

21. Gregor, D. A methodology for structured ontology construction applied to intelligent transportation systems [Text] / D. Gregor, S. Toral, T. Ariza, F. Barrero, R. Gregor, J. Rodas, M. Arzamendia // Computer Standards & Interfaces. — № 47. — P. 108–119. doi:10.1016/j.csi.2015.10.002
22. Larue, G. S. Assessing driver acceptance of Intelligent Transportation Systems in the context of railway level crossings [Text] / G. S. Larue, A. Rakotonirainy, N. L. Haworth, M. Darvell // Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour. — 2015. — № 30. — P. 1–13. doi:10.1016/j.trf.2015.02.003
23. Satunin, S. A multi-agent approach to Intelligent Transportation Systems modeling with combinatorial auctions [Text] / S. Satunin, E. Babkin // Expert Systems with Applications. — 2014. — Vol. 41, № 15. — P. 6622–6633. doi:10.1016/j.eswa.2014.05.015
24. Demin, D. A. Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath [Text] / D. A. Demin // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. — 2012. — № 6. — P. 52–58.
25. Mendes, J. An architecture for adaptive fuzzy control in industrial environments [Text] / J. Mendes, R. Araújo, P. Sousa, F. Apóstolo, L. Alves // Computers in Industry. — 2011. — Vol. 62, № 3. — P. 364–373. doi:10.1016/j.compind.2010.11.001
26. Wai, R.-J. Observer-based adaptive fuzzy-neural-network control for hybrid maglev transportation system [Text] / R.-J. Wai, M.-W. Chen, J.-X. Yao // Neurocomputing. — 2016. — № 175. — P. 10–24. doi:10.1016/j.neucom.2015.10.006

#### ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ СИНТЕЗА НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ МНОГОРЕЖИМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Рассматривается проблема проектирования интеллектуальных систем управления (ИСУ) динамично-переменными объектами (ДО), функционирующих в условиях существенной априорной неопределенности. Представлен анализ существующих подходов к построению ИСУ ДО, методов, моделей и алгоритмов их построения на основе интеграции классических методов теории управления и методов искусственного интеллекта. В качестве примеров рассматриваются подвижной состав многорежимных предприятий (ТП).

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы, динамично-переменные объекты, транспортные предприятия, нейросетевые алгоритмы, нейронные сети.

*Зубенко Денис Юрійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна, e-mail: Denis04@ukr.net.*

*Шавкун Вячеслав Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна.*

*Скурихін Владислав Ігоревич, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна.*

*Донець Олександр Вадимович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна.*

*Лукашова Наталія Павлівна, асистент, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна.*

*Зубенко Денис Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина.*

*Шавкун Вячеслав Михайлович, кандидат технических наук, доцент, кафедра электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина.*

*Скурихин Владислав Игоревич, кандидат технических наук, доцент, кафедра электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина.*

*Донец Александр Вадимович, кандидат технических наук, доцент, кафедра электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина.*

*Лукашова Наталья Павловна, ассистент, кафедра электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина.*

*Zubenko Denys, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, e-mail: Denis04@ukr.net.*

*Shavkun Slava, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine.*

*Skyrihin Vlad, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine.*

*Donets Alexandr, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine.*

*Lukashova Nataliya, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine.*

УДК 658.56

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.71985

**Крицкий Д. Н.,  
Погудина О. К.,  
Дружинин Е. А.,  
Ченарани А.**

## МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ПРОЕКТА РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Модифицирован метод мониторинга содержания проектов разработки сложной технической системы, который может быть использован для промежуточной оценки качества и финансового обоснования результата на всех этапах жизненного цикла. Усовершенствован метод освоенного объема, в частности введены дополнительные показатели количества гипотез и подтвержденных решений для анализа данных, предлагаемых конструкторами и технологами на разных стадиях разработки сложных технических систем.*

**Ключевые слова:** метод освоенного объема, сложная техническая система, качество продукта проекта.

### 1. Введение

Сегодня, сложные технические системы (СТС) представляют собой особый вид продуктов, имеющие кри-

тическое значение для экономики и промышленности. Некоторые из наиболее важных характеристик СТС имеют существенное экономическое и качественное значение. Также СТС состоят из множества взаимосвязанных

частей и узлов, которые выполняют многообразные и важные функции.

Проекты создания СТС являются инновационными, характеризуются высокой степенью технологической новизны. При управлении такими проектами требуется обеспечение высокого уровня координации и сотрудничества всех участников разработки СТС, их широкого спектра знаний и навыков. Примерами данных систем являются пилотируемые летательные аппараты, беспилотные летательные аппараты (БЛА), авиационные двигатели, высокоскоростные поезда и т. д.

При проектировании СТС, требуемый результат может быть непрерывно переопределен в качестве новых найденных решений и подходов, особенно когда нет универсального критерия для определения границы, где следует прекратить работы, или определить является решение лучшим. Понятия правильности и неправильности результата не имеют абсолютных значений и альтернативы всегда возможны.

Проекты разработки СТС представляют собой многоуровневый комплекс работ с разветвляющейся структурой и итерационным ходом выполнения [1, 2]. Чаще всего, на ранних этапах разработки, результат формируется в общем виде и предусматривает несколько вариантов исполнения. Это связано с большим количеством элементов в структуре изделия, сложностью их компоновки. Такую разработку на сегодняшний день ведут только в условиях компьютерной поддержки всех этапов создания и полной интеграции данных о промежуточных результатах. Беспилотная авиационная техника (БАТ), как пример СТС, является особым роботизированным видом авиационной техники (АТ). Для создания БАТ необходимо сформировать содержание проекта, которое показывает процессы, связанные с обеспечением того, чтобы проект содержал все требуемые работы для успешного получения продукта.

