

**ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ
И ВНЕДРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

А. А. Черепашков, П. А. Самойлов

**METHODOLOGY OF GRAPHIC-ANALYTICAL MODELING
IN TASKS OF THE ANALYSIS OF PROCESSES
OF DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT
OF THE AUTOMATED SYSTEMS**

A. A. Cherepashkov, P. A. Samoylov

Аннотация. Актуальность и цели. Проблематика выбора эффективных методов и средств оценки, формализации и наглядного представления бизнес-процессов актуальна для поддержки решения задач анализа и управления процессами проектирования, внедрения и эксплуатации организационно-технических систем в различных предметных сферах. Целью данного исследования является повышение эффективности управления процессами разработки и внедрения комплексных систем автоматизированного проектирования и подготовки производства. *Материалы и методы.* Обсуждается применение графических моделей и диаграмм в задачах анализа бизнес-процессов компаний-интеграторов систем промышленного назначения. Рассматривается ряд известных способов визуального представления моделей и процессов проектирования технических объектов и систем в различных предметных областях. *Результаты.* Предлагается альтернативная методика визуализации индикаторов процессов исполнения комплексного проекта по разработке и внедрению автоматизированных организационно-технических систем. *Выводы.* Разработанная методика графоаналитического моделирования и визуализации наглядно отражает динамику развития проекта организации и управления процессами разработки и эксплуатации систем автоматизированного проектирования (САПР), интегрированных в состав единого информационного пространства предприятия.

Ключевые слова: PLM-системы, интегрированные САПР, моделирование процессов проектирования.

Abstract. Background. Research is connected to a perspective of increase of effective management of development processes and implementations of complex automated design engineering systems and preparation of production. *Materials and methods.* In article application of graphic models and charts in tasks of the analysis of business processes of the companies of integrators of automated systems of industrial function is discussed. A row of the known methods of visual representation of design processes of technical objects and systems in different data domains is considered. *Results.* The alternative technique of visualization of indicators of execution of the complex project for the organization and control systems is offered. *Conclusions.* The developed technique of graphic-analytical modeling visually reflects dynamics of development of the project of the organization and management of processes of development and operation of CAD/CAM systems, integrated into structure of a common information space of the enterprise.

Key words: CAD/CAM, PLM, processes modeling, complex automated systems.

Введение

Проблематика выбора эффективных методов и средств оценки, формализации и наглядного представления бизнес-процессов актуальна для поддержки решения задач анализа и управления процессами проектирования, внедрения и эксплуатации организационно-технических систем в различных предметных сферах [1]. При помощи графоаналитического моделирования определенных аспектов деятельности компании становится возможным достаточно точно и оперативно обнаруживать «узкие места» в управлении, оптимизировать общую схему бизнеса. Осознание важности моделирования бизнес-процессов со всей очевидностью произошло с появлением на рынке сложных программных продуктов, предназначенных для комплексной автоматизации управления предприятием [2].

В теории и практике методики функционального моделирования бизнес-процессов, включающих построение разнообразных схем, графиков и диаграмм, широко представлены в проектах создания и эксплуатации организационно-экономических блоков комплексных систем (ERP, MES и др.).

Особенности моделирования процессов разработки и внедрения PLM-решений в машиностроении

В производственно-технических системах, называемых разработчиками PLM-решениями (Product Lifecycle Management Solution), автоматизируются в основном проектно-производственные этапы жизненного цикла изделий (ЖЦИ). При этом в области организации и управления процессами конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) успешных примеров применения графических средств моделирования значительно меньше. Практически не разработана методика управления комплексными процессами автоматизации проектирования, планирования и организации производства изделий машиностроения. В рамках этих этапов возможно множество различных комбинаций и вариантов средств автоматизации, выбор из которых не является рутинной задачей и требует многокритериального оптимизационного подхода для своего успешного решения.

В действующих технических стандартах [3] для поддержки функционального моделирования автоматизированных систем рекомендуется использовать графический язык IDEF (рис. 1).

