с помощью системы PLM может получать данные и информацию о том, какая конфигурация изделия является текущей, какая конфигурация должна быть после проведения ТОиР и какие операции, ресурсы и материалы необходимы, чтобы поддержать работоспособность изделия на заданном уровне [24, 61, 66].

2.3. Содержание, особенности и возможные пути реализации концепции CL₂M. В настоящее время в мире осуществляется переход от рыночной модели, ориентированной на производителя (продавца), которая долгое время обеспечивала доминирование больших компаний-монополистов, к рыночной модели, ориентированной на заказчика (покупателя). В рамках новой модели будет выигрывать тот производитель, который сможет быстрее, полнее и качественнее всех удовлетворить потребности клиента [17, 24, 67, 68].

Естественные рыночные требования по выпуску продукции в более короткие сроки и с меньшими производственными затратами сейчас дополняются требованиями по обеспечению заданного качества, определяемыми мировыми стандартами, регламентами, нормами. Поэтому в основе современной концепции управления ЖЦ продукции (концепции CL₂M) лежат принципы теротехнологии (от греч. слова *terein* — надзирать, наблюдать повсюду) и всеобщего управления качеством (TQM — Total Quality Management), которые в свою очередь трактуются в литературе по менеджменту как концепции и философии.

Теротехнология зародилась в Великобритании в конце 1960-х — начале 1970-х гг. в металлургической промышленности. Основопологающим теротехнологическим принципом обеспечения высокого эксплуатационного качества продукции является контроль с позиций эксплуатирующего персонала качества реализации всех стадий ЖЦ, предшествующих стадии эксплуатации. При этом формирование управляющих воздействий должно осуществляться с использованием всех факторов, влияющих на качество продукции: технических, технологических, экономических и организационных (рис. 16).

Теротехнология ставит перед собой следующие цели [67, 68]: снижение стоимости ЖЦ продукции; увеличение продолжительности стадии эксплуатации; полное удовлетворение требований заказчика. Такие цели ставят перед собой отрасли промышленности, производящие и эксплуатирующие дорогостоящую уникальную продукцию с дорогостоящим монтажом, менять которую через короткие промежутки времени было бы чрезвычайно расточительно.

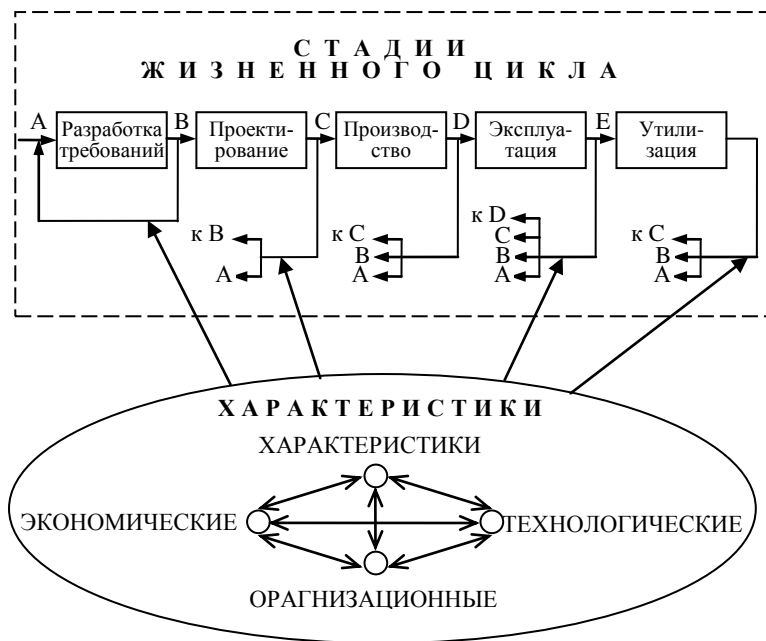


Рис. 16. Теротехнологический подход к управлению ЖЦ.

Как показывает анализ, использование теротехнологического подхода способствует снижению удельных капитальных и текущих затрат, связанных с применением и обслуживанием оборудования, улучшению его состояния и увеличению срока службы, сокращению потерь от выхода из строя оборудования, совершенствованию процесса принятия решений и взаимоотношений организаций, так или иначе связанных с эксплуатацией оборудования [67].

Ключевыми функциями системы управления, реализующей теротехнологический подход, являются: планирование потребности в ресурсах и организация их использования, координация технических мероприятий с финансовыми операциями, осуществление инноваций, мотивация, контроль и учетная деятельность.

Сформулированный выше принцип, характеризующий теротехнологический подход, можно интерпретировать как некоторый внешний принцип, который указывает, в каком направлении нужно следовать, чтобы обеспечить высокое качество эксплуатации. К путям реализации этого

подхода относятся контуры EA, EB, EC, DA, DB, CA (см. рис. 16). На вопрос, как этого добиться, следуя в указанных направлениях, наилучшим образом отвечает концепция TQM. Эта концепция вполне совместима с теротехнологической концепцией, ибо одна из целей последней — полное удовлетворение требований заказчика — полностью совпадает с целью TQM: все для клиента. Однако концепция TQM направлена на решение лишь внутренних задач предприятия, в отличие от теротехнологической концепции, объектом применения которой является ЖЦ в целом. Она реализуется в контурах ED, DC, CB и BA.

В основе концепции TQM лежат четыре базовых принципа:

- 1) в борьбе за качество продукции должен участвовать весь персонал — от рабочего до высшего менеджмента предприятия;
- 2) постоянная забота об улучшении качества;
- 3) системный подход к управлению процессами ЖЦ;
- 4) принятие решений на основе достоверных знаний.

Исходя из этих принципов, всеобщее управление качеством можно охарактеризовать как взаимное сотрудничество в организации и связанные в единое целое деловые процессы, направленные на то, чтобы производить товары и услуги, характеристики которых не только отвечают требованиям заказчика, но и превосходят их.

В качестве аналитического инструментария обеспечения качества продукции TQM предусматривается использование таких методов, как развертывание функции качества (РФК), анализ видов, последствий и критичности отказов, функционально-стоимостной анализ (ФСА), функционально-физический анализ (ФФА) и ряд других.

Все названные методы, кроме первого, обеспечивают внутренний менеджмент качества продукции на предприятии, а нас при изучении вопросов управления ЖЦ в целом интересуют прежде всего процессы взаимодействия предприятий. Поэтому уделим основное внимание методу РФК (в английской интерпретации QFD — Quality Function Deployment) [69]. В основе этого метода лежит технологическая модель процесса создания изделия, связывающая между собой заказчика, разработчика и производителя. Эта модель позволяет производить преобразования требований заказчика в требования к параметрам изделия и параметрам их производства.

Метод РФК — это экспертный метод, использующий табличный способ представления данных со специфической формой таблиц, которые получили название домов качества (ДК). Графически модель ДК представляется в виде нескольких взаимосвязанных таблиц — структурных матриц, последовательно задающих взаимосвязи между требо-

ваниями заказчика и параметрами конструкции изделия, которая должна реализовать эти требования: между критичными параметрами изделия и параметрами его компонентов; между критичными параметрами компонентов и параметрами технологического процесса их изготовления и контроля; между критичными параметрами технологического процесса изготовления и контроля компонентов и параметрами отдельных операций их изготовления.

Схематическое изображение ДК приведено на рис. 17.

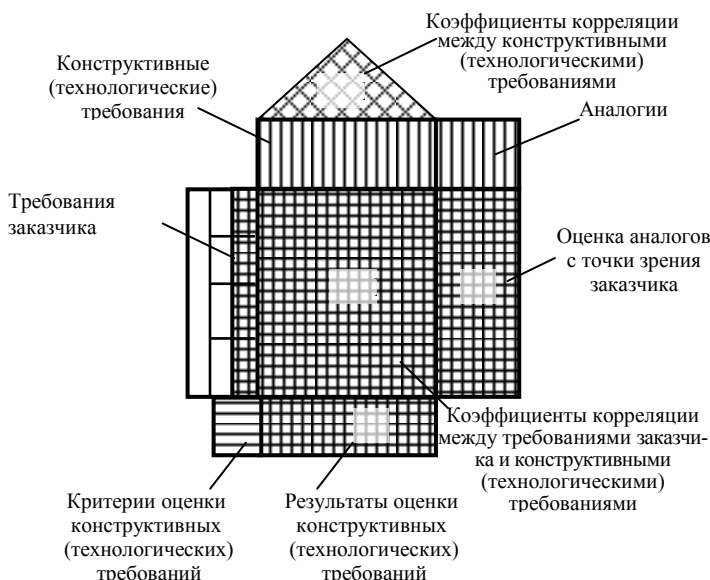


Рис. 17. Схематическое изображение дома качества.

ДК строится следующим образом. Вначале на его левой стене перечисляются требования заказчика с указанием степени их важности, которые при необходимости конкретизируются по уровням (обычно используют не более трех уровней). Затем на основе опыта и знаний в заголовке матрицы M_1 (фасад дома) помещают параметры возможных конструктивных решений, соответствующих в той или иной степени требованиям заказчика. Степень связи этих параметров оценивается экспертами качественно (например, очень сильная, сильная, слабая, нет связи). Часто этим качественным оценкам сопоставляют количественную: очень сильная — 5 баллов, сильная — 3 балла, слабая —

1 балл, нет связи — 0 или 1. Оценки заносятся в соответствующие ячейки матрицы \mathbf{M}_1 . Далее заполняется матрица \mathbf{M}_2 (крыша дома), элементы которой описывают взаимосвязи параметров конструктивных решений (например, геометрические параметры камеры сгорания влияют на расход топлива). Взаимовлияние параметров может быть и положительным, и отрицательным. Информация, содержащаяся в матрице \mathbf{M}_2 , используется для разрешения противоречий и принятия возможных компромиссов при разработке нового изделия. Правая стена дома (матрица \mathbf{R}_1) заполняется экспертными оценками соответствия параметров изделий-аналогов требованиям заказчика.

В заключение заполняется матрица \mathbf{R}_2 , в которую помещаются расчетные или экспертные оценки показателей критичности требований к конструкции. Обычно в качестве таких показателей используются степень технического и/или экономического риска, связанного с невыполнением каждого требования к конструкции изделия, и интегральные показатели важности этих требований с точки зрения удовлетворения комплекса требований заказчика к изделию в целом.

Степень риска \mathbf{R}_j ($j = \overline{1, n}$ n — число требований к конструкции изделия) задается экспертно с использованием ранее упомянутой шкалы оценок (очень высокий риск — 5, высокий — 3, незначительный — 1).

Интегральный показатель важности требований к конструкции изделия W_j в этом случае определяется по формуле

$$W_j = \sum_{i=1}^N \alpha_i \beta_{ij},$$

где α_i — важность i -го требования заказчика, β_{ij} — показатель влияния выполнения j -го требования к конструкции изделия на i -е требование заказчика, N — число требований заказчика.

Критичность j -го требования к конструкции Cr_j определяется по формуле

$$Cr_j = R_j W_j.$$

В результате ранжирования элементов множества $\{Cr_j, j = \overline{1, n}\}$ по их убыванию определяется ранг критичности j -го требования к конструкции изделия, который численно равен номеру места показателя Cr_j в полученном ряду. На выполнение требования, которому соот-

ветствует первый (максимальный) член ряда, необходимо обратить наибольшее внимание.

Далее критичные параметры конструкции изделия из модели ДК₁ преобразуются в требования для другой модели ДК₂, которая аналогичным образом строится для компонентов изделия. Подобный процесс продолжается до достижения нужной степени конкретизации.

Пример заполнения левой стены и фасада дома приведен в табл. 3. На рис. 18 приведена возможная технология развертывания функции качества.

В отличие от принятых в настоящее время в экономических науках подходов к описанию ЖЦ, которое носит преимущественно качественный характер, рассмотренный подход базируется на количественных оценках, что делает управление более эффективным. Он позволяет определить направления необходимых преобразований и последовательно и целенаправленно проводить изменения в реализуемых процессах ЖЦ, а также в моделях, их описывающих.

Таблица 3. Пример заполнения ДК

Требования заказчика				Требования к конструкции			
Уровень требований			Важность α	ТК 1	ТК 2	ТК 3	
I	II	III		β_1	β_2	β_3	
Эксплуатационные характеристики	A	A-1	3	5	-	1	
		A-2	1	3	5	-	
		A-3	5	5	-	3	
		A-4	3	1	3	1	
	B	B-1	3	1	3	5	
		B-2	1	-	5	-	
		B-3	5	3	-	5	
	C	C-1	3	-	5	-	
		C-2	1	5	-	1	
	D	D-1	3	3	-	5	
		D-2	1	-	5	-	
		D-3	1	-	1	5	
		D-4	5	5	-	-	
		D-5	3	-	5	1	
	E	E-1	1	5	3	-	
		E-2	3	-	-	5	
	Степень риска R_j				1	5	3
	Важность W_j				117	67	100
Критичность Cr_j				117	335	300	



Рис.18. Процесс развертывания функции качества.