Перечень и структуру работ создания СТС формируют из нормативной базы, если таковая имеется. В Украине и других странах нормативной базы, регулирующей порядок создания и введения в воздушное пространство БАТ, нет [1, 2]. Нормативная база, применяемая для АТ, не всегда может быть адаптирована для нужд проекта, прежде всего потому, что содержит множество работ, рассчитанных на многократное испытание БАТ. Например, в случае небольших БАТ дешевле провести испытания на нескольких образцах, чем дополнительно проектировать и реализовывать модели частей БАТ.

В таких условиях возникают проблемы с формированием и мониторингом содержания проекта. Количество и структура работ, формируемые на начальных этапах разработки, могут значительно отличаться от структуры и объема работ, выполненных при создании СТС. Объем работ зависит от конструкторских и технологических решений, принятых в ходе разработки. Структура работ до проекта разработки СТС представляет чаще всего альтернативный расходящийся граф [3]. Поэтому оценить объем работ, а затем его проконтролировать, представляет собой сложную задачу.

Для мониторинга объема выполненных работ проекта разработки СТС предлагается использовать метод освоенного объема, который является классическим и часто применяется в управлении проектами, но для мониторинга стоимостных показателей [4].

При управлении содержанием разработки СТС следует учитывать особенность проекта, связанную с рас-

четом доходности: затраты на создание и производство окупаются лишь на этапе эксплуатации. Предлагается разработать перечень параметров, определяющий качество содержания разработки СТС.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Одним из известных методов в области управления проектами является метод освоенного объема (EVM). Данный метод был введен в 1960-е годы, Департаментом обороны Соединенных Штатов и широко используется в последние три десятилетия во многих крупных организациях по всему миру. Согласно традиционной концепции EVM, стоимость проекта является наиболее важной характеристикой проекта, которую необходимо контролировать. Тем не менее, на сегодняшний день этот метод включает в себя интеграцию плана, времени, стоимости проекта и используется многими исследователями для контроля проекта [5–9].

В настоящее время этот метод широко используется в различных исследованиях и типах проектов: в строительной отрасли [10, 11], аэрокосмических организациях, в области электроники [12], при создании программного обеспечения проектов [13] и т. д.

В работе [9] авторы предложили интеграцию EVM с анализом рисков проекта в качестве методологии управления проектом в условиях неопределенности.

Авторы работы [14] усложнили стохастический подход, который использует нечеткие контрольные карты для мониторинга нескольких индексов EVM. Во всех работах в качестве контролируемых объемов используются денежные единицы.

Проанализировав признанные модели и методы мониторинга содержания проектов [2, 3, 15], следует отметить, что они не позволяют эффективно управлять содержанием проектов разработки такого класса СТС, так как не учитывают их особенности. В конструкторских работах важную роль играют гипотезы, выдвигаемые для решения проектировочных задач. При этом следует отметить отсутствие комплексного показателя, позволяющего оценивать выполнение проекта. Проведенные исследования основываются на использовании:

- методов системного анализа для изучения особенностей сложных проектов и процессов оценки их показателей [1];
- методов синтеза рациональной структуры СТС для формирования иерархии работ проектов [15];
- метод дерева решений для классификации проектных альтернатив [3].

## 3. Объект, цель и задачи исследования

*Объект исследования* — процесс оценки и контроля содержания проекта создания СТС.

*Целью работы* является сокращение сроков проекта создания СТС путем своевременного контроля основных показателей его содержания и устранения расхождений между планируемым и фактическим объемом конструкторско-технологических решений.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- усовершенствовать метод освоенного объема путем введения дополнительных показателей количества

гипотез и подтвержденных конструкторско-технологических решений;

- разработать систему неравенств контроля качества содержания проекта, которая учитывает особенности создания СТС и может быть использована как в начале, так и по окончании проекта разработки;
- показать практическую значимость на примере проекта разработки БАТ.

#### 4. Материалы и методы исследований

При проведении исследований был использован метод освоенного объема для контроля количества выдвигаемых гипотез и их подтверждения в ходе создания образца СТС. Для управления содержанием проекта создания СТС на примере разработки БАТ были использованы: массовая модель для оценки промежуточных результатов качества результата, модель оценки затрат и ресурсов.

#### 5. Основные составляющие метода мониторинга содержания проекта

**5.1. Метод освоенного объема решений проекта.** Структура проекта разработки СТС тесно связана со структурой разрабатываемой модели будущего вида техники. Следовательно, процессы управления содержанием взаимосвязаны с работами по оценке качества проекта и его продукта. Оценка качества альтернативных продуктов проекта необходима для выбора реализуемых моделей СТС из предложенных. На каждом этапе разработки СТС формируется множество решений: от инновационных до классических. Выбор классических решений обеспечивает уменьшение количества экспериментальных работ в проекте, необходимых для подтверждения качества результатов. При этом инновационные решения, касающиеся характеристик СТС либо новых составляющих, всегда присутствуют в процессе разработки новой СТС. Планируют и проверяют на реализуемость такие решения несколько раз, после проведения основных этапов разработки.

Для мониторинга проекта предлагается использовать метод освоенного объема. Традиционно метод освоенного объема использовался для контроля затрат по проекту. В данной работе для мониторинга содержания проекта в методе освоенного объема предлагается использовать параметры (рис. 1): количество плановых решений ( $R_0$ ), количество подтвержденных решений ( $R_e$ ) и количество фактически принятых решений ( $R_f$ ).