Но опыт их использования в практической деятельности показывает, что при всех положительных качествах (отработанная графическая символика, возможность отображения не только последовательности этапов, но и механизмов их взаимодействия, модульность и пр.) трудоемкость составления и сложность чтения графического языка IDEF вызывают проблемы в применении подобных графических моделей в условиях внедренческих компаний, специализирующихся в области САПР. Многим практикам более удобным (простота, наглядность, объектная ориентация и пр.) для моделирования бизнес-процессов представляется функционал языка графического описания UML [4] (рис. 2).

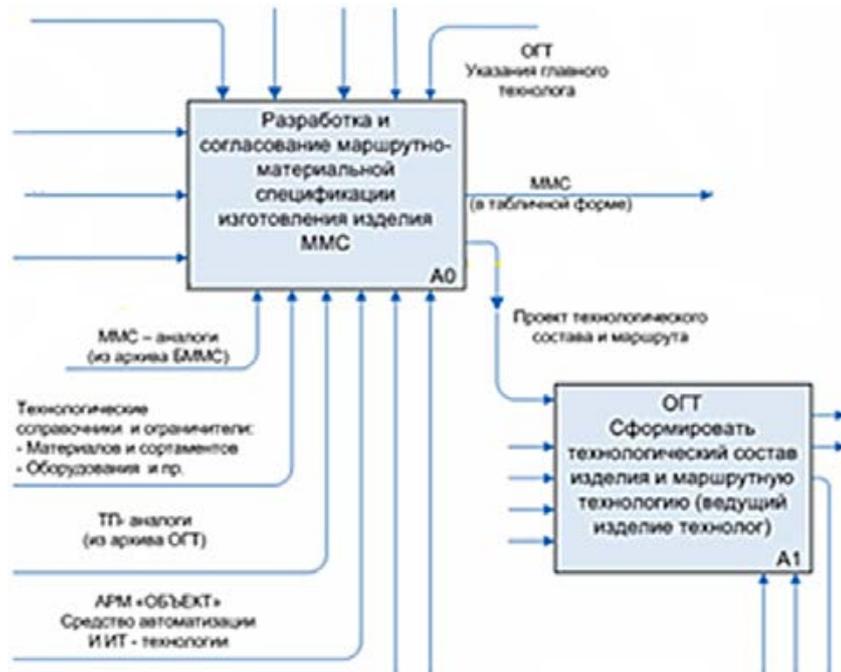


Рис. 1. Фрагмент диаграммы в нотации IDEF0

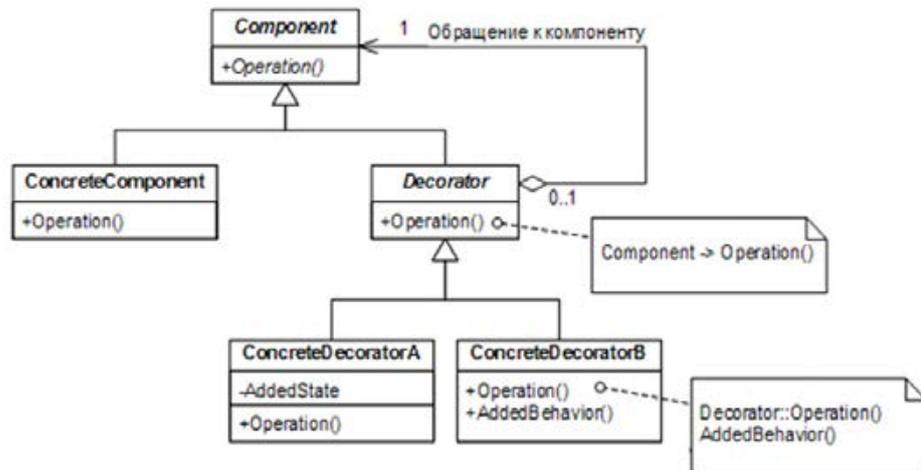


Рис. 2. Фрагмент диаграммы в нотации UML

Однако и в этом случае запутанные статичные схемы представляются плохо приспособленными для качественного анализа и визуализации динамики процессов проектно-производственного характера. При создании и внедрении PLM-систем целесообразно дополнять статические диаграммы динамическими моделями, отражающими некий интегральный показатель, наглядно демонстрирующий продвижение потока разнородных (при этом трудно формализуемых по своему содержанию) работ, характерных для организационно-технических систем промышленного назначения.