К сожалению, исследования, направленные на внедрение метода РФК в практику управления ЖЦ и его развитие, в нашей стране практически не проводятся. Пожалуй, можно назвать лишь одну работу [67], в которой рассматриваются вопросы применения метода развертывания функции качества как инструмента управления ЖЦ элементарной товарной единицы.

Одно из направлений развития метода РФК как инструмента управления ЖЦ связано с распространением этого метода на весь ЖЦ, а не только на его начальную фазу — создание изделия (BOL) и интеграцией в CL₂M.

В заключение данного раздела кратко охарактеризуем еще одну методологию, которая используется в качестве концептуальной основы современной теории и практики управления ЖЦИ. Ее пример — Total Productive Maintenance (TPM), которая по своей сущности является проекцией TQM на стадию эксплуатации. Она направлена на снижение затрат в течение ЖЦИ, т. е. направлена на ту же цель, что и теротехнологическая концепция, и в качестве основного средства достижения этой цели, так же как и TQM, рассматривает всеобщее участие эксплуатационного предприятия от топ-менеджмента до простых рабочих в решении эксплуатационных проблем. В качестве показателей эффективности реализации данной методологии могут использоваться показатели, представленные на рис. 9.

3. Анализ результатов исследований, финансируемых Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) и направленных на решение проблем управления ЖЦ искусственно созданных объектов. Из анализа материалов, представленных в разделе 1 данной статьи, следует, что информация все в большей мере становится стратегическим ресурсом общества, его движущей производительной силой. На смену индустриальному этапу развития общества пришла новая эволюционная фаза информатизации, при которой наиболее эффективное и динамичное развитие общества возможно на основе максимально полного использования имеющихся информационных ресурсов и средств их обработки (баз данных, классификаторов, стандартов документов, компьютеров, телекоммуникаций и пр.), составляющих основу соответствующих информационных пространств.

Главным ресурсом ускоренного развития современного информационного общества уже становятся знания, а главным механизмом развития — экономика, основанная на знаниях [72]. Одними из основных, базовых элементов экономики развитых стран являются интегрированные производственные системы, ориентированные не на производителя-монополиста, а на конкретного (индивидуального) заказчика. В этих условиях для предприятий, работающих по указанной рыночной модели, острую необходимость приобретают вопросы обоснованного и своевременного приобретения (модернизации) аппаратно-программных средств, обеспечивающих информационную поддержку принятия решений в течение всего ЖЦИ от момента осознания в его потребности и до момента окончания его обслуживания у покупателя (заказчика, пользователя).

Перечисленные вопросы привели к необходимости проведения фундаментальных и прикладных научных исследований, направленных на комплексное решение проблем управления ЖЦИ (продукции) [17–19, 21, 26–29, 40–42].

Анализ их результатов показал, что всю проблематику, которая затрагивалась в указанных исследованиях можно условно разделить на три группы проблем:

- 1) интеграции и комплексной автоматизации процессов управления основными и вспомогательными проектными, производственными, логистическими, сервисными организационно-техническими системами, обеспечивающими поддержку ЖЦ конкретного изделия;
- 2) создания, использования и постоянного развития окружающего интеллектуального пространства, включающего технологии

повсеместных вычислений и коммуникаций и многомодальные пользовательские интерфейсы;

- 3) многокритериального оценивания и анализа вкладов информационных технологий и систем в основную деятельность предприятий (фирм), в том числе при выборе и реализации эффективных технологий управления ЖЦ изделий (ЖЦИ).

Кратко остановимся на содержании перечисленных проблем и тех научных результатов, которые были получены за последнее время в рамках исследований, поддерживаемых Российским фондом фундаментальных исследований.

Итак, говоря о проблемах интеграции комплексной автоматизации в контексте задач управления ЖЦИ отметим, что они имеют объективный характер и связаны с повсеместно происходящем в мире укрупнением и слиянием производителей товаров и услуг. С точки зрения информационных технологий, слияние компаний предполагает в первую очередь решение проблем интеграции двух и более информационно-производственных корпоративных информационных систем с различной идеологией, предысторией, технологической структурой и интеллектуальными возможностями. Такого рода проблемы, как уже отмечалось ранее, приходилось решать повсеместно в нашей стране в 1970–1980-е гг. при комплексировании АСУ технологическими процессами (АСУ ТП), производственными процессами (АСУ ПП) и предприятием (АСУП). Результатом такого комплексирования стало создание соответствующих интегрированных АСУП (ИАСУП).

В настоящее время данные проблемы обостряются из-за того, что отечественные АСУ приходится сопрягать (в рамках корпоративных информационных систем) с соответствующими зарубежными информационными системами, к числу которых можно отнести ERP, MES, SCADA, SCM, PLM [7, 8, 11]. В настоящий момент к числу российских пользователей перечисленных корпоративных информационных систем следует пока отнести, к сожалению, только крупные предприятия нефтегазовой сферы, электроэнергетики и тяжелого машиностроения [29].

Анализ современных тенденций интеграции и развития перечисленных информационных технологий и систем, в том числе и мобильных информационных технологий и систем (МИТ и МИС), показывает, что все ведущие зарубежные и отечественные компании, специализирующиеся в данной области, строили и продолжают строить корпоративные информационные инфраструктуры только по вертикальному принципу, руководствуясь частными критериями и плохо согласуя

собственные представления с требованиями бизнеса [73–75]. В результате реализации указанных тенденций традиционные подходы к автоматизации бизнес-процессов находятся в настоящее время если не в кризисном, то в предкризисном состоянии. При этом трудности управления современными комплексными информационными системами выходят за рамки администрирования отдельных программных сред.

Необходимость интеграции нескольких гетерогенных сред в общекорпоративные вычислительные системы и стремление выйти за пределы компании, подключившись к Интернету, формируют новый уровень сложности. Так, например, чтобы справиться с разнообразием внешних и внутренних запросов к соответствующим бизнес-приложениям, современные ИТ-компании вынуждены распределять решения в бизнес-системах по сотням и тысячам серверов. В таких условиях традиционное ручное управление (администрирование) этим многообразием информационных ресурсов становится невозможным и по организационным, и по финансовым причинам. Сегодня, по данным зарубежных аналитиков, только 30% ИТ-бюджетов компаний может направляться на развитие новых ИТ-технологий, остальное уходит на поддержку существующих. Если ничего не предпринимать, то к 2011 г. это соотношение изменится до 20:80 в пользу затрат на эксплуатацию, а в 2012–2015 гг. оно и вовсе достигнет значения 5:95.

Для преодоления указанных тенденций весьма перспективным представляется создание новых поколений ИТ и ИС, построенных на основе концепций *адаптивного управления* и *самоорганизации* [31–34, 57–59].

Внедрение технологий саморегулирующихся вычислений направлено на следующее:

1) обеспечение устойчивого автономного функционирования соответствующих распределенных гетерогенных конфигураций, способных справляться не только с аппаратными сбоями, но и самостоятельно оптимально распределять имеющиеся ресурсы, предсказывать моменты увеличения входной нагрузки, осуществлять эффективное масштабирование компонентов ИС;

2) оптимизацию динамического баланса между запросами бизнеса на сервисы и ресурсами соответствующей инфраструктуры, поставляющей эти сервисы.

Большие возможности по интеграции распределенных производственных систем предоставляются информационными и телекоммуникационными технологиями, развиваемыми в рамках Интернета и Интранета. Данные технологии становятся неотъемлемой частью миро-

вой экономики и рассматриваются как важнейшие средства, обеспечивающие существенный подъем эффективности производства XXI века, что приводит в свою очередь к резким, кардинальным изменениям его организационных структур. Основным направлением использования Интернета и Интранета в России является пока только персональное и корпоративное использование информационных ресурсов и соответственно удовлетворение индивидуальных и групповых интересов клиентов (пользователей). Довольно многочисленные отечественные сайты организаций и предприятий практически в 100% случаев выполняют лишь информационно-рекламные функции. Положительные примеры бизнес-применения Интернета и Интранета в промышленных объемах практически отсутствуют. В тоже же время за рубежом существуют многочисленные реализации Web-технологий (Web-сервисов) в рамках так называемых виртуальных предприятий (ВП), обеспечивающих рациональное (оптимальное) использование простаивающих производственных мощностей, которые появляются в ходе современного экономического кризиса.

Анализ выполненных за последние годы проектов РФФИ по рассматриваемой проблематике [103–136] показал, что к настоящему времени получен целый ряд оригинальных и интересных результатов, к числу которых можно отнести следующие положения:

- разработан метод построения гетерогенной параметрической сети, использующий единый механизм хранения, обновления и доступа к данным различного прикладного назначения в рамках единого формализма ядра САПР. Новизна метода — в возможности инкапсуляции в единую параметрическую среду конструкторских, технологических, расчетных и прочих типов прикладных знаний ЖЦИ без необходимости создания различного рода конвертеров между компонентами интегрированной САПР. Благодаря этому становится возможным унифицировать хранение информации и сделать трехмерную модель изделия единым местом хранения различной технологической информации, т. е. все размеры в системе ассоциируются с одним исходным объектом — размеры и на эскизах, и на различных чертежах не допускают неоднозначной трактовки;
- разработана и реализована архитектура предметных посредников, поддерживающая взаимодействие исследователей с интегрированным множеством информационных ресурсов. Предметный посредник реализован в инфраструктуре AstroGrid, базирующейся на технологии Web-сервисов и являющейся

наиболее продвинутой в Альянсе международной виртуальной обсерватории. Гибридная архитектура, объединяющая возможности AstroGrid и предметных посредников, предназначена для определения предметных областей, источников информации и решения задач над интегрированным множеством распределенных информационных ресурсов;

- разработаны технология и система мониторинга состояний сложных технических объектов, позволяющие непрограммирующему пользователю проводить в интерактивном или автоматическом режиме фильтрацию и интеллектуальный анализ разнотипных данных и знаний об их состоянии, а также осуществлять в реальном масштабе времени обработку сверхбольших объемов измерительной информации при наличии в ней некорректных, неточных и противоречивых данных;
- разработан язык моделирования открытых распределенных многоагентных систем, имеющих сервис-ориентированную архитектуру и позволяющих на практике реализовывать децентрализованный подход в системах управления. На основе языка создан экспериментальный прототип инструментальной среды MASDK 4.0, который обеспечивает поддержку всего ЖЦ разработки прикладных многоагентных систем, визуальное проектирование их моделей, автоматическую генерацию программного кода на основе описания моделей и предназначен для широкого круга потенциальных пользователей. Поданы предложения на проведения ОКР для разработки индустриальной версии среды;
- разработаны теоретические основы проектирования и технология создания многоагентных систем. Полученные результаты превосходят по качеству наиболее передовые зарубежные аналоги, так как обеспечивают визуальное программирование, поддержку полного ЖЦ разработки и интеллектуальную поддержку на этапе проектирования. Область практического использования включает в себя: системы управления в чрезвычайных и кризисных ситуациях; системы анализа и оценки террористических угроз, информационной безопасности, управления бизнес-процессами, логистики и другие. В качестве реального примера разработан прототип многоагентной системы для организации и управления воздушным движением в зоне аэропорта;

— разработаны интеллектуальные информационные технологии (ИИТ) комплексного моделирования самоуправляемой системы мониторинга (ССМ) состояний сложных технических объектов (СТО), позволяющие реализовать новое распределение обязанностей специалистов, участвующих в проектировании и сопровождении ССМ автоматизированного анализа измерительной информации (АА ИИ) как о самой ССМ, так и СТО. В этом случае работами по созданию специализированной операционной среды ССМ занимаются профессиональные программисты и системные аналитики с привлечением конечных пользователей (КнП) на всех этапах проектирования. Собственно формированием (синтезом) системы АА с использованием специализированных средств операционной среды должны в этом случае заниматься исключительно КнП как специалисты по эксплуатации СТО. Предлагаемое новое распределение обязанностей специалистов, участвующих в создании и эксплуатации программного продукта — ССМ АА ИИ — способствует дальнейшему повышению его качества за счет привлечения квалифицированных специалистов только в своих предметных областях (ПрОб). При этом из-за наличия интерактивного итерационного режима сквозного проектирования достигается максимальное взаимодействие всех участников проекта и комплексирование (учет) их (часто антагонистических) интересов и обеспечивается сокращение сроков получения конечного продукта за счет совмещения во времени большинства проектных работ.