Плановые суммарные решения  $R_0$  — количество гипотез, которое планируется реализовать в ходе проекта; фактически принятые решения  $R_f$  — гипотезы, фактически утвержденные в процессе выполнения проекта на уровне руководства и влияющие на результат достижения цели проекта; подтвержденные решения  $R_e$  — экспериментально доказанные гипотезы.

Каждая операция и проект в целом описываются следующими переменными:

- $R_0$  — планируемые суммарные решения на проект;
- $T_0$  — планируемый срок завершения проекта;
- $X_0$  — суммарный объем работ по проекту;

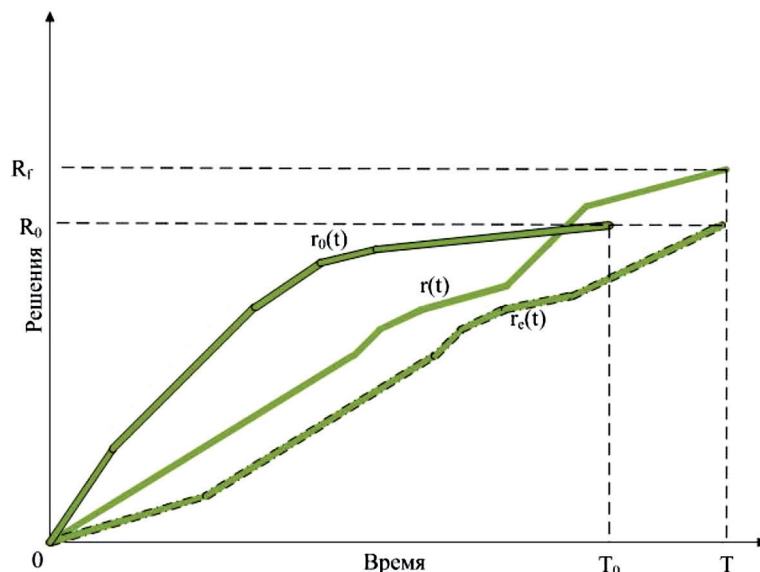


Рис. 1. Показатели динамики принятия решений

- $r_0(t)$  — планируемая динамика принятия решений;
- $r(t)$  — фактическая динамика принятия решений;
- $r_e(t)$  — динамика экспериментального подтверждения решений;

- $x_0(t)$  — планируемая динамика объемов работ;
- $x(t)$  — фактическая динамика объема работ;
- $x_e(t)$  — освоенный объем работ;
- $T$  — фактический срок окончания проекта;
- $R_f$  — фактически принятые решения на проект.

Производные показатели освоенного объема:

- $\Delta r_0(t) = r_0(t) - r(t)$  — разность между плановыми и фактически утвержденными решениями;
- $\Delta r(t) = r_0(t) - r_e(t)$  — разность между плановыми и экспериментально доказанными решениями;
- $\Delta r_e(t) = r(t) - r_e(t)$ ,  $\Delta r_e(t) \geq 0$  — разность между фактически утвержденными и экспериментально доказанными решениями;
- $\Delta x_0(t) = x_0(t) - x(t)$  — разность между плановым и фактическим объемом работ;
- $\Delta x(t) = x_0(t) - x_e(t)$  — разность между плановым и освоенным объемом работ;
- $\Delta x_e(t) = x(t) - x_e(t)$ ,  $\Delta x_e(t) \geq 0$  — разность между фактически утвержденным и освоенным объемом работ;
- $\alpha_{r(t)} = r_e(t)/r_0(t)$  — показатель объема подтвержденных решений;
- $\beta_{r(t)} = r_e(t)/r(t)$  — показатель динамики подтверждения решений;
- $\alpha_{x(t)} = x_e(t)/x_0(t)$  — показатель освоенного объема работ;
- $\beta_{x(t)} = x_e(t)/x(t)$  — показатель динамики объема;
- $\tau_{0r}(t) = t - r_0^{-1}(r_e(t))$  — текущая задержка (от плана), определяется из условия:  $r_0(t - \tau_{0r}(t)) = r_e(t)$ ;
- $\tau_r(t) = t - r^{-1}(r_e(t))$  — текущая задержка по решениям, определяется из условия:  $r(t - \tau_r(t)) = r_e(t)$ ;
- $\tau_{0x}(t) = t - x_0^{-1}(x_e(t))$  — текущая задержка (от плана), определяется из условия:  $x_0(t - \tau_{0x}(t)) = x_e(t)$ ;
- $\tau_x(t) = t - x^{-1}(x_e(t))$  — текущая задержка по решениям, определяется из условия:  $x(t - \tau_x(t)) = x_e(t)$ ;
- $e_0 = X_0/R_0$  — плановая эффективность проекта в целом;
- $e_0(t) = x_0(t)/r_0(t)$  — плановая эффективность использования решений на момент времени  $t$ ;

- $e = X/R_f$  – фактическая эффективность проекта в целом;
- $e(t) = x_e(t)/r(t)$  – фактическая эффективность использования решений на момент времени  $t$ .

Анализ выше приведенных показателей поможет менеджеру проекта следить за тем, успешно ли реализуется проект. Оценивание происходит за счет анализа отношения подтвержденных решений к общему числу решений в проекте. Таким образом, проект считается завершенным (цель проекта достигнута), как только объем экспериментально подтвержденных решений совпадет с суммарным объемом решений. Продолжительность проекта является при этом основным показателем, выступая в роли составляющих критерия эффективности и ограничений.

При таком представлении параметров, описывающих проект, целесообразно представить показатель проектного риска в фиксированные моменты времени  $t$  в виде следующей формулы:

$$R = 1 - \frac{R_e}{R_f} \tag{1}$$

Такое представление проектных рисков позволяет отслеживать динамику изменения качества продукта (чем больше подтверждено принятых решений, тем получаемое изделие более качественно).