Методы моделирования различных процессов на основе математических моделей авторегрессии хорошо прижились во многих науках [5]. В машиностроении было показано, что для моделирования однородных процессов проектирования, связанных с разработкой и модификацией конструкторской документации, также могут быть использованы достаточно простые функции, имеющие очевидные аналоги в классической динамике. Например, в виде кольцевых волн, затухающего колебательного процесса или концентрических спиралей [6] (рис. 3). Так, аperiodическая кривая на рис. 3,а хорошо отражает динамику распространения технических нововведений.

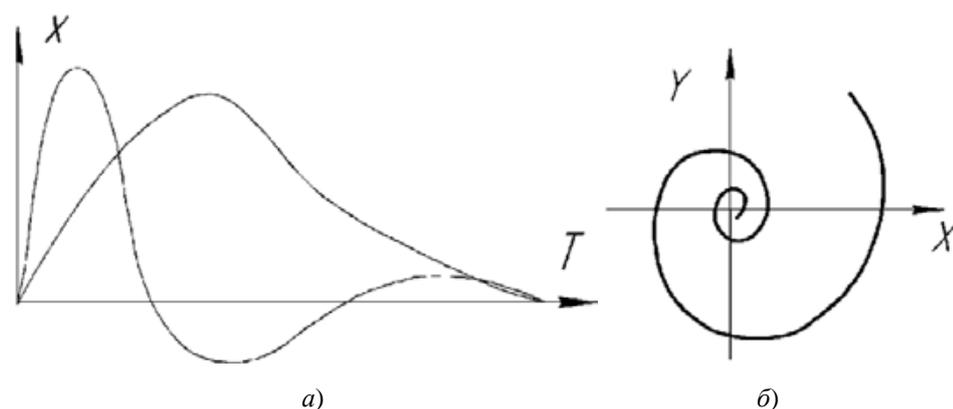


Рис. 3. Диаграммы в форме:
а – аналогичной графикам колебательных процессов; б – спиралей

По периодическому закону «затухают» изменения, вносимые в конструкторско-технологическую документацию на циклически развивающихся этапах КТПП, а в форме раскручивающейся спирали достаточно успешно моделируется закономерность нарастания объема технической документации на тех же циклах проектирования.

Применение «S»-образных кривых для идентификации комплексных процессов в PLM-системах

Для идентификации комплексных процессов в PLM-системах, связывающих разнородные подсистемы или этапы жизненного цикла изделий машиностроения, более всего подходят так называемые «S»-образные кривые (S-curves) [7]. Известные графики иллюстрируют закономерности формирования полного информационного описания изделия в процессе комплексного проектирования (процессе ЖЦИ – Product Lifecycle) (рис. 4) [8]. На начальных этапах проектных работ знания об изделии (Product Knowledge) минимальны, но при этом разработчику предоставлена максимальная свобода принятия решений (Ease of change). По окончании подготовки производства описания изделия достигают уровня, достаточного для его изготовления, но при этом практически не остается возможностей для внесения изменений.