Говоря о проблемах интеллектуализации процессов управления ЖЦИ, отметим все чаще звучащее в последние годы мнение о том, что интеллектуализация систем обработки информации достигла своего завершающего этапа и связана лишь с практическим внедрением идей и методов, ранее разработанных в рамках научного направления искусственного интеллекта. Однако, как показывает анализ выполненных по указанной проблематике исследований, этот тезис ошибочен [72, 77–85].

С одной стороны, крупных результатов и областей серьезных приложений пока так и не наблюдается: в имеющихся достижениях использованы в основном достаточно простые средства, обеспечивающие иногда полезные функции при минимуме интеллектуальности. Более сложные средства находят применение, как правило, только в

экспериментальных системах, еще не созревших для штатной и серьезной эксплуатации.

С другой стороны, уже сформировались и активно развиваются качественно новые составляющие интеллектуальных информационных технологий (ИИТ), обещающие решить проблему включения в них формальных аппаратов традиционной математики (вычислительной алгебры, теории множеств и др.). Эти ИИТ базируются на неалгоритмическом процессе *управления по данным, обладающим естественным параллелизмом и недетерминизмом*. Для оценки состояния в области ИИТ применительно к управлению ЖЦИ достаточно рассмотреть два основных направления их развития:

- 1) совершенствование интеллектуальных технологий и систем управления на основе междисциплинарного взаимодействия информатики, кибернетики и общей теории систем;
- 2) развитие методологических и методических основ управления знаниями (УЗ) как центрального направления совершенствования ИИТ применительно к рассматриваемым вопросам (английский перевод данного термина — Knowledge Management, КМ).

Необходимость рассмотрения междисциплинарного взаимодействия таких научных направлений, как информатика, кибернетика и общая теория систем, неоднократно подчеркивалась целым рядом исследователей и вызвана повышенной сложностью процессов организации и реализации управления ЖЦ современных искусственно созданных объектов (изделий), являющихся основным объектом исследований в данной статье. Анализ современного состояния фундаментальных и прикладных научных работ в этой области показал, что время реакции и адаптации теоретических исследований в указанной области на перемены, которые вызваны научно-техническим прогрессом, значительно превышает интервал между его очередными изменениями. Все это требует проведения упреждающих исследований, основанных на прогнозировании возможных проблем в рассматриваемой предметной области и разработке соответствующих методологических и методических основ их решения. Применительно к вопросам взаимосвязанного развития кибернетики, информатики и общей теории систем можно говорить о нескольких наметившихся тенденциях (направлении исследований) [1–9, 77–80].

Говоря о первой тенденции, отметим, что за прошедшие десятилетия эры классической (винеровской) кибернетики многие авторы делали попытки пересмотреть ее научно-методологические основы. Так,

еще в 1963 г. в статье М. Маруамы [185] появился термин «кибернетика второго порядка» (second cybernetics). В отличие от классической кибернетики (кибернетики первого порядка) в новых кибернетических системах предлагалось вводить в рассмотрение контуры положительной обратной связи для усиления полезных входных воздействий и флуктуаций и контуры отрицательной обратной связи для ослабления нежелательных входных воздействий. Н. Фоерстер в статье «Кибернетика кибернетики» [75] в 1974 г. определил кибернетику первого порядка как кибернетику наблюдаемых систем, а кибернетику второго порядка — как кибернетику наблюдения, включающую в себя наблюдателя. По мнению Н. Фоерстера, основным объектом исследований кибернетики второго порядка являются процессы взаимодействия между наблюдателем и тем, что наблюдается, и данная теория должна быть прежде всего ориентирована на живые системы, причем не столько на управление ими, сколько на познание процессов развития и нарастания биологической и социальной сложности. При этом указана [82] глубокая общность биологических объектов и современных информационных систем, связанная с их сетевой организацией.

Разрабатываемые в настоящее время архитектуры, ориентированные на сервисы и базирующиеся на концепции виртуализации своих компонент, создают материальную основу для синтеза принципиально новых информационно-вычислительных и телекоммуникационных систем, которые по своим свойствам будут приближаться к свойствам живых организмов. Одним из классиков современной кибернетики С. Биром в работах [77, 79–81] показано, как на основе нейрофизиологической интерпретации функционирования центральной нервной системы человека удастся построить оригинальную пятиуровневую модель жизнеспособной системы, в которой за счет гибкого сочетания механизмов иерархического и сетевого управления можно находить необходимый (в зависимости от складывающейся ситуации) компромисс между централизацией и децентрализацией целей, функций, задач и операций, выполняемых в соответствующей организации и определяющих ее специфику. Данную модель Бир успешно использовал при решении различных классов задач прогнозирования и анализа путей развития сложных социально-экономических систем [1, 2]. При этом в своих работах Бир неоднократно подчеркивал, что конструктивное исследование многоаспектной проблемы сложности должно базироваться на дальнейшем диалектическом развитии принципа необходимого разнообразия, сформулированного Р. Эшби. Анализ ряда работ в области современной кибернетики [1–9, 77–80], позволил

сформулировать ряд конкретных направлений по реализации данного принципа (рис. 19), которые можно положить в основу концепций неокибернетики.

В работах [7, 13–15, 79, 80] перечисленные направления реализации принципа необходимого разнообразия получили свою дальнейшую конкретизацию и развитие для ряда весьма интересных предметных областей. Авторами данных работ подчеркивается особая актуальность разработки методологических и методических основ решения проблем *управляемой самоорганизации* как наиболее эффективного способа учета разнообразия внешней среды, базирующегося на реализации целенаправленных процессов поддержания динамического соответствия структур и функций в соответствующих сложных организационно-технических и социально-экономических системах при замыкании контуров обратной связи в новых моделях управления ЖЦИ (моделях CL₂M).

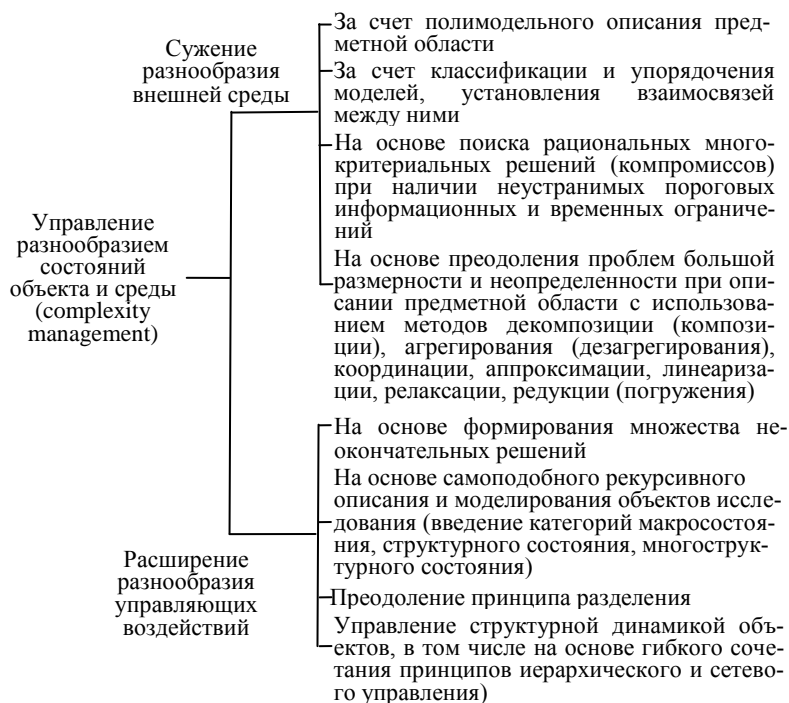


Рис. 19. Перспективные направления решения проблем сложности.

В свою очередь кибернетическая терминология, концепции, принципы, методы и алгоритмы проникают в информатику и вычислительную технику (в том числе и в PLM-системы). Сегодня весьма популярными в области ИТ-индустрии становятся понятия и соответственно стратегии *адаптивных и проактивных компьютерных систем, адаптивного управления и адаптивного предприятия*. Эти интенсивно развиваются компаниями IBM, Intel Research, Hewlett Packard, Microsoft, Sun и др. [31–33, 58–59, 98–102]. При этом создается материальная основа для реализации технологий управляемой самоорганизации. В современных бизнес-системах (БС) успехов добиваются только те организации, в которых развитие ИТ-архитектур ориентировано на Web-сервисы и технологии, позволяющие эффективно децентрализовать традиционные системы принятия решений, превращая их в саморегулируемые подсистемы. В этом случае главными функциями руководства БС являются уже не функции централизованного планирования и управления, а функции динамической координации и коммутации указанных подсистем [71].



Рис. 20. Перспективы развития информационных и телекоммуникационных технологий [34].

Говоря о процессах взаимодействия кибернетики с информатикой отметим, во-первых, что последняя исторически развивалась в значительной мере в недрах традиционной кибернетики, фактически на единой технической базе — вычислительной технике и средствах связи и передачи данных, и, во-вторых, кибернетика, являясь наукой об общих законах и закономерностях управления и связи, объективно была вынуждена заниматься вопросами использования информации в интересах управления. Так методы, технологии и средства, разрабатываемые в недрах информатики, активно внедряются в кибернетику в рамках следующих новых научных направлений: *информационное управление*, различные виды *интеллектуального управления* (ситуационное, нейроуправление, управление, основанное на знаниях, на основе эволюционных алгоритмов, многоагентное управление и т. д).

На рис. 20 показаны те современные ИТ, которые в настоящее время широко используются при аппаратно-программной реализации интеллектуального управления ЖЦИ в различных предметных областях. В табл. 4 перечислены существующие и перспективные методы интеллектуального управления.

Взаимодействие информатики и кибернетики (неокибернетики) с *общей теорией систем* осуществляется по нескольким направлениям. Одно из этих направлений непосредственно связано с обобщенным описанием объектов и субъектов управления на основе новых формальных подходов, разрабатываемых в современной системологии, к числу которых можно, например, отнести структурно-математический и категорийно-функторный подходы [6, 7, 12, 79, 80]. В этой связи также отметим интересные научные результаты, полученные в квалиметрии моделей и полимодельных комплексов, которые можно использовать в кибернетике. К этим результатам в первую очередь можно отнести: систему показателей, оценивающих качество моделей и полимодельных комплексов и предназначенных для описания процессов управления, обобщенное описание (макроописание) различных классов моделей (макромодели), позволяющее, во-первых, устанавливать взаимосвязи и соответствия между видами и родами моделей, и, во-вторых, сравнивать и упорядочивать их, используя различные метрики; комбинированные методы оценивания показателей качества моделей (полимодельных комплексов), заданных с использованием числовых и нечисловых (номинальных, порядковых) шкал; методы и алгоритмы решения задач многокритериального анализа, упорядочения и выбора наиболее предпочтительных моделей (полимодельных комплексов), управления их качеством [7].

Таблица 4. Комбинированные методы и системы интеллектуального управления [85]

Методы интеллектуального управления и интеллектуальные системы на его основе	Комбинация		
	из двух методов	из трех методов	из четырех методов
Системы нечеткого вывода Fzelips 6.04 Matlab	Нечеткие нейронные сети	Нечеткие нейронные вероятностные сети	Нечеткая вероятностная нейронная сеть с использованием генетического алгоритма
Нейронные сети Neurosolution 3.0	Системы нечеткого и вероятностного вывода Guru	Вероятностные нейронные сети с использованием генетического алгоритма	—
Вероятностные рассуждения. Экспертная система Prospector	Системы нечеткого вывода с использованием генетического алгоритма	Нечеткие нейронные сети с использованием генетического алгоритма Fungen 1.2	—
Генетические алгоритмы Professional Version 1.2	Вероятностные нейронные сети Trajan 2.1 Matlab	Системы нечеткого вероятностного вывода с использованием генетического алгоритма	—
Нейрогенетические алгоритмы оптимизации (NeuroGenetic Optimezer)	Нейронные сети с использованием генетических алгоритмов		
	—	—	—
	Системы вероятностного вывода с использованием генетических алгоритмов	—	—

В кибернетике и информатике (в том числе и при управлении ЖЦИ) также при решении задач управления сложными объектами широко используются методы и алгоритмы декомпозиции (композиции), агрегирования (деагрегирования), и координации, разрабатываемые в общей теории систем применительно к объектам любой природы.