**5.2. Система неравенств контроля показателей качества содержания проекта.** Успешное выполнение проекта создания БАТ зависит от выполнения ряда условий, которые являются реальными ограничениями и образуют систему неравенств, названную системой неравенств контроля показателей качества содержания проекта:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \bar{m}_i = 1; \\ \sum_{i=1}^3 Z_i = D_3 | t = t_{ok}; \\ T = k_{\text{рес}} \times t_{ok}, k_{\text{рес}} > 1; \\ F_j^{\text{пред}} \geq F_{ji}, \end{cases} \tag{2}$$

где  $F_j^{\text{пред}}$  – фонды предприятия (оборудование, персонал и т. д.);  $F_{ji}$  – фонды, необходимые для реализации проекта (оборудование, персонал и т. д.).

Рассмотрим эти условия, обеспечивающие успех выполнения проекта.

Первым условием является получение продукта проекта нужного уровня качества. Для проектов создания СТС на примере БЛА это условие отражается удовлетворением требований допуска в воздушное пространство для выполнения авиационных работ.

Для удовлетворения требованиям Воздушного кодекса Украины и Авиационным правилам необходимо, чтобы полет контролировался и управлялся оператором со специальной станции управления, которая размещена вне аппарата, чтобы БЛА обладал свойством летной годности, и чтобы его летная годность поддерживалась в течение срока службы. Удовлетворение этим требованиям обеспечивается соответствующей структурой и наличием в их составе определенных компонентов. Согласно идеям В. Ф. Болховитинова, уравнение баланса

масс может быть использовано для контроля качества разработки, т. к. отражает условия допуска БЛА в воздушное пространство.

На разных этапах и стадиях проекта члены этого уравнения определяются разными способами: по статистике, по весовым формулам, расчетам по чертежам, прямым взвешиванием. При этом некоторые члены известны с самого начала и в ходе разработки не изменяются, это, например, масса полезной нагрузки, масса радиолокационного ответчика и другого оборудования, которое должно быть установлено на БЛА. Расчеты по этому уравнению не требуют специальных знаний, а входные данные для него (массы компонентов), определяются специалистами – конструкторами.

Вторым условием осуществимости проекта является условие окупаемости финансовых средств, вложенных в разработку и производство за счет доходов, полученных при эксплуатации. Это условие можно записать так:

$$D_3 \geq Z_p + Z_{\text{п}} + Z_3, \tag{3}$$

где  $D_3$  – доходы от эксплуатации;  $Z_p$  – затраты на разработку;  $Z_{\text{п}}$  – затраты на производство;  $Z_3$  – затраты на эксплуатацию.

Рассмотрим по порядку все члены этого уравнения. Доходы от эксплуатации  $D_3$  зависят от времени работы  $t_{ok}$ , в течение которого выполнялась полезная работа, стоимости оплаты одного часа данной работы ( $\alpha$ ) и от количества экземпляров продукта ( $n$ ), которые участвуют в выполнении полезной работы. Поэтому доходы от эксплуатации в предположении, что все  $n$  экземпляров участвуют в течение времени в выполнении полезной работы можно записать так:

$$D_3 = n \cdot \alpha \cdot t_{ok}. \tag{4}$$

С точки зрения определения времени окупаемости  $t_{ok}$ , это выражение вполне справедливо при условии, что пока все  $n$  экземпляров выполняют полезную работу, стоимость одного часа полезной работы не изменяется.

Расходы на разработку  $Z_p$  являются постоянными и не зависят от числа произведенных экземпляров и времени работы  $t$ , т. е.  $Z_p = \text{const}$ .

Расходы на производство  $Z_{\text{п}}$  состоят из постоянной части  $Z_{\text{пн}}$  (расходы на подготовку производства) и части, которая зависит от стоимости производства единицы продукции  $Z_1$  и количества  $n$  произведенных экземпляров. Тогда расходы на производство будут:

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{пн}} + nZ_1. \tag{5}$$

Стоимость расходов на эксплуатацию  $Z_3$  так же можно представить состоящей из двух частей, постоянной и переменной:

$$Z_3 = Z_{\text{пз}} + P_3, \tag{6}$$

где  $Z_{\text{пз}}$  – постоянная часть, это расходы на подготовку и организацию эксплуатации;  $P_3$  – эксплуатационные расходы парка, состоящего из  $n$  экземпляров.

$$P_3 = n \cdot b \cdot t, \quad (7)$$

где  $b$  — эксплуатационные расходы одного экземпляра, приходящиеся на один час выполнения оплачиваемой полезной работы.

Таким образом, эксплуатационные расходы можно записать так:

$$Z_3 = Z_{пз} + n \cdot b \cdot t. \quad (8)$$

Тогда уравнение равенства доходов от эксплуатации и расходов за время окупаемости  $t_{ок}$  будет выглядеть так:

$$Z_p + Z_{пп} + nZ_1 + Z_{пз} + n \cdot b \cdot t = n \cdot \alpha \cdot t_{ок}. \quad (9)$$

Отсюда время окупаемости  $t_{ок}$  будет:

$$t_{ок} = \frac{1}{n(\alpha - b)} (Z_p + Z_{пп} + Z_{пз}) + \frac{1}{\alpha - b}. \quad (10)$$

Из уравнения видно, что время окупаемости  $t_{ок}$  состоит из двух частей — зависимой и независимой от числа  $n$  произведенных экземпляров.

При графическом отображении время окупаемости имеет гиперболическую зависимость от числа  $n$  произведенных экземпляров с асимптотой  $\frac{Z_1}{\alpha - b}$ .