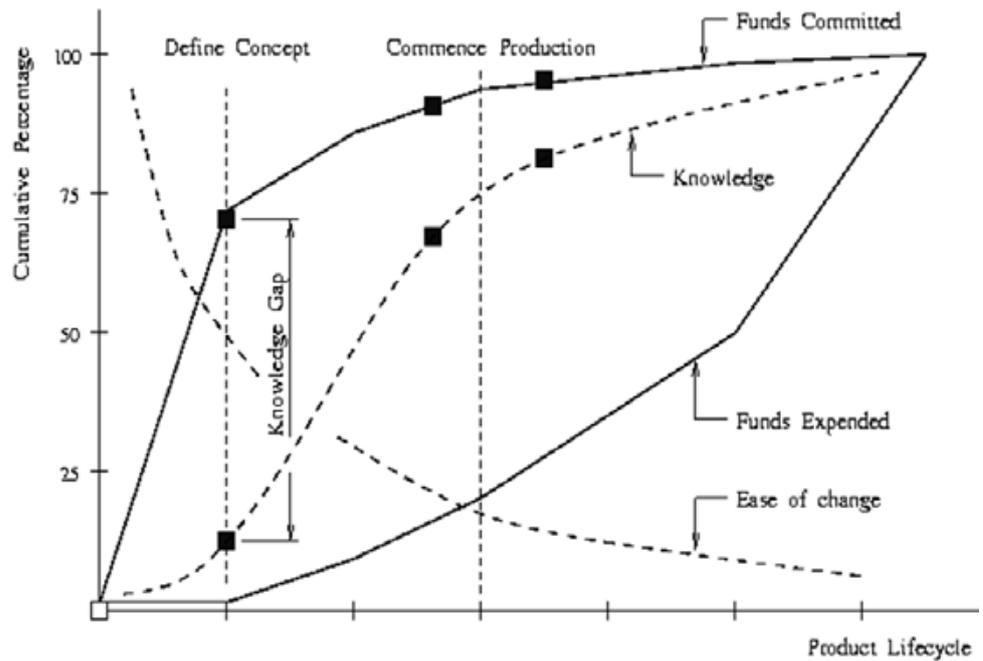


Рис. 4. «S»-кривая (показана пунктиром)

Приведенные рассуждения и рассмотренные зависимости могут быть с высокой степенью подобия распространены на процессы разработки и внедрения PLM-решений.

Динамика изменения «S»-кривых (рис. 5) иллюстрирует влияние управляющих воздействий (внедрения новых информационных технологий и средств, обучения персонала и пр.) на эффективность системы.

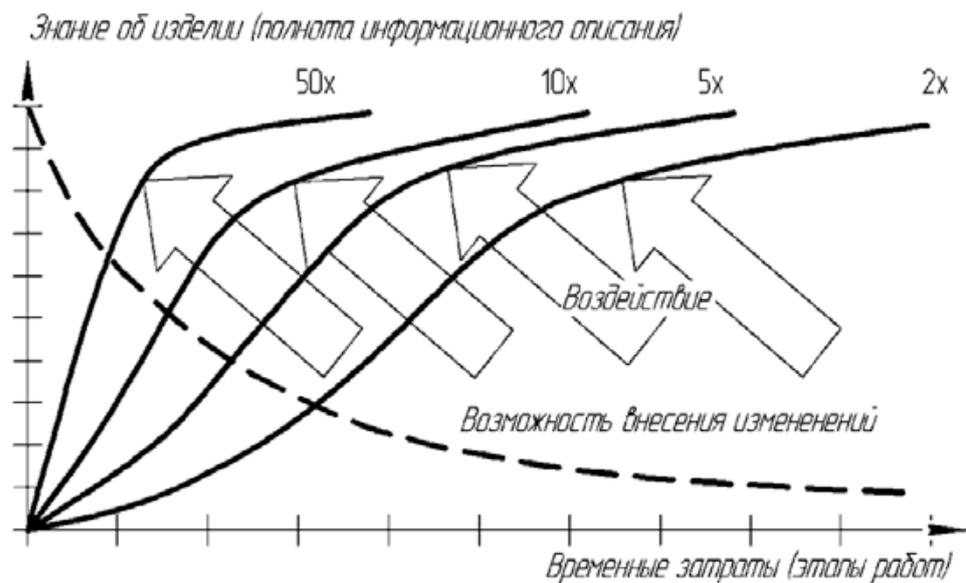


Рис. 5. Траектории проектной деятельности

Близость к эталонной кривой может служить интегральным критерием успешности (эффективности) развития проекта внедрения. В свою очередь нарушения плавности или отклонение проектных траекторий от плановых свидетельствуют о наличии проблем.