С другой стороны, в проектах [106, 107, 175, 176, 180] было показано, что подходы, разработанные в классической теории управления техническими объектами можно успешно применять при организации процессов управления качеством моделей и полимодельных комплексов, а также при их структурной и параметрической адаптации. Другие направления взаимодействия кибернетики и научных дисциплин, входящих в состав системно-кибернетической отрасли знаний, описаны в работах [6–8].

Переходя к вопросам разработки и исследования методологических и методических основ инженерии как центрального направления совершенствования процессов управления ЖЦИ, укажем, что знания становятся основной движущей силой и их можно и нужно рассматривать как один из главных факторов повышения эффективности современного производства. Для активного вовлечения знаний в процесс производства, ими, как и любым другим фактором, необходимо управлять. При управлении знаниями на производстве возникают как минимум две взаимосвязанные задачи:

- 1) организация доступности индивидуальных знаний для всех сотрудников;
- 2) обеспечение ускорения передачи или распространения знаний с тем, чтобы все сотрудники, которым эти знания необходимы, могли ими воспользоваться. Знания составляют основу принятия человеком любого решения в своей практической деятельности. Процессы принятия решения управления ЖЦИ в этом случае должны быть основаны на анализе поступающих из внутренней и внешней среды организации актуальных данных, информации, которой располагает организация, и на использовании собственных знаний. Дальнейшие перспективы развития технологий КМ в условиях постиндустриальной экономики связаны с повсеместным эволюционным переходом от адаптивного развития к креативному, от приспособления к внешней среде к ее формированию [91–97].

Таким образом, любые инструментальные средства управления, предполагающие получение или преобразование знаний, становятся средствами управления развитием, поскольку они базируются не на

приспособлении к настоящему или прогнозируемому будущему, а на переходе управления в творческую фазу, являющуюся конструированием будущего. Проблема стратегического и текущего управления деятельностью перспективных предприятий в этих условиях все больше и больше будет трансформироваться в проблему КМ, т. е. в проблему создания механизмов приобретения, накопления и применения знаний [83].

В рамках существующих и перспективных ИТ, базирующихся на знаниях разработчиками ИС (например, в компаниях Lotus и Microsoft США), начата разработка стандартов и методологии, которые предоставляют возможность в явном виде описать смысл информации и знаний. Концепция явного представления этого смысла закладывается в основу создания перспективных программных систем, которые будут обрабатывать информацию с учетом ее семантического и прагматического содержания. Такие программные системы, конечно, не способны «понять» смысл обрабатываемой информации, но позволят автоматизировать процессы поиска и структуризации информации и знаний на основании их смыслового описания. Семантические технологии могут стать основой для создания интеллектуальных программных систем в различных областях. В зависимости от области применения и решаемой задачи подходы к предоставлению смысла и его обработки могут варьироваться, но их объединяет наличие модели знаний, которая отражает смысл отдельных блоков информации и связи между ними.

Одной из центральных проблем при реализации современных PLM технологий была и остается проблема создания и внедрения систем управления документами (СУД). Как показали проведенные исследования [105, 113, 121], следующее поколение СУД уже будет базироваться на интеллектуальных технологиях автоматического извлечения знаний из текстов документов, предполагающих объединение средств информационного обслуживания, аналитической обработки как структурированной, так и неструктурированной информации, а также систем поддержки принятия решений в рамках интегрированных комплексов.

Интеллектуальные информационные технологии (в первую очередь мультиагентные) [85] существенно повысили эффективность проектирования, разработки, внедрения и модернизации современных систем управления. Этот эффект обеспечивается за счет создания инструментальных программных средств и интеллектуальных интерфейсов, позволяющих заказчикам и операторам на ранних этапах ЖЦ АСУ сложным объектом принять непосредственное участие в процессах

формировании и контроля выполнения разработчиками требований, предъявляемых к облику создаваемой автоматизированной системы. Технологии комплексного моделирования, виртуальной реальности, суперкомпьютерных вычислений также существенно ускоряют проектирование СУ. Используя перечисленные ранее ИТ, на качественно новом уровне удастся решать задачи обеспечения надежности, безопасности и катастрофоустойчивости АСУ, в том числе за счет реализации методов алгоритмической избыточности [85]. За счет комбинирования существующих и разрабатываемых интеллектуальных технологий (создания гибридных интеллектуальных технологий) удастся усилить положительный эффект от их использования [85].

В табл. 4 представлены реализованные к настоящему времени варианты комбинаций данных технологий. Прочерки в ней соответствуют еще не исследованным вариантам интеграции ИТ [85].

К числу наиболее интересных научных результатов, имеющих непосредственное отношение к проблеме интеллектуализации процессов управления ЖЦИ, представленных в анализируемых проектах [137–182], поддерживаемых РФФИ, можно с нашей точки зрения отнести следующее:

- разработаны методология, методы интеграции и формальное описание когнитивных моделей деятельности проектной организации, позволяющие формировать взаимосвязанные семантические представления проектной и управленческой деятельности; новизна метода заключается в применении когнитивного подхода и методологии автоматизации интеллектуального труда и различных видов деятельности в ЖЦ технических систем; разработанные алгоритмы обеспечивают формирование, визуализацию и обработку семантических описаний видов деятельности в интегрированной среде поддержки корпоративных знаний при ИПИ-технологиях;
- сформировано и развивается новое научное направление — логистика знаний, в рамках которого разработаны методология и модели быстрой интеграции знаний на основе конфигурирования сети источников знаний с помощью механизмов управления онтологиями, картограмм знаний и профилей пользователей, предложена и частично реализована многоагентная технология интеграции знаний в распределенной информационно-вычислительной среде (GRID-среде);
- разработана методология построения контекстно-управляемых систем интеллектуальной поддержки принятия решений, ко-

торая основана на построении онтологической модели контекста на абстрактном и прикладном уровнях описания и технологии конфигурирования проблемно-ориентированных Web-сервисов; в основу методологии положено представление контекстов в форме онтологий и адаптации сервисов, предоставляемых системами поддержки принятия решений, к контексту (потребностям и свойствам конкретного пользователя), что упрощает интерпретацию контекстов, их повторное использование и адаптацию при создании персонализированных сред для интеллектуальной поддержки принятия решений в области научных исследований, обучения, корпоративного и государственного управления и бизнеса (крупных производственных, торговых и логистических систем);

- предложена многоагентная методология распределенного обучения и принятия решений на основе распределенных гетерогенных источников данных и знаний, определяющая базовые принципы, модели, методы и конкретные алгоритмы распределенного обучения и принятия решений; новизна этой методологии состоит в том, что она базируется на проблемной и предметной онтологиях, использует иерархическую структуру принятия решений и специальные процедуры метаобучения и объединения решений, а также в том, что она ориентирована на создание распределенных баз знаний, в которых роль метаязыка играет онтология; область применения разработанной методологии — создание крупномасштабных прикладных интеллектуальных многоагентных систем, которые для принятия решений используют множество распределенных гетерогенных источников данных;
- созданы для поддержки процессов принятия решений модели, методы, многоагентная архитектура и информационная технология для разработки систем распределенной обработки разнородных данных, полученных из различных источников. Разработанная технология включает в себя новые методы извлечения знаний из данных и метамодель распределенных гетерогенных знаний; программно реализован комплекс алгоритмов, поддерживающих процессы извлечения знаний из распределенных разнородных баз данных, а также принятия решений и обучения этому процессу;
- разработаны теоретические основы и алгоритмы решения задач оценки ситуаций в сложных системах реального времени;

- построена формальная модель ситуации, в которой входная информация представлена в форме асинхронных потоков гетерогенных данных, поступающих из распределенных источников;
- разработанная модель проверена экспериментально на примере создания программного прототипа многоагентной системы обнаружения аномальной работы пользователей компьютерной сети; основные программные решения положены в основу разрабатываемой инструментальной системы поддержки процессов разработки многоагентных приложений в области оценки ситуаций; областью приложений модели и инструментария являются системы управления в чрезвычайных ситуациях, оценки и анализа террористических угроз, обнаружения атак на компьютерные сети и информационные системы и др.;
- разработаны концепция и модель распознавания сложных ситуаций и изображений на основе слияния информации, полученной из распределенных гетерогенных источников данных на основе модели искусственной иммунной сети; в этой модели для каждого класса ситуаций или объектов строится множество специализированных классификаторов; множества таких классификаторов объединяются в сеть, которая обучается объединению решений; эта концепция исследована экспериментально на примерах двух задач: 1) обнаружение вторжений в компьютерную сеть в реальном времени (15 параллельно работающих классификаторов) и 2) распознавание наземных объектов в реальном времени на основе инфракрасных изображений, получаемых на борту летательного аппарата (36 параллельно работающих классификаторов).

Завершая статью, остановимся кратко еще на одном весьма важном вопросе, имеющем непосредственное отношение к управлению ЖЦИ, а именно: на проблеме многокритериального оценивания и анализа вкладов информационных технологий и систем в основную деятельность предприятий (фирм), в том числе при выборе и реализации эффективных технологий управления ЖЦ изделий (ЖЦИ). Анализ многочисленных публикаций по данной теме показал, что, к сожалению, на данный момент нет корректных методик, позволяющих установить однозначную связь между повышением производительности ИТ и ИС и увеличением доходности и прибыльности бизнеса в соответствующей организации. В разных предметных областях существуют отдельные частные методики оценивания на макро- и микроуров-

нях эффективности внедрения ИТ, в том числе и PLM-технологий [6, 11, 17, 21, 24, 29, 30, 48, 86–92]. Данные методики в своем большинстве базируются на методологии функционально-стоимостного анализа (ФСА) [87, 88].

Говоря о роли ФСА при решении проблем управления ЖЦ изделий с целью повышения их качества и качества использования соответствующих PLM-систем для информационной поддержки принятия решений, отметим, что в настоящее время бизнес и государство готовы оплачивать ровно столько информационных ресурсов, сколько им необходимо для организации управленческой деятельности. При этом они исходят из таких классических показателей эффективности, используемых в настоящее время на рынке компьютерных услуг, как возврат инвестиций (return on investment, ROI), качество обслуживания (quality of service, QoS), совокупная стоимость владения (CCV) (total cost of ownership (TCO)). Лишние информационные ресурсы и избыточные статьи ИТ-бюджета — это замороженные инвестиции и ресурсы (более того, потерянные ресурсы, учитывая быстрое моральное старение аппаратно-программных средств и оборудования). Недостаточные ресурсы — это упущенная выгода.

Особенностью показателя ССВ является возможность оценки совокупных затрат на создание (приобретение) и использование готовых изделий и ИТ с последующим анализом эффективности сценариев их использования. Методика ССВ позволяет выявить избыточные статьи расходов и дает возможность оценки возврата средств, вложенных в PLM-системы. В общем виде показатель ССВ не позволяет оценивать прямой экономический эффект от внедрения PLM-системы, поэтому для решения данной задачи чаще всего применяется показатель возврата инвестиций ROI. Результатом расчета методики является коэффициент возврата инвестиций в ИС предприятия. С помощью данного показателя можно оценить экономический эффект от вложения средств в повышения качества создаваемых изделий на основе внедрения PLM-системы. Главной трудностью данной методики является определение прямых выгод, получаемых компанией от этого внедрения. При анализе указанных выгод выделяются направления бизнеса и цели, стоящие при внедрении PLM-системы, а затем рассчитывается выгода, получаемая предприятием от их достижения. Выгодой могут быть и повышение качества сервиса, и возможность разработки и производства новых товаров, дающие данной организации конкурентные преимущества на рынке. В методике ROI важную роль играет показатель TCO, так как он отражает фактические расходы на PLM-системы

[87, 88, 92]. Отметим, что показатель ROI рассматривается на протяжении довольно длительного срока и является оценкой инвестиционных проектов.