Следует учитывать, что от качества разработки зависят абсолютно все последующие расходы, от качества подготовки производства зависит стоимость производства экземпляра, а от качества подготовки эксплуатации зависят эксплуатационные расходы.

Третьим условием осуществимости проекта является ресурсная составляющая. Величина  $t_{ок}$  с точки зрения характеристик имеет огромное значение, т. к. она определяет потребный ресурс техники. Для того, чтобы разработанная и произведенная продукция смогла окупить затраты и еще принести прибыль, ее технический ресурс ( $T$ ) должен быть больше времени окупаемости. При этом в эксплуатации необходимы технические неоплачиваемые рейсы, а так же возможны неоплачиваемые рейсы из-за отказов, поэтому технический ресурс по отношению ко времени окупаемости должен определяться с коэффициентом, значительно большим единицы:

$$T = k_{рес} \cdot t_{ок}, \quad (11)$$

где  $k_{рес}$  — коэффициент определения технического ресурса,  $k_{рес} \gg 1$ .

Технический ресурс изделия авиационной техники является ее важнейшей технической характеристикой, определяющей время безотказности работы, исправности и безопасности.

Технический ресурс изделия авиационной техники — это наработка изделия в часах или в количестве применения до наступления предельного состояния, при котором дальнейшая эксплуатация невозможна по условиям безопасности.

Ресурс устанавливается на основании расчетов и испытаний по допустимой вероятности наступления отказа.

Ресурс устанавливается типу СТС, а у конкретного экземпляра он списывается в эксплуатации в пределах установленного срока службы.

Устанавливают ресурс: назначенный, гарантийный и межремонтный.

Назначенный ресурс ( $t_{наз}$ ) — суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация изделия прекращается независимо от его технического состояния.

Гарантийный ресурс ( $t_{гар}$ ) — это наработка, в течение которой изготовитель (производитель) гарантирует и обеспечивает выполнение определенных требований при условии соблюдения правил эксплуатации.

Межремонтный ресурс ( $t_{межр}$ ) — это наработка между двумя последовательными ремонтами, в течение которой ремонтное предприятие гарантирует и обеспечивает выполнение определенных требований при условии соблюдения правил эксплуатации.

Неравенство  $T > t_{ок}$  или равенство  $T = k_{рес} \cdot t_{ок}$  является важнейшим условием осуществимости проекта создания СТС, на примере БЛА. В течение назначенного ресурса должна наступить не только окупаемость, но и должна быть получена прибыль, оправдывающая вложенные в создание, производство и эксплуатацию средства. При этом ремонты, с помощью которых возможно установить и достичь больших величин назначенного ресурса, удорожают стоимость эксплуатации. Неисправности, возникающие в течение гарантийного ресурса, устраняются за счет производителя, что удорожает производство, кроме того удорожается эксплуатация за счет потерь от невыполненных работ.

После достижения срока окупаемости эксплуатация может быть продолжена для получения прибыли в течение нескольких межремонтных ресурсов до достижения назначенного ресурса, когда эксплуатация должна быть прекращена.

Четвертое условие осуществимости проекта заключается в достаточности необходимого оборудования, персонала нужной квалификации и т. д. Все проекты создания СТС ведутся в условиях жестких ограничений по срокам и стоимости с высокими рыночными требованиями к качеству продукта проекта. Показатели стоимости и срока выполнения проекта рассматриваются только при достижении надлежащего качества продукта проекта.

Работы проекта создания СТС характеризуются показателями высокой трудоемкости, длительности и стоимости. Выполняются они параллельно-последовательно. Срок проекта зависит от логической структуры работ и возможности вести параллельно работы. Стоимость работ является величиной нестабильной, зависящей от уровней зарплат и цен на энергоресурсы. С точки зрения своевременного появления на рынке продукта проекта, от которого может зависеть выполнение других работ и проектов, важным является срок выполнения проекта.

Поэтому при реализации проекта необходимо расставлять приоритеты следующим образом: качество продукта проекта, срок выполнения проекта, стоимость. Т. е. самое важное требование предъявляется к качеству продукта проекта, какие-то вариации возможны со сроком проекта и еще большие вариации допустимы со стоимостью.

Таким образом, необходимо иметь соответствующие производственные мощности, научно-технический задел и соответствующие материалы, а так же покупные комплектующие изделия.

Наличие соответствующих производственных мощностей означает, что есть:

- производственные площади нужных размеров, обеспеченные энергией, теплом, водой, канализацией, и эти площади удовлетворяют требованиям разработки продукта проекта;
- оборудование, технологическая оснастка, научно-лабораторная база в соответствии с техпроцессами создания продукта проекта;
- персонал, имеющий специальности, квалификацию и опыт работы в соответствии с рабочими процессами создания продукта проекта.

Наличие соответствующего научно-технического задания означает, что есть:

- технологии выполнения рабочих процессов, создания продукта проекта;
- отработанные конструкторские и технологические решения;
- есть задокументированный опыт выполнения подобных проектов.

Наличие соответствующих материалов и покупных комплектующих изделий, означает, что имеются стандартизованные авиационные материалы и авиационные комплектующие изделия, или есть поставщики материалов и комплектующих изделий, с которыми подписаны протоколы согласования применения этих материалов и комплектующих изделий в разработке продукта.

Наличие соответствующих производственных мощностей, научно-технического задания, материалов и комплектующих изделий составляют четвертое условие успешного осуществления проекта создания СТС. Если это условие не выполняется, то необходим еще проект по созданию этих условий. В случае не выполнения

этого условия невозможно осуществить выполнение проекта создания СТС (например, нет места, где проект выполнять или нет необходимых комплектующих изделий и материалов).