В последние годы в мировой индустрии САПР наметились существенные изменения в методологии интеграции комплексных систем в промышленности [9, 10]. Все чаще, даже на малых и средних предприятиях (до этого предпочитавших эксплуатировать устаревшее и часто нелегальное программное обеспечение), отказываются от так называемых «коробочных» (типовых) продуктов в пользу заказных разработок. В таких решениях, адаптированных к требованиям заказчика, называемых «кастомизированными» (customized), применяется оригинальное или существенно доработанное прикладное программное обеспечение (bespoke software) [11].

Компании-интеграторы, действующие на местах, могут экономически и технически более эффективно проводить проекты внедрения даже на небольших предприятиях. При этом используются собственные (или локализованные) компоненты средств обеспечения, а процессы проектирования и развертывания PLM получают на местах большую гибкость и управляемость, в том числе и за счет оперативного планирования и учета работ.

На известных схемах, отражающих динамику проектирования (в том числе и на рис. 4, 5), графики начинают строить от «нулевой точки» – начала координат. Предполагается, что разработка нового проекта также начинается с нуля как по времени, так и по уровню информационного описания. Если для отсчета момента старта работ это совершенно справедливо, то стартовый уровень описания системы, как правило, уже содержит некое множество данных в виде типовых решений-заготовок. Для представления закономерностей деятельности проектных и особенно внедренческих организаций это принципиально важно, поскольку начальный уровень «знаний» об объекте отражает как уровень компетенций персонала компании-интегратора, так и наличие определенного задела в компонентах системы. При этом на графиках «S»-кривые должны смещаться влево от вертикальной оси, как это показано на рис. 6, а начальная часть кривой подрезается – вплоть до полной потери первого перегиба при внедрении готовых решений.

На приведенных выше графиках по оси ординат отмечаются уровни «знания об объекте» или «информационная полнота», выраженные в процентах (Cumulative percentage – совокупный процент), от заданного уровня разработки или даже некоего идеала, например так называемого полного определения объекта (full definition of object).

Следует заметить, что полное определение PLM-системы практически недостижимо в силу целого ряда причин. Во-первых, по тем же принципам системотехники любая достаточно сложная организационно-техническая система для поддержания своего существования должна постоянно развиваться и совершенствоваться (Continuous Acquisition). Во-вторых, уже по законам проектирования путь от незнания (технического задания) к знанию (новому

техническому объекту) содержит существенную вероятностную составляющую, и конечные технические характеристики нового изделия на начальных этапах только прогнозируются.

Построение динамических траекторий достаточно убедительно демонстрирует основные закономерности развития процессов проектов внедрения. При этом «S»-образные кривые представляются одними из самых удобных. Так, например, на рис. 6 показано, что за счет наличия у внедренческих организаций некоего задела в виде типовых решений возможно существенное сокращение временных затрат. Однако при этом несколько снижается вариативность и гибкость проектирования.

Менее всего проработанным в научном и практическом аспектах и одним из ключевых элементов обсуждаемого подхода к моделированию является выбор достаточно очевидного и при этом формализуемого показателя уровня полноты проекта. В ряде научных работ [6] в качестве критерия оценки уровня информационной полноты и индикатора динамики процесса проектирования используется валовое количество разработанных конструкторских документов. Такой показатель представляется достаточно логичным с точки зрения традиционной «бумажно-ориентированной» методики выполнения проектных работ.