Чтобы связать все ранее перечисленные технологии и показатели, с помощью которых оцениваются выгоды и затраты при том или ином варианте создания и развития изделия, с информационными ресурсами, обеспечивающими их реализацию, предложен сервисно-ориентированный подход [87]. С помощью понятия сервиса можно на конструктивном уровне описать взаимодействия PLM-системы с бизнес-процессами. По сути, любая информационная система предоставляет набор сервисов для пользователей. Каждый из этих сервисов должен выполнять поставленные перед ним задачи, имеет ряд функции и использует определенное количество ресурсов. Для описания этих сервисов в работе [87] предложено использовать типовую модель информационных служб ITSM, которая представляет собой мощный инструмент для контроля и управления бизнес-процессами компании. Также с ее помощью достигается четкое представление об информационных службах (ИТ-сервисах) компании, их структуре и компонентах, а также их затратные составляющие. Другими словами, в рамках данной модели выделяется взаимосвязь информационных служб с финансовыми ресурсами компании. Причем информационные службы являются связующим звеном между PLM-системой и бизнес-процессами. В этом случае при решении задачи расчета ССВ с помощью модели ITSM информационные службы принимаются в качестве объектов затрат, и для каждой из них решается задача расчета ССВ. Для этого выделяются ресурсы каждой информационной службы. Затем рассчитывается стоимость этих ресурсов. ССВ рассматривается как обобщенный показатель для набора информационных служб, предоставляющих необходимые сервисы пользователям PLM-системы. В рамках такой модели легко выявляются наиболее проблемные участки PLM-системы и, как следствие, удается с точки зрения экономической эффективности оптимизировать и сокращать расходы на ИАСУ (КИС) в целом. Важной проблемой при определении совокупной стоимости сервисов является тот факт, что разные сервисы могут использовать один и тот же ресурс. Для решения этой задачи применяется метод функционального стоимостного анализа.

В общем виде, показатель ССВ (ТСО), как уже отмечено, не показывает прямой экономический эффект от внедрения PLM-системы, поэтому на практике для решения данной задачи применяется показатель ROI

$$\text{ROI}(t) = \frac{Ef(t)}{\text{TCO}(t)}$$

$Ef(t)$ — экономическая эффективность внедряемой PLM-системы.

С помощью данного показателя можно количественно оценить экономический эффект от вложения средств в ИТ. Это может быть и повышение качества сервиса, и возможность разработки и производства новых товаров, дающие данной организации конкурентные преимущества на рынке.

В проектах [106, 107, 136] представлены конкретные пути расчета показателя ROI, базирующиеся на комбинированном использовании данных, формируемых в реальных системах бухгалтерского, финансового и управленческого учета и генерируемых с использованием аналитико-имитационных моделей.

4. Анализ степени соответствия проблематики проектов РФФИ и перечня актуальных проблем управления ЖЦ искусственно созданных объектов.

Анализ научного содержания и результатов проектов РФФИ [103–182], выполненных (выполняемых) в 2004–2010 гг. по тематике, связанной с решением комплекса проблем управления жизненным циклом изделий в соответствие с новой концепцией CL₂M показал, что в прямой постановке указанная тематика в России еще пока не исследовалась. Однако отдельные аспекты данной проблематики достаточно подробно рассмотрены в рамках следующих направлений:

- исследование проблем интеграции и комплексной автоматизации процессов управления основными и вспомогательными проектными, производственными, логистическими, сервисными организационно-техническими системами, обеспечивающими поддержку ЖЦ конкретного изделия [103–136];
- исследование проблем создания, использования и развития интеллектуальных информационных технологий, в том числе технологий повсеместных вычислений и коммуникаций и многомодальных пользовательских интерфейсов [137–182];
- исследование проблем многокритериального оценивания и анализа вкладов информационных технологий и систем в основную деятельность предприятий (фирм), в том числе при выборе и реализации эффективных технологий управления ЖЦ изделий (ЖЦИ) [106, 107, 136].

Важнейшие научные и практические результаты, которые были получены в ходе выполнения данных проектов, описаны во втором

разделе данного обзора. Выполненный анализ состояния исследований по проблемам управления ЖЦ различных искусственно созданных объектов показал, что в РФ эти исследования проводятся преимущественно по вопросам обеспечения информационной поддержки отдельных стадий или процессов их ЖЦИ.

Принципиальные научно-методические и технологические вопросы организации управления ЖЦИ в целом, а не отдельными его этапами практически оказались вне поля зрения ученых и специалистов. Основные их усилия в основном направлены на разработку таких технологий, как CAD, CAM, PDM и др., и их интеграцию в единое информационное пространство. Исследования теоретических основ комплексного управления ЖЦИ также практически не проводятся. Практически нет ни одной работы на русском языке, посвященной теротехнологической концепции управления ЖЦ, широко используемой в европейских странах для построения системы управления ЖЦ сложных технических объектов [68]. Кроме того, в нашей стране пока еще не выполнялось таких масштабных работ, как проекты Promise и DYNAMITE [61, 66]. Однако, как следует из подраздела 2.3, теротехнологическая концепция в условиях продолжающегося финансового кризиса и наступающего дефицита природных ресурсов открывает широкие перспективы по организации их экономного и эффективного использования. Для этого следует разрабатывать соответствующую научно-методологическую, методическую и технологическую базы, проводить организационные изменения в технологиях проектирования и производства, а также в технологиях эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и утилизации изделий.

В РФ в настоящее время активно функционируют несколько научных школ, тематика исследований которых связана с проблематикой управления ЖЦ изделий и которые могут при соответствующем финансировании со стороны РФФИ приступить к комплексному исследованию фундаментальных и прикладных проблем управления ЖЦИ с учетом различных контуров обратной связи.

В числе первых следует назвать научные школы чл.-кор. РАН Ю.М. Соломенцева (НШ-1169.2008.9), чл.-кор. РАН В.В. Шайдурова (НШ-3431.2008.9), акад. РАН Ю.И. Шокина (НШ-931.2008.9), профессоров В.Н. Якимца, А.П. Афанасьева (НШ-5511.2008.9) и В.В. Топоркова.

Среди научно-исследовательских организации, деятельность которых непосредственно связана с проблематикой данной статьи, можно в первую очередь отметить следующие: институты конструкторско-

технологической информатики, проблем информатики, системного анализа РАН, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, научно-исследовательский институт системных исследований, Центр информационных технологий в проектировании.

Во многих высших учебных заведениях РФ тематика управления ЖЦИ представлена на уровне кафедр и факультетов, а также на уровне соответствующих научно-исследовательских подразделений. В числе такого рода учреждений можно назвать МГТУ «Станкин», МВТУ им. Н.Э. Баумана, МГУ, СПбГУ, СПбТУ, СПБИТМО, ГУАП.

Заключение. Завершая данную статью, подчеркнем, что в настоящее время особую актуальность приобретают вопросы возрождения промышленно-ориентированного сектора экономики России как необходимого условия обеспечения ее национальной безопасности и устойчивого сбалансированного развития в XXI веке [183]. В связи с этим в недавно опубликованной работе [184] подчеркивается, что исходя из мирового опыта промышленно развитых стран США и Европы промышленная политика РФ в долгосрочной перспективе должна быть нацелена на создание и поддержку «станового хребта» высокотехнологичной промышленности, науки и образования России — системообразующих компаний-аналогов, подобным тем 900 крупнейшим компаниям, что существуют в США в таких приоритетных областях, как атомная энергетика, авиация, судостроение, ракетостроение, где необходима долгосрочная поддержка государства. При наличии таких экономических предпосылок станет востребованной постановка, а затем и решение проблемы комплексного распределенного управления ЖЦ множеством взаимосвязанных сложных технических объектов.

На ближайшие 10–15 лет основные задачи этих российских компаний (существующих и тех, что необходимо в срочном порядке создать) будут заключаться в реализации нашей российской бизнес-модели экономики знаний, создании на мировом рынке конкурентоспособных финишных изделий (АЭС, ракет, ракет-носителей, космических станций и аппаратов, самолетов, судов), захвате на этой основе значительной доли соответствующей ниши мирового рынка, обеспечении на основе финансовых потоков от реализации серийных изделий стабильного уровня занятости и доходов государства и системообразующих компаний, а также аффилированных с ними малых и средних отечественных компаний. Решение перечисленных проблем авторы работы [184] видят в формировании и реализации единого государственного целеполагания для национальной триады: науки, образова-

ния и промышленности на основе их перевооружения, базирующегося на массовых информационных технологиях.

Результаты представленной статьи позволяют утверждать, что важное место среди данных технологий будут занимать интеллектуальные информационные технологии и соответствующие системы управления ЖЦИ, используемые в различных предметных областях. Указанное обстоятельство подчеркивает особую актуальность и первоочередность решения всех тех научно-технических проблем, которые были сформулированы в данной статье.

Литература

1. *Бир С.* Мозг фирмы. М.: УРСС, 2005. 315 с.
2. *Бир С.* Кибернетика и менеджмент. М.: УРСС, 2007. 246 с.
3. *Колесников А.А.* Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. М.: КомКнига, 2006. 240 с.
4. *Красовский А.А.* Науковедение и состояние современной теории управления техническими системами // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 1998. №б. С. 16–24.
5. *Крылов С.М.* Неокибернетика: Алгоритмы, математика эволюции и технологии будущего. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 288 с.
6. *Резников Б.А.* Системный анализ и методы системотехники. М.: Изд. МО СССР, 1990. 522 с.
7. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
8. *Ростовцев Ю.Г.* Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации. СПб.: Изд. ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1992. С. 717.
9. *Селетков С.Р., Днепровская Н.В.* Развитие теории управления информацией // Информационные ресурсы России. 2006. №б(94). С. 12–14.
10. *Ivanov D., Sokolov B., Kaeschel J.* Integrated dynamic analysis of supply chain economic and environmental sustainability // Proc. of the 7th Intern. Product Lifecycle Management (PLM) Conf., Bremen, 2010.
11. *Советов Б.Я.* Теоретические основы автоматизированного управления: Учебник для вузов / под науч. ред. Б.Я. Советова, В.В. Цехановского, В.Д. Чертовского. М.: Высшая школа, 2006. 463 с.
12. *Соколов Б.В.* Комплексное планирование операций и управление структурами в АСУ активными подвижными объектами. М.: Изд. МО СССР, 1992. 232 с.
13. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики. 2002. №5. С. 24–41.
14. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов // Изв. РАН. Сер. Теория и системы управления. 2004. №б. С. 5–16.
15. *Хиценко В.Е.* Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения. М.: КомКнига, 2005. 224 с.
16. *Герасименко В.А.* Информатика и интеграция в технике, науке и познании // Зарубежная радиоэлектроника. 1993. №05. С. 22–42.

17. *Кульга К.С.* Автоматизация технической подготовки и управления производством на основе PLM-системы. М.: Машиностроение, 2008. 256 с.
18. *Кульга К.С.* Интегрированная информационно-вычислительная система управления производством в режиме реального времени // Автоматизация и современные технологии. 2006. №4. С. 42–46.
19. *Кульга К.С.* Особенности автоматизации подготовки производства предприятий, работающих в условиях единичного и мелкосерийного производства // Нефтяное хозяйство. 2007. №1. С. 75–78.
20. *Кульга К.С.* Особенности внедрения на предприятиях и методы интеграции CAD/CAM/PDM/FRP/MRP/MES/PLM и ERP-систем // САПР и графика. 2008. №3. С. 91–94.
21. *Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф. и др.* Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. 304 с.
22. *Мартынов Д.* Проблемы быстрействия систем ERP — системный кризис // Автоматизация управления компаниями. 2007. №10. С. 10–15.
23. *Судов Е.В.* Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии. Методы. Модели. М.: ООО «Издательский дом MBM», 2003. 264 с.
24. *Стародубов В.А.* Управление жизненным циклом изделий, от концепции до реализации. СПб.: ЗАО «Стерлинг Групп СПб», 2006. 120 с.
25. *Николаев В.И., Брук В.М.* Системотехника: методы и приложения. Л.: Машиностроение, 1985.
26. *Бочков А.П., Гасюк Д.П., Филюстин А.Е.* Модели и методы управления развитием технических систем: Учебное пособие. СПб.: Союз, 2003. 288 с.
27. *Луцкий С.Я. и др.* Корпоративное управление техническим перевооружением фирм: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 2003. 319 с.
28. Life-Cycle Management: State of the art theory and practice // Intern. J. of life cycle assessment. 2002. Vol. 7, N 6.
29. *Sokolov B.V., Yusupov R.M.* Influence of Computer Science and Information Technologies on Progress in Theory and Control Systems for Complex Plants // Keynote Papers of the 13th IFAC Symp. on Information Control Problems in Manufacturing, Russia, M., June, 3–5, 2009. P. 54–69.
30. *Перминов С.Б.* Информационные технологии как фактор экономического роста. М.: Наука, 2007. С. 195.
31. *Черняк Л.* SOA — шаг за горизонт // Открытые системы. 2003. №9. С. 34–40.
32. *Черняк Л.* Адаптируемость и адаптивность // Открытые системы. 2004. №9. С. 30–35.
33. *Черняк Л.* От адаптивной инфраструктуры к адаптивному предприятию // Открытые системы. 2003. №10. С. 32–39.
34. *Зацаринный А.А., Ионенков Ю.С.* Тенденции развития современных информационных технологий с учетом концепции сетцентрических войн // Системы и средства информатики. 2007. Вып. 17. С. 47–64
35. *Брук П.А., Стародубов В.А.* PLM — от аналитике к практике // CAD/CAM/CAE Observer. Рига, 2004. №2. С. 8–11.
36. *Брук П.А.* Управление жизненным циклом изделия в судостроении. Система PLM Teamcenter Enterprise компании EDS // Судостроение. 2002. №6.
37. ИСО 9000:2000. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
38. ГОСТ Р ИСО 10303-1-99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Ч. 1. Общие представления и основополагающие принципы.

39. ГОСТ Р ИСО 10303-11-2000. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Ч. 11. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS.
40. *Соломенцев Ю.М., Павлов В.В.* Моделирование технологической среды машиностроения. М.: Станкин, 1974. 104 с.
41. *Соломенцев Ю.М.* Современное автоматизированное производство // Вестник МГТУ «Станкин». 2008. №4. С. 125–132.
42. *Соломенцев Ю.М., Волкова Г.Д.* Когнитивные технологии в конструкторско-технологической информатике // Вестник МГТУ «Станкин». 2008. №4. С. 132–135.
43. *Коберн А.* Современные методы описания функциональных требований к системам. М.: Лори, 2002. 264 с.
44. *Смирнов А.В., Юсутов Р.М.* Совмещенное проектирование: необходимость, проблемы внедрения, перспективы. СПб.: Изд. СПИИРАН, 1992. 37 с.
45. *Кравченко Ю.А.* PLM- технологии в SAP: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. 70 с.
46. *Гаврилов Д.А.* Управление производством на базе стандарта MRPII: Принципы и практика. СПб.: Питер, 2002. 250 с.
47. *Демин В.* ERP-системы: российская специфика // «Сетевои журнал». 2001, №5. С. 15–20.
48. *Завадская О.* Внедрение ERP: как оценить результат на старте? // CNews. 2006. №5. С. 7–10.
49. *Сафронов Г.Л., Стародубов В.А.* Центры компетенции — новые подходы к управлению эксплуатацией // Технология судоремонта. 2004. №2. С. 25–33.
50. *Финкенцеллер Клаус.* Справочник по RFID. Теоретические основы и практическое применение индуктивных радиоустройств, транспондеров и бесконтактных чип-карт. М.: Додэка-XXI, 2008. 496 с.
51. *Стародубов В.А.* Единое информационное пространство на платформе PLM // CAD/CAM/CAE Observer. Рига. 2005. №3.
52. *Stark John.* Product Lifecycle Management: Paradigm for 21st Century Product Realisation. L.: Springer, 2004.
53. *Бьерштейн Н., Боуз С., Джонс К. и др.* Компас в мире сервис-ориентированной архитектуры (SOA): ценность для бизнеса, планирования и план развития предприятия / пер. с англ. М.: Кудиц-Пресс, 2007. 254 с.
54. Концепция развития ИПИ-технологий в промышленности России. М.: ВИМИ, 2002.
55. *Мазур И.И., Шатино В.Д., Ольдерогге Н.Г.* Реструктуризация предприятий и компаний. Справочное пособие для специалистов и предпринимателей. М.: Высшая школа, 2000. 587 с.
56. *Каменнова М.С., Громов А.И., Феропонтов М., Шматалюк А.* Моделирование бизнеса. Методология ARIS. Практическое руководство. М.: Весть, 2005. 327 с.
57. *О'Лири Д.* ERP-системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. Выбор, внедрение, эксплуатация. М.: Вершина, 2004. 272 с.
58. Инфраструктурные решения компании HP // Adaptive World. 2008. №1(4).
59. *Фокс А., Паттерсон Д.* Самовосстанавливающиеся компьютеры // В мире науки. 2003. №9. С. 52–59.
60. *Архипов А.В., Котенев В.Д., Павлов В.А.* Функционально-структурный анализ процессов управления жизненным циклом сложных технических объектов — ключевой этап создания систем ИПИ-технологий // Материалы Междунар. конф. «Информационные технологии в управлении жизненным циклом изделий», СПб., 25–26 ноября 2003 г. С. 5–7.

61. Product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems // Electronic Resource [http://www.promise.no/].
62. *Takata S., Kimura F., van Houten F.J.A.M., Westkamper E. et al.* Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management // CIRP annals. 2004. Vol. 53, N 2. P. 643–655.
63. *Moubray J.* Reliability-centered maintenance. N.Y.: Industrial Press Inc, 2000. 420 p.
64. *Pride A.* Reliability-centered maintenance (RCM) // WBDG Electronic Resource [http://www.wbdg.org/resources/rcm.php].
65. Risk Based Inspection and Maintenance procedures for European industry (RIMAP). Terminology list // The RIMAP Consortium. 2004. 26 p.
66. DynaWeb is an e-maintenance solution to future sustainable industrial and societal challenges // Electronic Resource [http://dynamite.vtt.fi].
67. *Гончаров В.В.* В поисках совершенства управления: Руководство для высшего управленческого персонала. В 2-х т. М.: МНИИПУ, 1998.
68. *Chaplicki J.M.* Terotechnology versus exploitation theory — some remarks // Scientific problems of machines operation and maintenance. 2008. №2(154).
69. MIL-HDBK-470A (notice 1). Department of defense handbook: designing and developing maintainable products and systems. Vol. I. 29 jun 2007.
70. *Сандип Лахари.* RFID. Руководство по внедрению. М.: Кудис-Пресс, 2007 312 с.
71. *Теллин С.* Интернет и адаптивные инновации: переход от управления к координации в современных организациях // СУБД. 1996. №5–6. С. 68–79.
72. *Крымская А.С., Гранкина Е.Ю.* Управление знаниями: аннотированный библиографический указатель (1993-2007) / под ред. Р.С. Гиляревского. СПб.: Европейский Дом, 2009. 332 с.
73. *Р. Вонт, Т. Перинг, Д. Тенненхау.* Адаптивные и проактивные компьютерные системы // Открытые системы. 2003. Октябрь.
74. *Дмитров А.* Сервисно-ориентированная архитектура в современных моделях бизнеса. М.: Москва, 2006. 224 с.
75. *Mariyama M.* The Second Cybernetics. Deviation Amplifying mutual causal process // American Scientist. 1963. N 51.
76. *Козловский В.А., Козловская Э.А., Макаров В.М.* Эффективность переналаживаемых роботизированных производств. Л.: Машиностроение, 1985. 224 с.
77. *Омату С., Халид М., Юсоф Р.* Нейроуправление и его приложения. М.: Радиотехника, 2000.
78. *Тимофеев А.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные системы управления // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1994. №5.
79. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Неокибернетика — возможности и перспективы развития // Докл. на общем пленарном заседании 5-й науч. конф. «Управление и информационные технологии» (УИТ-2008), Россия, СПб., 14–16 октября, 2008 г. СПб., 2008. 1–15 с.
80. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Междисциплинарный подход к комплексному моделированию рисков при выработке управленческих решений в сложных организационно-технических системах // Труды Междунар. науч. школы «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах» (МА БР–2008). Россия, СПб., 24–28 июня, 2008 г. С. 146–155.
81. *Редько В.Г.* Эволюционная кибернетика. М.: Наука, 2003.
82. *Foerster von H.* Cybernetics. Encyclopedia of Artificial Intelligence. Oxford: John Wiley and Sons, 1987.
83. *Тейлор Д., Рэйден Н.* Почти интеллектуальные системы. Как получить конкурентные преимущества путем автоматизации скрытых решений. СПб.: Символ-Плюс, 2009. 448 с.

84. *Юсупов Р.М., Заболотский В.П.* Концептуальные и научно-методологические основы информатизации. СПб.: Наука, 2009. 544 с.
85. *Ярушкينا Н.Г.* Основы теории нечетких и гибридных систем: Учебное пособие. М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.
86. Методы военно-экономических исследований перспектив развития космических средств / под ред. *Е.В. Рыжова*. М.: Машиностроение, 1998. 152 с.
87. *Скрипкин К.Г.* Экономическая эффективность информационных систем. М.: ДМК, 2002. 256 с.
88. *Царев В.В.* Оценка экономической эффективности. СПб.: Питер, 2004.
89. *Ананьин В.И.* Интеграция в эпоху перемен // Энергорынок. 2005. №10.
90. *Ипатов Ю., Цыгалов Ю.* Экономическая эффективность инвестиций в ИТ: оптимальный метод оценки // Планета КИС. 2004. №1.
91. *Сатунина А.Е., Сысоева Л.А.* Управление проектом корпоративной информационной систем предприятия: Учебное пособие. М.: Финансы и статистика; Инфра-М, 2009. 352 с.
92. *Вайт Т.* Чего хочет бизнес от ИТ: Стратегия эффективного сотрудничества руководителей бизнеса и ИТ-директоров. Минск: Гревцов Паблишер, 2007. 256 с.
93. *Калинин В.Н., Соколов Б.В.* Многомодельное описание процессов управления космическими средствами. // Теория и системы управления. 1995. №1. С. 149–156.
94. *Петров Ю.А. и др.* Комплексная автоматизация управления предприятием: Информационные технологии — теория и практика. М.: Финансы и статистика, 2001. 160 с.
95. *Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В.* Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. 303 с.
96. *Судов Е.В.* Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы, Технологии, Методы, Модели. М.: ООО «Издательский дом МВМ», 2003. 264 с.
97. *Бакаев В.В., Судов Е.В., Гомозов В.А. и др.* Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия. М.: Машиностроение, 2005. 624 с.
98. Building an adaptive enterprise. Linking business and IT. Hewlett-Packard, October 2003.
99. *Wong H., Sycara K.* A Taxonomy of Middle Agents for the Internet // Proc. 4th Intern. Conf. «Multiagent Systems». IEEE CS Press, 2000.
100. HP Utility Data Center // Technical White paper, October, 2001.
101. HP virtualization. Computing without boundaries or constraints. Enabling an adaptive enterprise. Hewlett-Packard, 2003.
102. Autonomic Computing: IBM's Perspective on the State of Information Technology.
103. *Гатчин Ю.А.* Теоретические основы создания методов автоматизированного проектирования интегрированных технологических комплексов на базе информационных технологий (грант РФФИ №07-07-00310). СПб.: СПбГИТМО, 2007.
104. *Носов А.П.* Информационные технологии поддержки проектирования нелинейных систем управления (грант РФФИ №07-07-00375). М.: ИСА РАН, 2007.
105. *Палюх Б.В.* Интегрированная инструментальная среда поддержки эволюционного проектирования на основе знаний (грант РФФИ №07-07-00418). М.: МГТУ ОКСА, 2007.
106. *Юсупов Р.М.* Теоретическое обоснование и экспериментальные исследования перспективных путей решения задач комплексной автоматизации процессов адаптивного планирования и управления модернизацией и функционированием ката-

- строфоустойчивых информационных систем (грант РФФИ №07-07-00169). СПб.: СПИИРАН, 2007.
107. *Охтилев М.Ю.* Теоретические и экспериментальные исследования процессов интерактивного управления динамическими логистическими сетями с использованием технологий радиочастотной идентификации и мобильных информационных технологий (грант РФФИ №08-08-00403а). СПб.: СПИИРАН.
 108. *Занин В.В.* Экспертная система для информационной поддержки проектирования энергосберегающих вычислительных архитектур (грант РФФИ №05-07-90406). МФТИ УНПК. Долгопрудный.
 109. *Шабунин В.М.* Система вычислительных и интеллектуальных ресурсов для дистанционного проектирования и сопровождения задач моделирования комплекса распределенных взаимосвязанных объектов. (грант РФФИ №05-07-90383). МФТИ. Долгопрудный.
 110. *Коровин Е.Н., Фролов В.Н.* Методология формирования информационного мониторинга территориально распределенных социально-экономических систем на основе многовариантного моделирования и геоинформационных технологий (грант РФФИ №07-07-00004). ВорГТУ. Воронеж.
 111. *Боровко А.Ю.* Формальный аппарат моделирования процессов решения задач управления в динамических средах в условиях жестких временных ограничений (грант РФФИ №06-07-89168). ГРАНИТ-ЭЛЕКТРОН. СПб.
 112. *Крыжановский Б.В.* Средства моделирования процессов самоорганизации и адаптации в многоагентных Интернет-системах на принципах ассоциативной памяти (грант РФФИ №04-07-90038). ИОНТ РАН. Москва.
 113. *Юсупов Р.М.* Разработка и исследование интеллектуальных информационных технологий комплексного моделирования и анализа самоуправляемых вычислительных систем на различных этапах их жизненного цикла (грант РФФИ №05-07-90088). СПбИИА РАН. СПб.
 114. *Юсупов Р.М.* Исследования и разработка методов оперативного мониторинга состояний сложных организационно-технических объектов и формирования вариантов управленческих решений в нестандартных ситуациях (грант РФФИ №10-08-90027). СПб.: СПИИРАН.
 115. *Винель А.В.* Теоретические основы и проектирование систем передачи информации с высокой эффективностью энергопотребления (грант РФФИ №10-08-01071). СПб.: СПИИРАН.
 116. *Левченко Н.Н.* Создание и исследование модели параллельной вычислительной среды, реализующей новые механизмы вычислений управляемых данными (грант РФФИ №07-07-00376). ИПИ РАН. Москва.
 117. *Пономарева И.С.* Интернет-ориентированная кроссплатформенная интерактивная система визуализации математических моделей для сопряжения с пакетами научного программного обеспечения и специализированными научными базами данных (грант РФФИ №07-07-00128). АстГУ. Астрахань.
 118. *Аветисян А.И.* Исследование и разработка технологии решения вычислительно-сложных задач на базе распределенных вычислительных ресурсов (грант РФФИ №06-07-89119). ИСП РАН. Москва.
 119. *Биряльцев Е.В.* Разработка методики интеграции реляционных баз данных на основе онтологий (грант РФФИ №06-07-89219). КазГУ НИИММ. Казань.
 120. *Бочаров П.П.* Математические модели, методы, алгоритмы и программное обеспечение, основанное на веб-технологиях, для проведения фундаментальных исследований в области анализа производительности сетевых систем (грант РФФИ №06-07-89056). РУДН. Москва.

