

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

© 2021 А.А. Черепашков<sup>1</sup>, П.А. Самойлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный технический университет  
(опорный университет)

<sup>2</sup> ООО «АСКОН-Самара»

Статья поступила в редакцию 10.06.2021

В статье обсуждается проблематика внедрения САПР, интегрированных в состав комплексных автоматизированных систем производственного назначения (PLM-решений). Одной из причин неудач и низкой результативности проектов внедрения комплексных автоматизированных систем являются отсутствие критериев оценки их результативности, необходимых для организации управления разработками. Предлагается система формализуемых показателей позволяющих производить анализ и многокритериальную оптимизацию процессов создания интегрированных САПР. Выделены и определены четыре группы показателей: Функциональные, представленные в форме индикаторов, отражающих определенные достижения по расширению функционала системы, увеличению полноты системных процедур, улучшению качества потоков работ и перерабатываемой информации; Финансово-экономические показатели, учитывающие требования заказчика по затратам и срокам реализации проекта; Социально-экономические критерии, демонстрирующие улучшения условий деятельности персонала автоматизированной системы. Приводятся результаты исследования проектов комплексной автоматизации ведущих предприятий авиастроения и автомобилестроения Самарского региона. Внедрение программно-методического комплекса позволило повысить уровень автоматизации взаимосвязанных с конструкторским и технологическим проектированием процессов диспетчеризации и оперативного планирования производства. За счет этого значительно снизились объемы незавершенного производства и были минимизированы переналадки оборудования. В целом можно констатировать, что внедрение методики многокритериального мониторинга на проектно-производственных этапах жизненного цикла изделий машиностроения может обеспечивать повышение эффективности процессов разработки и внедрения комплексных автоматизированных систем.

*Ключевые слова:* Автоматизация проектирования, машиностроение, PLM-решения, критерии и показатели эффективности.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-13-17

### 1. Введение

Практика разработки, внедрения и эксплуатации PLM-решений [1 – 5] показывает, что оценку их успешности и качества практически невозможно свести к какому-то одному простому и легко определяемому показателю, числовое значение которого должно быть доведено при реализации проекта до экстремального значения. Можно утверждать, что проекты комплексной автоматизации и системной интеграции по своему определению относятся к многокритериальным оптимизационным задачам. Причем выдвигаемые заказчиками требования имеют весьма различную природу, зачастую противоречивы и нечетки в своей постановке.

*Черепашков Андрей Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения, станки и инструменты». E-mail: eg@samgtu.ru*  
*Павел Александрович Самойлов, генеральный директор компании АСКОН-Самара ООО.*  
*E-mail: info@ascon-samara.ru*

### 2. Методика исследований

Анализ публикаций и личный опыт участия в проектах промышленной автоматизации [6, 7] позволяют предложить следующую систему показателей:

$$P = \{P^f, P^e, P^s, P^k\}, \quad (1)$$

Причем каждое множество  $P^x$  (где  $x$  – тип показателя) можно представить в виде отдельного подмножества  $P^{xy}$ , где  $y$  – частный показатель, определяемый в рамках своего типа (таблица 1).

В авторской методике предложено удовлетворение функциональных требований заказчика интегрированных САПР оценивать по следующим объективным показателям:

– расширение функционала автоматизации по индикатору: «Раньше не могли – сейчас можем»;

– увеличение полноты функциональных возможностей по индикатору: «Достаточно / недостаточно»;

– улучшение качества потока информации

и работ по индикаторам: «Отсутствие дублирования информации/процессов» и «Сокращение числа ошибок персонала».

В коммерческих проектах обязательно выделяется группа финансово-экономических показателей, обеспечивающих удовлетворение требований заказчика по затратам и срокам разработки и внедрения системного решения. Однако очевидно, что минимизация затрат и трудоёмкости далеко не всегда приводит к оптимальным результатам.

Необходимо учесть субъективные показатели, определяемые как социально-экономические критерии, связанные с качеством реализации человеко-машинных интерфейсов и организацией труда персонала автоматизированной системы. Следует оговориться, что автоматизация проектных работ, как правило, не преследует целей их облегчения, но при этом растёт производительность труда и, как следствие, его интенсификация. Кроме того, автоматизированное проектирование и производство выдвигают повышенные требования к квалификации персонала.

Отдельно следует выделить показатели сложности решения задач технической подготовки производства. На приведенных в данной статье примерах (рисунки 1 и 2) были выделены проектный и производственный этапы жизненного цикла изделий (ЖЦИ). При необходимости количество показателей сложности легко

может быть расширено в рамках описываемой методики.

Для оцифровки выбранных критериев эффективности предлагается использовать 10-балльную оценочную шкалу. Вес каждого критерия формируется экспертом (или комиссией из представителей Заказчика и Исполнителя) на основе анализа результатов опытной эксплуатации и опросов пользователей. При этом критерии альтернативного типа («да-нет») составляют суммарно «10» или «0» баллов соответственно.

Для наглядного представления интегральной (общей) оценки проекта формируется сводная диаграмма (рисунки 1 и 2), лучами которой выступают типы критериев, цифровые значения которых нормируются в диапазоне 0–100 баллов. Данная методика оценки позволяет свести воедино разнородные по своей природе показатели и наглядно их представить заказчикам, что обеспечивает формирование у персонала обоснованной оценки проектов автоматизации в целом.

В качестве показательных примеров на рисунке 1 приведены результаты оценки проекта комплексной автоматизации предприятия авиационного, а на рисунке 2 – автомобилестроения.

В обоих случаях наиболее трудоёмким выступает этап комплексной автоматизации процедур планирования и диспетчеризации производства. Это объясняется следующими основными обстоятельствами:

**Таблица 1.** Классификация критериев оценки комплексных решений

| Критерии | Наименование критерия и его оценка   | Обозначение на диаграммах |
|----------|--|---------------------------|
| $P^f$    | <i>Функциональные индикаторы</i>   | P-f                       |
| $P^{f1}$ | Расширение функционала системы ( «да» – 2,5; «нет» – 0)  |                           |
| $P^{f2}$ | Увеличение полноты системных процедур ( «да» – 2,5; «нет» – 0)   |                           |
| $P^{f3}$ | Улучшение качества информационного потока ( «да» – 2,5; «нет» – 0)   |                           |
| $P^{f4}$ | Улучшение качества потока работ ( «да» – 2,5; «нет» – 0)   |                           |
| $P^e$    | <i>Финансово-экономические показатели</i>  | P-e                       |
| $P^{e1}$ | Удовлетворение требований по затратам (0–5)  |                           |
| $P^{e2}$ | Удовлетворение требований по срокам (0–5)  |                           |
| $P^s$    | <i>Социально-экономические критерии</i>  | P-s                       |
| $P^{s1}$ | Сравнительная оценка качества решения автоматизации (улучшений) персоналом автоматизированной системы (0–10) |                           |
| $P^k$    | <i>Показатели сложности решения</i>  | P-k                       |
| $P^{k1}$ | Автоматизация проектных этапов ( «да» – 5; «нет» – 0)  |                           |
| $P^{k2}$ | Автоматизация производственных этапов ( «да» – 5; «нет» – 0)   |                           |

1. При автоматизации проектного этапа ЖЦИ широко используются «коробочные» программные продукты (CAD/CAM/CAE...), не требующие значительных затрат на их развертывание и наладку.

2. Базовые технологии САПР в настоящее время достаточно хорошо освоены проектным персоналом автоматизированных систем и не требуют больших затрат на подготовку и переподготовку кадров.

3. Потoki информации и работ в подсистемах автоматизации производственного этапа ЖЦИ, существенно более сложны и менее формализованы.

4. В комплексных проектах, как правило, существенной доработке и настройке подвергаются именно подсистемы планирования и управления производством.

Можно заметить, что временные затраты в комплексных проектах не всегда однозначно коррелируются с трудоёмкостью проводимых проектных и внедренческих работ. Повышенная продолжительность автоматизации проектирования объясняется более широким охватом автоматизированных рабочих мест и связанной с этим длительностью процедур закупок и установки дорогостоящих технических средств и программного обеспечения. Этапы автоматизации

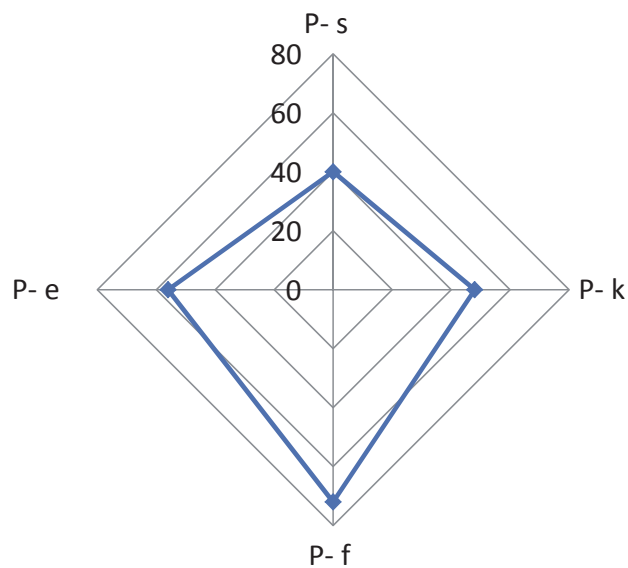


Рис. 1. Сводная диаграмма показателей эффективности проекта комплексной автоматизации предприятия авиастроения

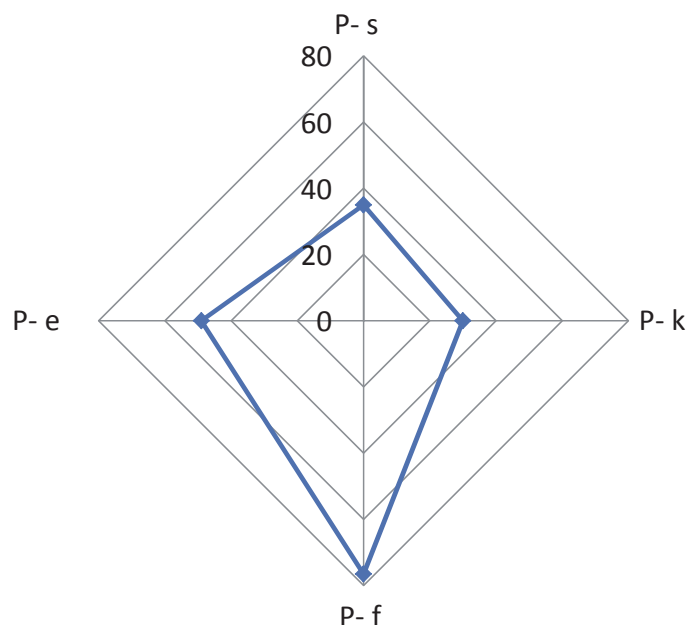


Рис. 2. Сводная диаграмма показателей эффективности проекта комплексной автоматизации предприятия автомобилестроения

зации производства более трудоёмки на этапе разработки (за счет необходимости их кастомизации), но быстрее реализуются в процессе развёртывания и внедрения.

Структура и содержание комплексного проекта промышленной автоматизации в каждом конкретном случае в существенной мере зависят от специфики продукции предприятия, типа производства, поставленных технических и организационно-экономических задач и множества других входных условий. Однако при этом можно выделить общие правила и рекомендации, позволяющие повысить результативность и эффективность реализации комплексных проектов уже на самых ранних этапах проектов разработки и внедрения автоматизированных систем промышленного назначения.

Как показывает анализ показателей эффективности первого проекта, наибольший эффект был достигнут в области функциональных индикаторов. Это связано с тем, что, несмотря на то, что в процесс внедрения вышел за рамки первоначально запланированных бюджета и сроков, но по итогам предприятие получило высокий прирост производительности и качества работы проектировщиков.

Как видно из представленной диаграммы, проект 2 в целом хотя и удовлетворяет функциональным требованиям, но существенно отличается от максимальных значений по иным требованиям. Это связано с некоторым расхождением плановой и фактической трудоёмкостей, а также проблем с интеграцией с уже функционирующим контуром конструкторско-технологической подготовки производства.

При этом производственные процессы в автомобилестроении, отличающиеся от авиастроения за счет высокой серийности и стандартизации требуют значительно больших вложений в техническую подготовку производства.

## 2. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В обоих проектах внедрение программно-методического комплекса позволило повысить уровень автоматизации процессов диспетчеризации и за счет этого значительно снизить объемы незавершенного производства. Также были реализованы эффективные алгоритмы оперативного планирования, позволяющие минимизировать переналадки оборудования с учетом сроков заказов и ограничений по таре и оснастке.

В целом можно констатировать, что внедрение методики многокритериального мониторинга на проектно-производственных этапах ЖЦИ изделий транспортного машиностроения может обеспечивать повышение эффективности процессов разработки и внедрения комплексных автоматизированных систем порядка 10%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кривошеев, И.А.* Внедрение компонентов CALS-технологии в авиадвигателестроении: проблемы и перспективы / И.А. Кривошеев. – Текст : электронный // Наука и образование : научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2005. – № 3. – URL: <http://engineering-science.ru/doc/50822.html> (дата обращения: 10.11.2020).
2. Как идет цифровая трансформация производственных компаний. Исследование компании Tech-Clarity. – Текст : электронный // CAD/CAM/CAE Observer : информационно-аналитический журнал. – 2019. – № 1 (125). – С. 40–43. – URL: <http://www.cadcamcae.lv/N125/40-43.pdf> (дата обращения: 23.11.2020).
3. Четвертая промышленная революция. Целевые ориентиры развития промышленных технологий и инноваций. – Текст : электронный // World Economic Forum : [сайт]. – 2020. – URL: <https://clck.ru/GAgzX> (дата обращения: 10.11.2020).
4. Комплексные решения для машиностроения. – Текст : электронный // Аскон : компания : [сайт]. – 2013. – URL: <http://machinery.ascon.ru/solutions/> (дата обращения: 12.12.2020).
5. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch. – Text : electronic // InfoQ : [website]. – 2020. – URL: <https://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015> (date of treatment: 01.11.2020).
6. *Cherepashkov, A.A.* Modeling and analysis of the effectiveness of dynamic models of complex automated systems of machine-building production / A.A. Cherepashkov, P.A. Samoylov. – Text : [electronic] // MATEC Web of Conferences : [website]. – 2018. – Vol. 224. – P. 1–6. – URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822402053> (date of treatment: 06.11.2020).
7. *Самойлов, П. А.* Проблематика разработки и внедрения комплексных решений автоматизации технической подготовки машиностроительного производства / П.А. Самойлов, А.А. Черепашков // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : материалы всероссийской научно-практической конференции. – Оренбург : ОГУ, 2017. – С. 118–121.

**EFFICIENCY ASSESSMENT METHODOLOGY COMPLEX SOLUTIONS  
FOR INDUSTRIAL AUTOMATION**

© 2021 A. A. Cherepashkov<sup>1</sup>, P. A. Samoylov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Samara State Technical University

<sup>2</sup> ASKON-Samara LLC

The article discusses the problems of introducing CAD systems integrated into complex automated production systems (PLM solutions). One of the reasons for the failures and low efficiency of projects for the implementation of complex automated systems is the lack of criteria for assessing their effectiveness, necessary for the organization of development management. A system of formalized indicators is proposed that allows for analysis and multicriteria optimization of the processes of creating integrated CAD systems. Four groups of indicators have been identified and defined: Functional indicators, presented in the form of tags, reflecting certain achievements in expanding the functionality of the system, increasing the completeness of system procedures, improving the quality of workflows and processed information; Financial and economic indicators, taking into account the customer's requirements for the costs and timing of the project; Socio-economic criteria demonstrating improvements in the conditions for the activities of the personnel of the automated system; Indicators of the complexity of the solution associated with the level of automation of both design and production stages. The results of a study of projects of complex automation of the leading enterprises of the aircraft and automotive industry of the Samara region are presented. The introduction of a software and methodological complex made it possible to increase the level of automation of dispatching processes and operational planning of production, interconnected with the design and technological design. Due to this, the volume of work in progress has been significantly reduced and equipment changeovers have been minimized. In general, it can be stated that the introduction of a multi-criteria monitoring methodology at the design and production stages of the life cycle of mechanical engineering products can increase the efficiency of the development and implementation of complex automated systems.

*Keywords:* Design automation, mechanical engineering, PLM solutions, criteria and performance indicators.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-13-17

---

*Andrey Cherepashkov, Doctor of Technics, Professor at the  
«Engineering Technology and Machine Tools» Department.  
E-mail: eg@samgtu.ru  
Pavel Samoylov, CEO of ASKON-Samara LLC.  
E-mail: info@ascon-samara.ru*