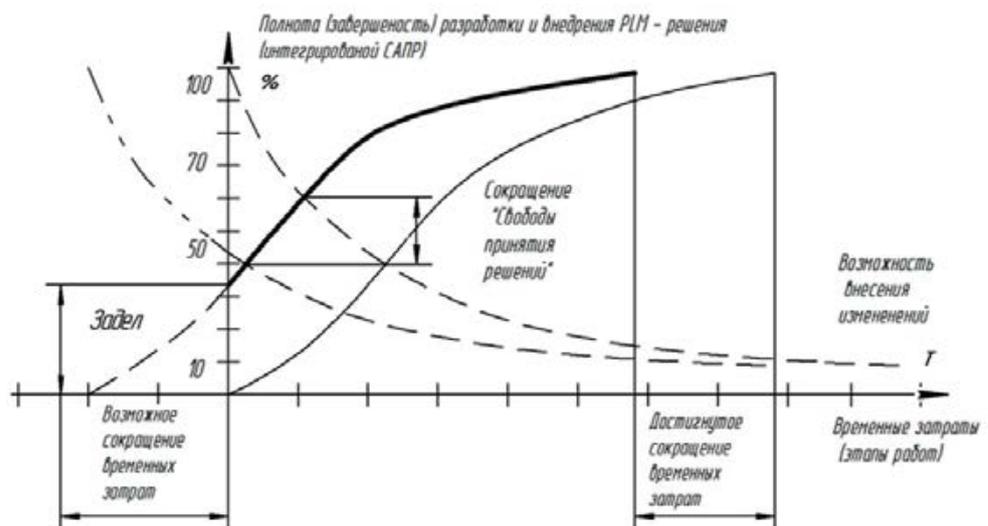


Рис. 6. Изменение траектории внедрения при наличии типового решения

В случае автоматизированного проектирования уже требуется учитывать электронные документы, модели, расчетные и информационные массивы данных и прочее, которые достаточно сложно уравнивать с бумажными форматами. А как оценивать и сравнивать между собой работы по программированию, тестированию, обучению, техническому сопровождению?

Для интегральной оценки работ по созданию и внедрению автоматизированных систем проектирования при построении «S»-образных графиков предложено использовать такой критерий, как трудоемкость (см. рис. 6).

В организациях, связанных с предоставлением услуг, трудоемкость широко используется для расчетов стоимости работ. Так называемый нормо-час (человеко-час) включает в себя не только время исполнения работ, но и их характер, сложность, важность и пр. Конечно, такой подход содержит определенную субъективную (экспертную) составляющую. Но в процессе многолетней деятельности в конкурентной среде специализированных субъектов (к которым относятся и компании-интеграторы) экспертные оценки трудоемкости типовых работ нивелируются как в абсолютном, так и относительном выражении. Кроме того, в коммерческих компаниях хорошо налажен учет всех оплачиваемых работ. По суммарной трудоемкости оценивается и стоимость заверченного проекта.

Типовой перечень работ по созданию комплексной автоматизированной системы включает следующие укрупненные этапы:

1. Обследование предприятия.
2. Разработка концепции системы.
3. Разработка технического и коммерческого предложения.
4. Разработка архитектуры системы, комплексирование покупных средств обеспечения и пр.
5. Разработка программного, информационного, организационного и других новых средств обеспечения.
6. Тестирование подсистем.
7. Разработка всех видов сопроводительной документации.
8. Развертывание системы на автоматизированных рабочих местах.
9. Проведение обучения персонала.
10. Консультирование персонала.
11. Сопровождение системы.

На рис. 7–9 показаны реальные графики, построенные по ряду характерных проектов, выполненных специалистами одного из самых крупных региональных дилеров и интеграторов комплексных решений САПР – компании АСКОН-Самара [12].

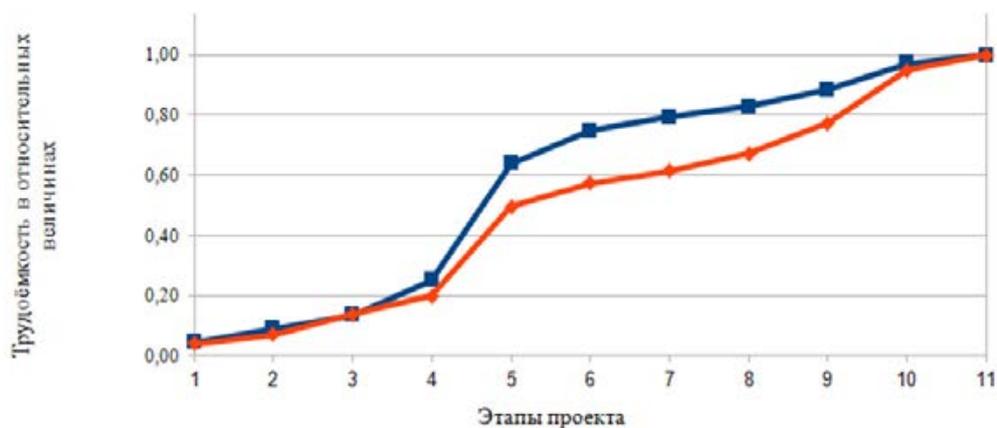


Рис. 7. Траектория разработки и внедрения новых (оригинальных) PLM-решений

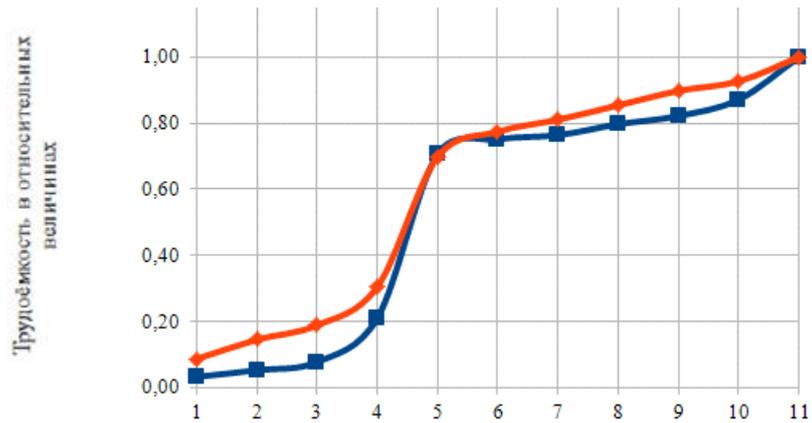


Рис. 8. Траектория разработки и внедрения кастомизированных решений

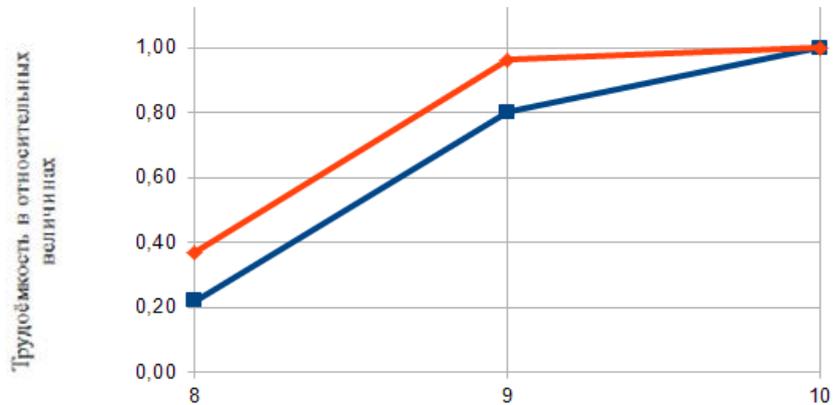


Рис. 9. Траектория внедрения коробочных решений

Для каждого типа проектов было выбрано по два сравнимых между собой решения. Графики разработки и внедрения оригинальной системы (см. рис. 7) достаточно пологие за счет большей длительности практически всех этапов. Причем наибольший трудовой вклад в систему приходится на этапы разработки средств обеспечения, их отладку и тестирование. В этом принимает участие и самая большая группа специалистов.

При реализации адаптированных решений (см. рис. 8) перечень этапов, как правило, остается прежним, но они существенно сокращаются по длительности. На начальных этапах используется задел, и трудоемкость их ниже, чем у оригинальных. Трудоемкость подскакивает на производственных этапах, где происходят доработка типовых подсистем и разработка новых средств обеспечения. При кастомизации более гладко и легко идут внедренческие работы. Это наглядно отражается на графике, приводя к его сжатию по оси абсцисс и к большей кривизне в центральной части.

Траектории внедрения коробочных решений (см. рис. 9) внешне совсем не похожи на «S», но, как было показано выше, это следствие подрезания траектории проектирования за счет уже выполненных разработок и использованного задела.

Заключение

Практика использования описанной методики графоаналитического анализа в проектах одной из крупнейших компаний-итераторов систем промышленной автоматизации в Поволжье (АСКОН-Самара) показала, что «S»-образные модели хорошо согласуются с экспериментальными кривыми и при этом достаточно удобны для организации и управления процессами разработки и эксплуатации САПР, интегрированных в состав единого информационного пространства предприятия.

Библиографический список

1. Черепашков, А. А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении / А. А. Черепашков, Н. В. Носов. – Волгоград : Ин-фолио, 2009. – 650 с.
2. Репин, В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 544 с.
3. Р 50.1.028–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 98 с.
4. Википедия. – URL: [https:// ru.wikipedia.org/wiki/UML/](https://ru.wikipedia.org/wiki/UML/) (дата обращения: 25.06.2016).
5. Семенчев, В. К. Идентификация экономической динамики на основе моделей авторегрессии / В. К. Семенчев. – Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2004. – 243 с.
6. Комаров, В. А. Модели оценки ускорения проектно-конструкторских работ в наукоемком машиностроении за счет распараллеливания итерационных процессов разработки / В. А. Комаров, М. Е. Кременецкая, А. В. Соллогуб, А. Н. Филатов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2010. – № 4 (24). – С. 224–231.
7. Dietz, P. Strategies for Product Knowledge Management and Feedback to Design / P. Dietz, S. Penschke, A. Ort // Application Examples. – 2nd Workshop on Product Knowledge Sharing and Integration (ProKSI-97). – Sophia Antipolis, France, 1997.
8. Terdalkar, S. S. Graphically driven interactive finite element stress reanalysis for machine elements in the early design stage / S. S. Terdalkar, J. J. Rencis // Finite Elements in Analysis and Design. – 2006. – Vol. 42, Issue 10. – P. 884–899.
9. АСКОН: Комплексные решения для машиностроения / Компания «АСКОН». – URL: <http://ascon.ru/press/news/items/?news=2043> (дата обращения: 12.06.2016).
10. Transition metrics and revenue metrics offer alternative scenarios for Autodesk's fiscal year: News and Commentary for CAD and DCC Professionals / A Jon Peddie Research Publication, Inc. – URL: <http://gfxspeak.com/2016/02/26/autodesk-revenue-down-in-fourth-quarter-flat-for-fiscal-year/> (дата обращения: 18.03.2016).
11. Bespoke Vs COTS [Electronic resource]: Blueberry Systems, Ltd. – URL: <http://www.blueberrysystems.co.uk/Resources/WhitePapers/BespokeVsCommercialOff-The-Shelf.aspx> (дата обращения: 18.03.2016).
12. Черепашков, А. А. Использование «s»-образных графиков в задачах управления процессами разработки и внедрения интегрированных САПР / А. А. Черепашков, П. А. Самойлов // Проблемы и перспективы развития двигателестроения : материалы докладов Междунар. науч.-техн. конф. – Самара : Самарский университет, 2016. – С. 77–78.

Черепашков Андрей Александрович
доктор технических наук, профессор,
кафедра технологии машиностроения,
Самарский государственный технический
университет
E-mail: cher-mail@mail.ru

Cherepashkov Andrey Alexandrovich
doctor of technical sciences, professor,
sub-department of machine building
technology,
Samara State Technical University

Самойлов Павел Александрович
директор,
ООО «АСКОН-Самара»
E-mail: samoylov@gk-it-consult.ru

Samoylov Pavel Alexandrovich
director,
ASCON-Samara LLC

УДК 621.002:681.3

Черепашков, А. А.

Применение графоаналитических моделей в задачах анализа процессов разработки и внедрения комплексных автоматизированных систем / А. А. Черепашков, П. А. Самойлов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 2 (22). – С. 268–278.