121. *Клецев А.С.* Исследование возможностей коллективного управления в семантическом вебе информационными ресурсами различных уровней общности (грант РФФИ №06-07-89071). ИАПУ ДВО РАН. Владивосток.
122. *Немчинов Б.В.* Контроль и преобразование информации в сложных информационных системах (грант РФФИ №06-07-89293). ИСА РАН. Москва.
123. *Песков Н.В.* Развитие информационных технологий создания проблемно-ориентированных систем, основанных на знаниях, на базе логических алгоритмов распознавания (грант РФФИ №06-07-89299). МЦНМО. Москва.
124. *Телегин П.Н.* Исследование эффективности выполнения параллельных задач на неоднородных вычислительных системах и разработка средств их оптимизации (грант РФФИ №06-07-89306). МСЦ РАН. Москва.
125. *Трофимов В.К.* Разработка и исследование средств управления и удаленного доступа к ресурсам пространственно-распределенной кластерной вычислительной системы (грант РФФИ №06-07-89089). СибГУТИ. Новосибирск
126. *Фазлиев А.З.* Промежуточное программное обеспечение, средства создания и поддержки информационно-вычислительных систем (грант РФФИ №06-07-89201). ИОА СО РАН. Томск.
127. *Федотов А.М.* Разработка модели виртуальной среды для обмена результатами научных исследований (грант РФФИ №06-07-89060). ИВТ СО РАН. Новосибирск
128. *Балабанов Д.Е.* Разработка информационного ресурса открытой интернет системы для решения задач оптимизации (грант РФФИ №05-07-90163). МФТИ. Долгопрудный.
129. *Батоврин В.К.* Методология создания систем интеграции информационных ресурсов на основе подхода открытых систем (грант РФФИ №05-07-90251). МИРЭА. Москва.
130. *Воеводин В.В.* Создание метакомпьютерного центра для решения сверхбольших задач на распределенных ресурсах (грант РФФИ №05-07-90206). МГУ НИВЦ. Москва.
131. *Кулябичев Ю.П.* Теоретическое и экспериментальное исследование вопросов формирования виртуальной искусственной среды, обеспечивающей требуемый уровень реализма отображаемых процессов, необходимый для управления в эргатических (интерактивных) системах с жестко регламентированным циклом обработки информации и управления (грант РФФИ №05-07-90364). Концерн «Системпром». Москва.
132. *Чаплыгин Ю.А.* Средства поддержки формирования и объединения метаописаний разнородных гетерогенных информационных ресурсов (грант РФФИ №05-07-90008). МГИЭТ. Москва.
133. *Вольфенгаген В.Э.* Методы, модели и технологии динамического Web-программирования информационных систем (грант РФФИ №04-07-90156). Институт ЮрИнфоР-МГУ. Москва.
134. *Горелкин Г.А.* Вычислительный комплекс для проведения исследований по созданию экспертных систем, обеспечивающих моделирование и проектирование информационно — вычислительных сетей (грант РФФИ №04-07-90200). ФГУП Концерн Системпром. Москва
135. *Калинина Н.А.* Подготовка информационных ресурсов CAO РАН к интеграции в единую информационную систему на базе XML и Web технологий (грант РФФИ №04-07-90182). CAO РАН. п. Нижний Архыз.
136. *Юсупов Р.М.* Разработка, теоретическое обоснование и экспериментальные исследования методов, моделей, алгоритмов и методик многокритериального оценивания, анализа и выбора программ управления модернизацией унаследованной ин-

- формационной системы на основе сервисно-ориентированного подхода (грант РФФИ №10-07-00311-а). СПб.: СПИИРАН.
137. *Алексеев В.В.* Инструментальные средства поддержки гибридных интеллектуальных систем на основе нейросетевых нечетко-эволюционных моделей (грант РФФИ №07-07-00002). ТвГТУ. Тверь.
 138. *Антонов П.Б.* Инструментальные средства поддержки экспертных систем реального времени на основе формализмов темпоральной логики (грант РФФИ №07-07-00001). ГРАНИТ-ЭЛЕКТРОН. СПб.
 139. *Бурков В.Н.* Синтез неманипулируемых механизмов активной экспертизы на многомерных множествах (грант РФФИ №07-07-00079). ИПУ РАН. Москва.
 140. *Замятина Е.Б.* Основанная на знаниях балансировка загрузки компьютеров для системы распределенного имитационного моделирования (грант РФФИ №07-07-00412). ПерГУ. Пермь.
 141. *Инякин А.С.* Создание информационного Интернет-ресурса, посвященного интеллектуальному анализу данных и распознаванию образов (грант РФФИ №07-07-00372). ВЦ РАН. Москва.
 142. *Исмаилова Л.Ю.* Расширяемая среда с элементами проактивных вычислений для сети адаптируемых понятий (грант РФФИ №07-07-00298). Институт ЮрИнфоР-МГУ. Москва.
 143. *Лебедев В.Н., Филиппов В.А.* Разработка теоретических основ и архитектуры системы распределенного аналитического мониторинга Интернет-пространства с использованием технологий семантического Web и распределенных мультиагентных систем (грант РФФИ №07-07-00180). ИПУ РАН. Москва.
 144. *Рыков А.С.* Модели и методы многокритериального принятия решений и оценки качества сложных систем при неопределенности (грант РФФИ №07-07-00151). МИСиС. Москва.
 145. *Файбисович М.Л.* Система объектов для выбора альтернатив в среде Web (грант РФФИ №07-07-00355). Институт ЮрИнфоР-МГУ. Москва
 146. *Метлицкий Е.А.* Разработка и реализация базы знаний по анализу изображений (грант РФФИ №06-07-89203). ООО Информационные исследования. Москва.
 147. *Михайлюк М.В.* Разработка технологии, методов и алгоритмов взаимодействия человека с объектами виртуального окружения (грант РФФИ №06-07-89041). ИМВС РАН. Москва.
 148. *Ткачев С.Б.* Виртуальные модели сложных многообъектных динамических систем (грант РФФИ №06-07-89265). ИСА РАН. Москва.
 149. *Шепелев Г.И.* Метод представления и обработки знаний, известных с неопределенностью, в процедурах поддержки экспертных решений (грант РФФИ №06-07-89352). ИСА РАН. Москва.
 150. *Юсупова Н.И.* Система поддержки коммуникативных процессов при выполнении проектов фундаментальных исследований сложных систем на основе интеллектуальных мультиагентов (грант РФФИ №06-07-89228). УфГАТУ. Уфа.
 151. *Богомолов Н.А.* Исследование и разработка программных средств интеллектуального представления данных в Интернет (грант РФФИ №05-07-90328). МГУ НИВЦ. Москва.
 152. *Вагин В.Н., Еремеев А.П.* Исследование и разработка инструментальных средств создания экспертных систем поддержки принятия решений (грант РФФИ №05-07-90232). МЭИ. Москва.
 153. *Домрачев В.Г.* Разработка и программная реализация методов принятия решений на основе экспертных оценок в проблемных областях (грант РФФИ №04-07-90131). ГОУ ВПО МГУЛ. Мытищи.

154. *Рыжиков Ю.И.* Теоретические основы и программная реализация численных методов расчета систем и сетей с очередями (грант РФФИ №10-08-00906). СПб.: СПИИРАН.
155. *Охтилев М.Ю.* Теоретическое и экспериментальное исследование формализмов и программных средств спецификации естественнонаучных и эвристических знаний по динамике, диагностике и управлению сложно структурированными совокупностями взаимодействующих процессов (грант РФФИ №05-08-18111). СПб.: СПИИРАН.
156. *Алексеев В.В.* Инструментальные средства поддержки гибридных интеллектуальных систем на основе нейросетевых нечетко-эволюционных моделей (грант РФФИ №07-07-00002). ТвГТУ. Тверь.
157. *Антонов П.Б.* Инструментальные средства поддержки экспертных систем реального времени на основе формализмов темпоральной логики (грант РФФИ №07-07-00001). ГРАНИТ-ЭЛЕКТРОН. СПб.
158. *Бурков В.Н.* Синтез неманипулируемых механизмов активной экспертизы на многомерных множествах (грант РФФИ №07-07-00079). ИПУ РАН. Москва.
159. *Замятина Е.Б.* Основанная на знаниях балансировка загрузки компьютеров для системы распределенного имитационного моделирования (грант РФФИ №07-07-00412). ПерГУ. Пермь.
160. *Инякин А.С.* Создание информационного Интернет-ресурса, посвященного интеллектуальному анализу данных и распознаванию образов (грант РФФИ №07-07-00372). ВЦ РАН. Москва.
161. *Исмаилова Л.Ю.* Расширяемая среда с элементами проактивных вычислений для сети адаптируемых понятий (грант РФФИ №07-07-00298). Институт ЮрИнфоР-МГУ. Москва.
162. *Лебедев В.Н., Филиппов В.А.* Разработка теоретических основ и архитектуры систем распределенного аналитического мониторинга Интернет-пространства с использованием технологий семантического Web и распределенных мультиагентных систем (грант РФФИ №07-07-00180). ИПУ РАН. Москва.
163. *Рыков А.С.* Модели и методы многокритериального принятия решений и оценки качества сложных систем при неопределенности (грант РФФИ №07-07-00151). МИСиС. Москва.
164. *Файбисович М.Л.* Система объектов для выбора альтернатив в среде Web (грант РФФИ №07-07-00355). Институт ЮрИнфоР-МГУ. Москва
165. *Метлицкий Е.А.* Разработка и реализация базы знаний по анализу изображений (грант РФФИ №06-07-89203). ООО Информационные исследования. Москва.
166. *Михайлюк М.В.* Разработка технологии, методов и алгоритмов взаимодействия человека с объектами виртуального окружения (грант РФФИ №06-07-89041). ИМВС РАН. Москва.
167. *Ткачев С.Б.* Виртуальные модели сложных многообъектных динамических систем (грант РФФИ №06-07-89265). ИСА РАН. Москва.
168. *Шепелев Г.И.* Метод представления и обработки знаний, известных с неопределенностью, в процедурах поддержки экспертных решений (грант РФФИ №06-07-89352). ИСА РАН. Москва.
169. *Юсупова Н.И.* Система поддержки коммуникативных процессов при выполнении проектов фундаментальных исследований сложных систем на основе интеллектуальных мультиагентов (грант РФФИ №06-07-89228). УфГАТУ. Уфа.
170. *Богомолов Н.А.* Исследование и разработка программных средств интеллектуального представления данных в Интернет (грант РФФИ №05-07-90328). МГУ НИВЦ, Москва.

171. *Вагин В.Н., Еремеев А.П.* Исследование и разработка инструментальных средств создания экспертных систем поддержки принятия решений (грант РФФИ №05-07-90232). МЭИ. Москва.
172. *Домрачев В.Г.* Разработка и программная реализация методов принятия решений на основе экспертных оценок в проблемных областях (грант РФФИ №04-07-90131). ГОУ ВПО МГУЛ. Мытищи.
173. *Городецкий В.И.* Многоагентные модели и распределенные алгоритмы оценки и прогнозирования ситуаций (грант РФФИ №04-01-00494). СПб.: СПИИРАН.
174. *Смирнов А.В.* Методологические и математические основы построения контекстно-управляемых систем интеллектуальной поддержки принятия решений в открытой информационной среде (грант РФФИ №05-01-00151). СПб.: СПИИРАН.
175. *Юсупов Р.М.* Разработка и исследование интеллектуальных информационных технологий комплексного моделирования и анализа самоуправляемых вычислительных систем на различных этапах их жизненного цикла (грант РФФИ №05-07-90088). СПб.: СПИИРАН.
176. *Соколов Б.В.* Методология и модели интеллектуального управления конфигурациями распределенных информационных систем с динамически изменяющимися структурами (грант РФФИ №06-07-89242). СПб.: СПИИРАН.
177. *Шпаков В.М.* Модели и методы интеллектуальной поддержки мониторинга, диагностики и управления сложными адаптивными системами (грант РФФИ №08-07-00252). СПб.: СПИИРАН.
178. *Смирнов А.В.* Концептуальные и сценарные модели самоконтекстуализируемых систем интеллектуальной поддержки принятия решений (грант РФФИ №08-07-00264). СПб.: СПИИРАН.
179. *Кириллов Н.П.* Разработка методов моделирования, структуризации и алгоритмизации правил управления состояниями технических систем в штатных и нештатных ситуациях по их неформализованным исходным описаниям (грант РФФИ №08-08-00346). СПб.: СПИИРАН.
180. *Соколов Б.В.* Комплексные модели адаптивного управления динамическими цепями поставок на основе веб-сервисов (грант РФФИ №09-07-00066). СПб.: СПИИРАН.
181. *Шилов Н.Г.* Онтолого-ориентированное управление гибкими сетевыми организациями (грант РФФИ №09-07-00436). СПб.: СПИИРАН.
182. *Городецкий В.И.* Разработка структуры представления и языка формальной спецификации сценарных знаний и механизмов их использования для координации целенаправленного коллективного поведения распределенных агентов в многоагентных системах (грант РФФИ №10-07-00026). СПб.: СПИИРАН.
183. *Юсупов Р.М.* Наука и национальная безопасность. СПб.: Наука, 2006. 290 с.
184. *Велихов Е.П., Бетелин В.Б., Куширненко А.Г.* Промышленность, инновации, образование и наука в России / *Е.П. Велихов, В.Б. Бетелин, А.Г. Куширненко.* М.: Наука, 2009. 141 с.
185. *Matuana M.* The Second Cybernetics. Deviation Amplifying mutual causal process // *American Scientist.* 1963. №51.

Юсупов Рафаэль Мидхатович — чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ; директор Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН. Область научных интересов: теория управления, информатика, теоретические основы информатизации и информационного общества, информационная безопасность. Число научных публикаций — 350. yusupov@iias.spb.su; www.spiiras.nw.ru; СПИИРАН, 14-я ли-

ния В.О., д.39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; тел.(812)328-33-11, (812)328-34-11, факс(812)328-44-50.

Yusupov Rafael Midkhatovich — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Dr.Sc. in Technical Science, Professor, Director of Institution of RAS St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of RAS (SPIIRAS), Honored Scientists of the Russian Federation. Research interests: control theory, informatics, theoretic basics of informatization and information society, information security. Number of research publications — 350. yusupov@ias.spb.su; www.spiiras.nw.ru; SPIIRAS, 39, 14th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-3411; fax: +7(812)328-4450.

Соколов Борис Владимирович — д.т.н., проф., Заслуженный деятель науки РФ; зам. директора по научной работе Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Профессор Б.В. Соколов специалист в области системного анализа и исследования операций. Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Данная прикладная теория имеет междисциплинарный характер и базируется на результатах, полученных в таких областях научных знаний, как классическая теория управления, исследование операций, искусственный интеллект, теория систем и системный анализ. Автор 263 научных трудов, в том числе 3 монографий и 3 учебников. sokol@ias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812) 328-0103, факс +7(812) 328-4450.

Sokolov Boris Vladimirovich — Doctor of Sciences (Tech), Prof., Honored scientist of Russian Federation; Deputy-Director for Research, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Prof. Sokolov B.V. is a specialist in the field of systems analysis and operations research. Research interests: development of research fundamentals for the control theory by structural dynamics of complex organizational-technical systems. This applied theory has interdisciplinary character and is based on results obtained in classical control theory, operations research, artificial intelligence, theory of systems and systems analysis. The number of publications 263, including 3 monograph and 3 textbook. sokol@ias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328-0103, fax +7(812) 328-4450.

Птушкин Анатолий Иванович — к.т.н., проф., ведущий научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: моделирование и управление в организационно-технических и в социо-экономических системах, управление жизненным циклом систем, оптимизация процессов жизненного цикла систем. lai@ias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328-3257, fax +7(812) 328-4450.

Ptushkin Anatoly Ivanovich — Ph.D., Professor, Leading Researcher, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: modeling and management for technical-organizational and socio-economical systems, system life cycle management, system life cycle processes optimization. lai@ias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328-0103, fax +7(812) 328-4450.

Иконникова Анна Владимировна — ведущий программист Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Область научных интересов: исследование задач использования RFID технологий в логистике. Автор 18 научных трудов. ikonnikova@iias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; p.t.+7(812) 328-0103, факс +7(812) 328-4450.

Ikonnikova Anna Vladimirovna — Leading programmer, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: studying problems of using RFID technology in logistics. The number of publications 18. ikonnikova@iias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328-0103, fax +7(812) 328-4450.

Потрясаев Семен Алексеевич — к.т.н., старший научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Потрясаев С.А. специалист в области системного анализа и исследования операций. Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Данная прикладная теория имеет междисциплинарный характер и базируется на результатах, полученных в таких областях научных знаний, как классическая теория управления, исследование операций, искусственный интеллект, теория систем и системный анализ. Автор 30 научных трудов. semp@mail.ru; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; p.t.+7(812) 328-0103, факс +7(812) 328-4450.

Potryasaev Semen Alekseevich — Ph.D., Leading Researcher, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Potryasaev S.A. is a specialist in the field of systems analysis and operations research. Research interests: development of research fundamentals for the control theory by structural dynamics of complex organizational-technical systems. This applied theory has interdisciplinary character and is based on results obtained in classical control theory, operations research, artificial intelligence, theory of systems and systems analysis. The number of publications 263, including 3 monograph and 3 textbook. semp@mail.ru; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328-0103, fax +7(812) 328-4450.

Цивирко Евгений Геннадиевич — канд. техн. наук, председатель Комитета по информатизации и связи Правительства Санкт-Петербурга. Осуществляет государственное управление информационными и телекоммуникационными ресурсами Санкт-Петербурга, решает вопросы обеспечения информационной безопасности и защиты информации в исполнительных органах государственной власти Санкт-Петербурга, а также развития и поддержки инновационной деятельности в области использования информационно-коммуникационных технологий. Является заместителем сопредседателя Научного совета по информатизации Санкт-Петербурга при Правительстве Санкт-Петербурга. kis@gov.spb.ru; www.gov.spb.ru; 191060, Санкт-Петербург, Смольный, тел.+7(812)576-7123.

Tsivirko Evgeny Gennadievich — Ph.D. in Technical Science. At present he is a Chairman of Committee on IT and Communications of Saint-Petersburg City Administration; he is responsible for managing of Saint-Petersburg information and telecommunication resources, decides issues of information security and privacy for executive bodies of Saint-Petersburg Government as well as issues of innovation activities' development and support in the field of using

Information and Communication Technologies. He is Deputy Co-Chairman of Scientific Council on Informatization at Saint-Petersburg City Administration. 191060, St.Petersburg, Smolnyi, office phone +7(812)576-7123, e-mail: kis@gov.spb.ru; www.gov.spb.ru.

Рекомендовано СПИИРАН, директор чл.-кор. РАН Р.М. Юсупов.
Статья поступила в редакцию 03.03.2011.

Поддержка исследований. Междисциплинарные исследования по рассматриваемой тематике проводились при финансовой поддержке РФФИ (гранты 09-07-00066, 10-07-00311, 08-08-00403, 09-07-11004, 10-07-90407-Укр_а, 10-08-90027-Бел_а, 11-08-01016, 11-07-90411-Укр_Ф-а), Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект №О-2.3/03).

РЕФЕРАТ

Юсупов Р.М., Соколов Б.В., Птушкин А.И., Иконникова А.В., Потрясаев С.А., Цивирко Е.Г. **Анализ состояния исследований проблем управления жизненным циклом искусственно созданных объектов.**

На протяжении многих лет исследования по проблемам управления жизненным циклом (ЖЦ) различных искусственно созданных объектов проводятся преимущественно по вопросам обеспечения информационной поддержки их ЖЦ. Основные усилия были направлены на разработку таких технологий, как CAD, CAM, PDM и др., и их интеграцию в единое информационное пространство. Вместе с тем ключевое значение для ее решения имеют прежде всего управленческие аспекты, связанные с постановкой управленческих задач для различных уровней управления, разработкой требований к информационному обеспечению их решения, организацией управления (в частности, с выбором организационных структур управления) и, конечно же, с экономическими вопросами.

О важности и срочности решения этих вопросов, о том, что отсутствие научно-методического обеспечения управления ЖЦ тормозит внедрение ИПИ-технологий и снижает эффективность их применения, уже давно говорится на многих конференциях и в различных публикациях, но серьезных результатов в этой области до сих пор не получено. Одной из главных причин этого является отсутствие заказов на подобные фундаментальные работы.

В то же время за рубежом подобные фундаментальные исследования перчисленных вопросов активно проводятся. Так, в 2008 г. успешно завершен международный проект Promise, в котором участвовали 20 организаций из Евросоюза, Швейцарии, Японии, Австралии и США. В результате выполнения этого проекта была предложена более совершенная технология управления ЖЦ, которая получила название CL2M (Closed Loop Lifecycle Management — управление ЖЦ с обратной связью). Из сказанного следует, что в области разработки научно-методического обеспечения управления ЖЦ имеется большой круг важных для экономики страны нерешенных задач, для решения которых требуется проведение междисциплинарных фундаментальных исследований.

Предлагаемая статья о состоянии и тенденциях развития мировой науки в области создания и развития фундаментальных основ информационных технологий, вычислительных систем и телекоммуникаций при решении задач управления ЖЦ искусственно созданных объектов различной природы, базирующаяся на анализе отечественной и зарубежной литературы, а также результатах исследований, проводимых по заказу Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), позволяет ознакомиться с наиболее актуальными задачами в рассматриваемой предметной области, требующими первоочередного решения, и научным заделом, который имеется в данной области.

SUMMARY

Yusupov R.M., Sokolov B.V., Ptushkin A.I., Ikonnikova A.V., Potryasaev S.A., Civirko E.G. **Research problems analysis of artificial objects lifecycle management.**

For many years, research on life-cycle (LC) management of different man-made objects is held primarily on providing information to support their LC. The main efforts were directed towards the development of technologies such as CAD, CAM, PDM, etc. and their integration into a unified information space. However, LC management issues are not limited to informational aspects. Crucial for its decisions are primarily managerial aspects associated with formulation of management objectives for various levels of management, development of requirements for information support of their decision, the organization of management (in particular, with the choice of institutional control) and, of course, with economic issues.

The importance and urgency of addressing these issues, that the lack of scientific and methodological support of LC management hinders the introduction of IAS-based technologies and reduces the effectiveness of their use, has long been referred to many conferences and in various publications, but no serious results in this area until now not received. One of the main reasons is the lack of orders for such fundamental work.

At the same time, overseas such fundamental research of issues stated above are actively being conducted. So, in 2008, was successfully completed an international project Promise, which was attended by 20 organizations from the European Union, Switzerland, Japan, Australia and the USA. The result is the filling of this project was proposed more advanced technology LC management, which was named CL2M (Closed Loop Lifecycle Management — life cycle management with feedback). It follows that in the development field of scientific and methodological support of life cycle management there are a wide range of important unsolved problems for the economy, whose solution requires an interdisciplinary basic research.

The proposed article of the status and trends of development of world science in the creation and development of fundamentals of information technology, computing and telecommunications in solving problems of management LC man-made objects of different nature, based on an analysis of domestic and foreign literature, as well as research results, commissioned by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), can find the most urgent tasks in the subject area requiring urgent solutions, and scientific basis, which is available to in this research field.