## 6. Практическая значимость метода мониторинга содержания на примере проекта разработки БАТ

Модифицированный метод мониторинга содержания и предложенный метод освоенного объема были внедрены в Научно-исследовательский институт проблем физического моделирования Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» (НИИПФМ, Украина). В результате их внедрения достигается сокращение сроков до 21 %, а в случаях использования разработанной модели и метода на этапе планирования достигается сокращения сроков проекта до 7 %.

Данные по плановым решениям, срокам этапов разработки и запланированному объему экспериментально подтвержденных гипотез в процессе создания БАТ приведены в табл. 1. Базовый срок равен тридцати месяцам.

На рис. 2 продемонстрировано отличие плановых (рис. 2, а) от фактических показателей (рис. 2, б). Выделены области, в которых происходит подтверждение принятых решений (первая область — подтверждение принятых решений испытаниями на макете, вторая область — подтверждение принятых решений испытаниями на опытном образце).

Фактические данные, полученные в ходе проекта создания беспилотной авиационной техники гражданского применения в НИИПФМ находятся в табл. 2.

Таблица 1

Плановые данные при выполнении проекта

Наименование этапа	Длительность и срок				Стоимость, %		Принятые решения, %		Подтвержденные решения, %	
	Длительность, месяц		Длительность, %							
	Этап	Всего	Этап	Всего	Этап, %	Всего, %	Этап, %	Всего, %	Этап	Всего
Начало проекта	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
НИР маркетинг	1	1	3,33	3,33	0,5	0,5	10	10	0	0
НИР (поиск путей и обоснование возможности создания)	2	3	6,67	10	2	2,5	25	35	0	0
Аванпроект (ТЭО)	2	5	6,67	16,67	2,5	5	20	55	0	0
Подача заявки в ГАА, разработка проектов СБ и ТС	1	6	3,33	20	0,5	5,5	5	60	0	0
ЭП	2	8	6,67	26,67	3,5	9	18	78	6	6
Макет	0,25	8,25	0,83	27,50	0,5	9,5	2	80	1	7
ТП	2	10,25	6,67	34,17	7,5	17	15	95	5	12
РКД	2	12,25	6,67	40,83	7,5	24,5	5	100	16	28
Подготовка к изготовлению ОО	1	13,25	3,33	44,17	7,5	32	0	100	2	30
Изготовление ОО	6	19,25	20,00	64,17	33	65	5	105	24	54
Подготовка к испытаниям	1	20,25	3,33	67,50	7,5	72,5	0	105	6	60
СЗИ (летно-доводочные испытания)	6	26,25	20,00	87,50	18	90,5	15	120	40	100
Корректировка КД	0,25	26,5	0,83	88,33	1,5	92	0	120	0	100
СКИ	2	28,5	6,67	95	7	99	0	120	0	100
Рассмотрение ДД, утверждение СБ, ТЗ, РКД	1	29,5	3,33	98,33	0,5	99,5	0	120	0	100
Выдача сертификата типа	0,5	30	1,67	100	0,5	100	0	120	0	100

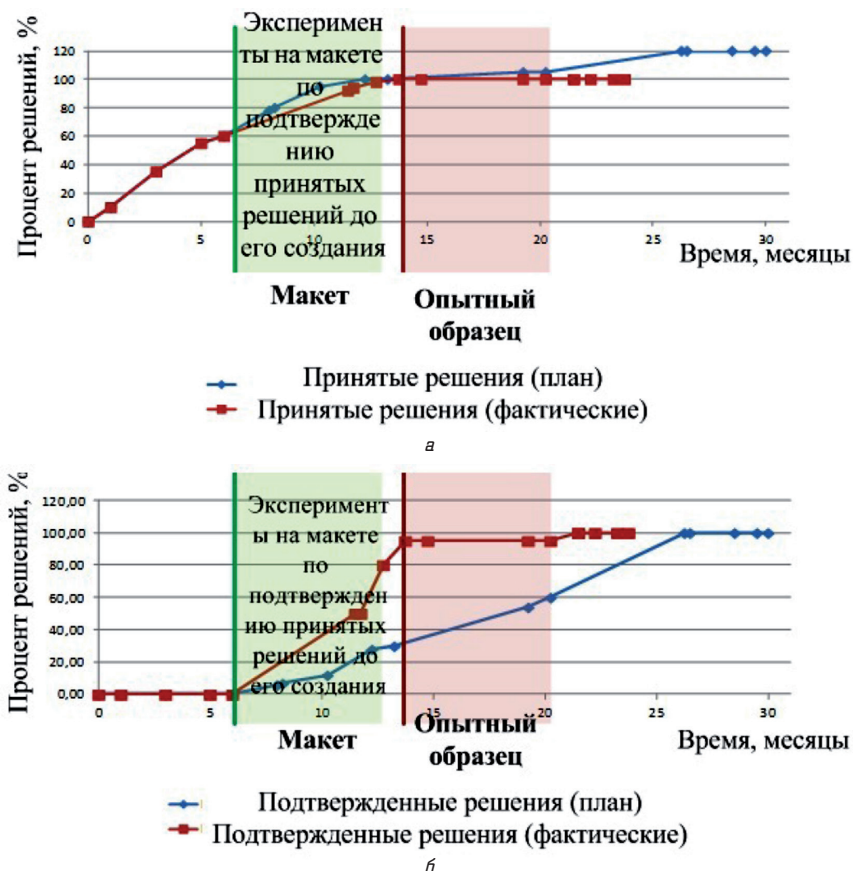


Рис. 2. Отношение принятых решений к срокам выполнения проекта: а — график зависимости для принятых решений; б — график зависимости для подтвержденных решений

Таблица 2

Фактические данные при выполнении проекта

Наименование этапа	Длительность и срок				Стоимость %		Принятые решения %		Подтвержденные решения, %	
	Длительность, месяцы		Длительность, %							
	Этап	Всего	Этап	Длительность проекта	Этап	Всего	Этап	Всего	Этап	Всего
Начало проекта	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
НИР маркетинг	1	1	3,33	3,33	0,5	0,5	10	10	0	0
НИР (поиск путей и обоснование возможности создания)	2	3	6,67	10	2	2,5	25	35	0	0
Аванпроект (ТЭО)	2	5	6,67	16,67	2,5	5	20	55	0	0
Подача заявки в ГАА, создание проекта СБ и ТС	1	6	3,33	20	0,5	5,5	5	60	0	0
ЭП	5,5	11,5	18,33	38,33	24	39,5	32	92	50	50
Макет	0,25	11,75	0,83	39,17	0,5	40	2	94	0	50
ТП	1	12,75	3,33	42,5	3,5	43,5	4	98	30	80
РКД	1	13,75	3,33	45,83	3,5	57	2	100	15	95
Подготовка к изготовлению ОО	1	14,75	3,33	49,17	7,5	64,5	0	100	0	95
Изготовление ОО	4,5	19,25	15	64,17	20	84,5	0	100	0	95
Подготовка к испытаниям	1	20,25	3,33	67,5	7,5	92	0	100	0	95
СЗИ (летно-доводочные испытания)	1,25	21,5	4,17	71,67	4	96	0	100	5	100
Корректировка КД	0	21,5	0	71,67	0	96	0	100	0	100
СКИ	0,75	22,25	2,5	74,17	3	99	0	100	0	100
Рассмотрение ДД, утверждение СБ, ТЗ, РКД	1	23,25	3,33	77,5	0,5	99,5	0	100	0	100
Выдача сертификата типа	0,5	23,75	1,67	79,17	0,5	100	0	100	0	100

Как видно из табл. 1 и табл. 2 количество фактически принятых и подтвержденных экспериментально гипотез на начальных этапах проекта разработки не отличается от запланированного. Этапы: научно-исследовательских работ (НИР) и маркетинга, аванпроекта или технико-экономического обоснования (ТЭО), подачи заявки в государственную авиационную администрацию (ГАА), создание проекта сертификационного базиса (СБ) и технического согласования (ТС) — не содержат подтвержденных экспериментально гипотез, но формируют 60 % принятых решений по проекту. Этапы эскизного проекта (ЭП) и макета при планировании менеджером получили только 7 % возможного подтверждения решений (табл. 1). А при реализации проекта (табл. 2) оказалось, что уже 50 % решений были доказаны экспериментами. Это связано с тем, что проекты разработки зачастую требуют проведения работ по перепроектированию. Следовательно, менеджеры перестраховываются. Такая же тенденция наблюдалась и на следующих этапах:

- технического проектирования (ТП) — запланировано 12 % подтвержденных решений, а реализовано — 80 %;
- подготовки рабоче-конструкторской документации (РКД) — запланировано 28 %, реализовано — 95 %;
- подготовки к изготовлению и изготовлению опытного образца (ОО) — запланировано — 54 %, реализовано — 95 %.

Следующие этапы традиционно завершают проект разработки БАТ, следовательно — не содержат запланированных решений:

- этап сертификационно-заводских испытаний (СЗИ);
- корректировка конструкторской документации (КД);
- этап сертификационно-контрольных испытаний (СКИ);
- рассмотрение доказательной документации (ДД), утверждение: СБ, технического задания (ТЗ), РКД;
- выдача сертификата типа.

Данное исследование является продолжением исследований проведенных в рамках научно-исследовательских госбюджетных тем, проводимых на базе НИИПФМ и кафедры информационных технологий проектирования Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт».

В дальнейших исследованиях будет уделено внимание определению, классификации и устранению последствий проявления рисков в проектах создания СТС.

## 7. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Получил дальнейшее развитие метод освоенного объема. В работе рассмотрена формализация и графическая интерпретация метода. В отличие от классического метода было предложено рассматривать освоенный объем решений проекта. При этом рассматривалась динамика принятия решений по трем составляющим: плановые, подтвержденные, фактически принятые и экспериментально проверенные решения.

2. Предложена система неравенств контроля показателей качества содержания проекта разработки СТС.

Так как в качестве образца СТС был рассмотрен БЛА, то первым уравнением в неравенстве было рассмотрено уравнение баланса масс подсистем БЛА. Это уравнение характеризует качество БЛА, для других СТС может быть выбрано другое уравнение для подтверждения качества разработки. Второе уравнение подтверждает окупаемость проекта создания СТС. Третье уравнение сравнивает технический ресурс СТС со временем окупаемости. Четвертое уравнение системы неравенств рассматривает фонды предприятия, которые должны превышать фонды, необходимые для реализации проекта.

3. Практическая значимость метода мониторинга содержания проекта создания СТС была подтверждена на примере БАТ. Благодаря своевременному планированию и контролю количества решений принимаемых исполнителями проекта (конструкторами и технологами) было достигнуто сокращение сроков до 21 %.

Таким образом, модифицированный метод управления содержанием проекта создания СТС использует метод освоенного объема, который позволяет анализировать текущие проектные решения на всех стадиях и этапах выполнения проекта. Кроме того данный метод использует систему неравенств для подтверждения качества содержания проекта создания СТС.

## Благодарности

Данное исследование было проведено на базе Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт». Авторы выражают благодарность сотруднику Научно-исследовательского института проблем физического моделирования Яшину С. А. за его помощь при проведении экспериментальных подтверждений изложенного в статье теоретического материала.

## Литература

1. Каримов, А. Х. Особенности проектирования беспилотных авиационных систем нового поколения [Электронный ресурс] / А. Х. Каримов // Труды МАИ. — 2011. — Вып. 47. — Режим доступа: \www/URL: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=26769>
2. Крицкий, Д. Н. Системный подход к проектам создания беспилотной авиационной техники [Текст] / Д. Н. Крицкий, Е. А. Дружинин, Е. С. Яшина // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2013. — Вып. 3(12). — С. 71–77.
3. Аюпов, А. И. Тестирование и требования к качеству. Современные подходы к организации авиационного строительства [Текст]: материалы IV Междунар. конф., Москва, 4–6 октября 2010 г. / А. И. Аюпов, С. И. Пляскова // Управление развитием крупномасштабных систем. — Москва, 2010. — С. 179–180.
4. Крицкий, Д. Н. Метод расчета обобщенного показателя привлекательности проектов создания беспилотной авиационной техники гражданского применения [Текст] / Д. Н. Крицкий // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2014. — Вып. 3(16). — С. 21–25.
5. Abba, W. Integrating technical performance measurement with earned value management [Text] / W. Abba, F. A. Niel // The Measurable News. — 2010. — № 4. — P. 6–8.
6. Blanco, V. D. Earned value management: a predictive analysis tool [Text] / V. D. Blanco // Navy Supply Corps Newsletter. — 2013. — Vol. 66, № 2. — P. 24–27.
7. Cioffi, D. F. Designing project management: a scientific notation and an improved formalism for earned value calculations [Text] / D. F. Cioffi // International Journal of Project Management. — 2006. — Vol. 24, № 2. — P. 136–144. doi:10.1016/j.ijproman.2005.07.003



8. Pajares, J. An extension of the EVM analysis for project monitoring: the cost control index and the schedule control index [Text] / J. Pajares, A. López-Paredes // International Journal of Project Management. — 2011. — Vol. 29, № 5. — P. 615–621. doi:10.1016/j.ijproman.2010.04.005
9. Acebes, F. A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics [Text] / F. Acebes // International Journal of Project Management. — 2014. — Vol. 32, № 3. — P. 423–434. doi:10.1016/j.ijproman.2013.08.003
10. Chen, S. An Analytic Review of Earned Value Management Studies in the Construction Industry [Text] / S. Chen, X. Zhang // Construction Research Congress 2012. — American Society of Civil Engineers (ASCE), 2012. — P. 236–246. doi:10.1061/9780784412329.025
11. Naderpour, A. Improving construction management of an educational center by applying earned value technique [Text] / A. Naderpour, M. Mofid // Procedia Engineering. — 2011. — Vol. 14. — P. 1945–1952. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.244
12. Hanna, A. S. Using the earned value management system to improve electrical project control [Text] / A. S. Hanna // Journal of Construction Engineering and Management. — 2012. — Vol. 138, № 3. — P. 449–457. doi:10.1061/(asce)co.1943-7862.0000426
13. Warburton, R. D. H. A time-dependent earned value model for software projects [Text] / R. D. H. Warburton // International Journal of Project Management. — 2011. — Vol. 29, № 8. — P. 1082–1090. doi:10.1016/j.ijproman.2011.02.008
14. Naeni, L. M. A fuzzy approach for the earned value management [Text] / L. M. Naeni, S. Shadrokh, A. Salehipour // International Journal of Project Management. — 2011. — Vol. 29, № 6. — P. 764–772. doi:10.1016/j.ijproman.2010.07.012
15. Кононенко, И. В. Модель и метод многокритериальной оптимизации содержания проекта при нечетких исходных данных [Текст] / И. В. Кононенко, Н. Е. Колесник // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 1/10(61). — С. 9–13. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/6949/5961>

#### **МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ МОНІТОРИНГУ ЗМІСТУ ПРОЕКТУ СТВОРЕННЯ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ**

Модифіковано метод моніторингу змісту проектів створення складної технічної системи, який може бути використано для проміжної оцінки якості і фінансового обґрунтування результату на всіх етапах життєвого циклу. Удосконалено метод освоєного обсягу, зокрема уведено додаткові показники кількості гіпотез та підтверджених рішень для аналізу даних, які пропонують конструктори та технологи на різних стадіях створення складних технічних систем.

**Ключові слова:** метод освоєного обсягу, складна технічна система, якість продукту проекту.

**Крицький Дмитрій Николаевич**, старший преподаватель, кафедра информационных технологий проектирования, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина,  
**e-mail:** [krickiydn19852604@gmail.com](mailto:krickiydn19852604@gmail.com).

**Погудина Ольга Константиновна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра информационных технологий проектирования, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

**Дружинин Евгений Анатольевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий проектирования, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

**Ченарани Али**, аспирант, кафедра информационных технологий проектирования, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

**Крицький Дмитро Миколайович**, старший викладач, кафедра інформаційних технологій проектування, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна.

**Погудина Ольга Костянтинівна**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інформаційних технологій проектування, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна.

**Дружинин Євген Анатолійович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій проектування, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна.

**Ченарани Алї**, аспірант, кафедра інформаційних технологій проектування, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна.

**Krickiy Dmitriy**, Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, **e-mail:** [krickiydn19852604@gmail.com](mailto:krickiydn19852604@gmail.com).

**Pogudina Olha**, Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine.

**Druzhynin Yevgen**, Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine.

**Chenarani Ali**, Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine