

МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 331.107

А.И. УСАНОВ,

кандидат технических наук, доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева–КАИ

Д.Ш. УСАНОВА,

кандидат экономических наук, доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет

КВАНТОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ПРОЕКТНЫХ КОМПАНИЯХ

Аннотация. Авторами предложены квантовые математические методы экономического анализа организации работы компании, занимающейся проектной деятельностью, позволяющие повысить качество работы за счет использования процессов самоорганизации в организационной структуре с распределенным управлением. В статье приводится графическая иллюстрация зависимости объема работ по составлению рабочей конструкторской документации от типовых сроков исполнения этапов опытно-конструкторских работ. Использование для экономического анализа квантовых методов анализа позволяет учесть как необходимость обеспечения финансирования, так и обеспеченность трудовыми ресурсами соответствующих компетенций. Для повышения эффективности использования предложенной экономической модели систематизированы ограничения, применяемые для моделирования. В работе приведены результаты типового математического моделирования. Разработаны математические средства определения минимально возможного времени выполнения проекта в зависимости от длительности последовательных процессов разработки и ограниченности трудовых ресурсов. Предложенные методы могут применяться для планирования сроков выполнения этапов опытно-конструкторских разработок проектов, а также планирования загрузки проектных подразделений при управлении несколькими проектами. Это предоставляет возможность аналитического расчета предельных проектных мощностей при имеющихся ресурсах, а также определения потребности в трудовых ресурсах различных компетенций для реализации планируемого пакета проектов.

Ключевые слова: КД, ОКР, ГОСТ РВ 15.203-2001, конструкторская документация, проектирование, квантовый метод, дизайн-проект, экономический анализ, опытно-конструкторские работы, ЕСКД.

Введение. Система ГОСТ ЕСКД определяет требования к разработке конструкторской документации (здесь и далее КД) для всех отраслей промышленности и, таким образом, устанавливает порядок организации выполнения опытно-конструкторских работ (здесь и далее ОКР) в части объемов, сроков и, главное, структуры работ и этапов проектирования.

Этапы ОКР определяются требованиями ГОСТ РВ 15.203-2001 и составляют основу плана работ по проекту. КД разрабатывается на каждом этапе в разном объеме и с раз-

личными требованиями. Однако это не означает необходимости привлечения различных специалистов на разных этапах. Напротив, целесообразно сохранять на все время проекта ведущих специалистов, определяющих технический облик и основные конструкторские решения. При этом, очевидно, придется менять численность и состав группы специалистов в зависимости от этапа ОКР. Объем и содержание КД, разрабатываемой и утверждаемой на каждом этапе, определяется ЕСКД. Фактически выделение этапов и подэтапов определя-

ется именно необходимостью промежуточного согласования и утверждения соответствующих комплектов КД. Таким образом, целесообразно организовать работу и планирование загрузки исходя из требований ЕСКД и директивных сроков проекта.

Методология. Объем КД возрастает от этапа дизайн-проекта (далее ДП) к этапу технического проекта (далее ТП) и к этапу рабочей КД (далее РКД). После этого на этапах изготовления и проведения предварительных испытаний (далее ИиПИ) выпуск и корректировка КД становится менее ритмичными, но за счет этого объем работы следует считать таким же, как на этапе РКД. На этапе межведомственных испытаний (далее МИ) объем разработки КД существенно снижается и снова возрастает на этапе утверждения РКД для серийного производства (О1).

С учетом типовых сроков этапов ОКР объем разработки РКД меняется примерно следующим образом (рис. 1).

Каждый этап требует привлечения трудовых ресурсов для разработки РКД E_{Δ_j} . Для привлечения сотрудников к работе над этапом проекта требуется обеспечить финансирование проекта в объеме Φ_{Δ_j} на период T_{Δ_j} . После завершения работы трудовые ресурсы E_{Δ_j} возвращаются на базовый уровень планирования и переключаются на следующий проект, либо продолжают работать над данным проектом на следующем этапе, переходя в $E_{\Delta_{j+1}}$.

При переходе $E_{\Delta_j} \rightarrow E_{\Delta_{j+1}}$ выпускается КД в объеме $V_i = h * v_k * (t_i - t_{0i})$, где h – единица измерения объема КД, например формата А4, или документ или модель детали, Uk_i – уровень компетенций i -го сотрудника, разрабатывающего

КД, например разряд или оклад, t_i – время работы i -го сотрудника над данной КД, t_{0i} – время первичного ознакомления сотрудника с исходными данными проекта, включая совещания и командировки, и при необходимости обучения дополнительным навыкам и компетенциям.

Сумму всех документов Nd , составляющих полный объем КД, который необходимо разработать на j -м этапе проекта, можно предоставить аналогичными факторами $V_{\Delta_j} = \sum_{d=1}^{Nd} (h * v_d * N h_d)$, где v_d – сложность документа, эквивалентная уровню компетенций сотрудника, который способен его разработать, $N h_d$ – объем документа в принятых единицах измерения объема КД.

Таким образом, для завершения j -го этапа проекта требуется Ni сотрудников, которые разработают $\sum_{i=1}^{Ni} (V_i) > V_{\Delta_j}$.

Для этого потребуется финансирование в объеме $\Phi_{\Delta_j} = \sum_{i=1}^{Ni} (h * v_k * t_i)$.

Затраты на «переключение» сотрудников на проект составят:

$$\Phi_{\Delta_{0j}} = \sum_{i=1}^{Ni} (h * v_k * t_{0i}) = \Phi_{\Delta_j} - V_{\Delta_j}. \quad (1)$$

Финансирование обеспечивает затраты на привлечение трудовых ресурсов с целью разработки КД, необходимой для выполнения этапа проекта:

$$\Phi_{\Delta_j} - \Phi_{\Delta_{0j}} = V_{\Delta_j}.$$

Для завершения разработки КД этапа проекта необходимо выполнение условия:

$$\sum_{i=1}^{Ni} (v_k * (t_i - t_{0i})) > \sum_{d=1}^{Nd} (v_d * N h_d). \quad (2)$$

Каждый сотрудник может несколько раз последовательно подключаться к разработке различных документов. Работники, независимо от их количества, с уровнем компетенций

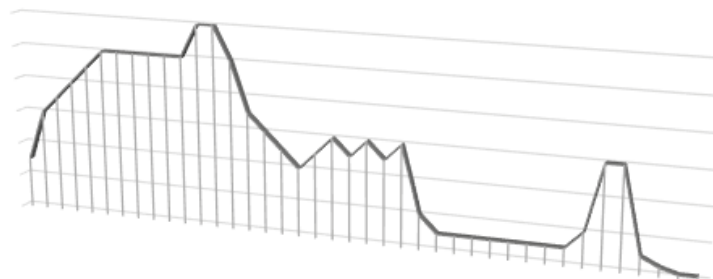


Рис. 1. Изменение объема разработки РКД с учетом типовых сроков

Источник: составлено авторами на основе [1].

ниже уровня сложности $vk_i < v_d$ с поставленной задачей не справятся без подключения более компетентного сотрудника $max(vk_i) > v_d$. Для привлечения к проекту сотрудника с высоким уровнем компетенций требуется больше финансовых ресурсов $\Phi\mathcal{E}_j \sim vk_i$, однако это позволит выполнить задачу быстрее $t_i = v_d / vk_i * Nh_d - t_{0i}$, в том числе за счет уменьшения времени t_{0i} на переключение на задачу и обучение. И в итоге сократит затраты $\Phi\mathcal{E}_j \sim t_i$, в том числе за счет уменьшения затрат на «переключение» $\Phi\mathcal{E}_{0j} \sim t_{0i}$. Следует отметить, что попытка переложить всю работу на высококвалифицированных сотрудников на практике не реализуема, т. к. количество таких работников ограничено.

Результаты. Минимально возможное время выполнения проекта складывается из длительности последовательных процессов $T\mathcal{E}_{min} = \sum_{pr=1}^{Npr} max\{t_p, p=(1-Np_{pr})\}$, где Npr – количество групп задач, которые должны выполняться последовательно, t_p – время выполнения p -й задачи, Np_{pr} – количество задач в pr -й группе задач.

Возможность перехода к следующей последовательно выполняемой группе задач определяется наиболее сложными задачами в текущей группе $max\{v_p, p=(1-Np_{pr})\}$. Поэтому можно считать, что это ограничение накладывается доступными трудовыми ресурсами высокой компетенции $vk_i > max\{v_p, p=(1-Np_{pr})\}$. При условии отсутствия ограничений на количество трудовых ресурсов минимальное время завершения группы задач, которые можно выполнять параллельно, составит:

$$Tmin_{pr} = h * v_i (max\{v_p, p=(1-Np_{pr})\}) / vk_i (vk_i > max\{v_p, p=(1-Np_{pr})\}) - t_{0i}, \quad (3)$$

т. е. время, за которое может быть выполнена наиболее сложная задача сотрудниками наибольшей компетенции.

При наличии ограничений на количество трудовых ресурсов, рассчитывая минимальное время завершения группы задач, которые можно выполнять параллельно, необходимо принимать во внимание наиболее трудоемкие задачи $max\{(\sum(vk_i * t_i))_p, p=(1-Np_{pr})\}$. Тогда минимальное время завершения группы задач, которые можно выполнять параллельно, составит:

$$Tmin_{pr} = max\{h * v_i (max\{v_p, p=(1-Np_{pr})\}) / vk_i (vk_i > max\{v_p, p=(1-Np_{pr})\}) - t_{0i} \cap h * v_i (max\{(\sum(t_i * vk_i / vk_i - t_{0i}))_p, p=(1-Np_{pr})\}) - t_{0i}\}. \quad (4)$$

Время выполнения этапа проекта можно аппроксимировать, учитывая только наиболее сложные и трудоемкие задачи:

$$T\mathcal{E}_{min} = \sum_{pr=1}^{Npr} (max\{t_p, p=(1-Np_{pr})\}) \sim \sum_{pr=1}^{Npr} Tmin_{pr}. \quad (5)$$

Заключение. Таким образом, для планирования сроков выполнения этапа проекта необходимо:

- 1) оценить максимальную сложность поставленных задач $max\{v_p, p=(1-Np_{pr})\}$;
- 2) определить наличие сотрудников, которые могут справиться с поставленными задачами $vk_i > max\{v_p, p=(1-Np_{pr})\}$ и, если требуется, запланировать обучение необходимых специалистов за время t_{0i} ;
- 3) определить достаточность трудовых ресурсов для выполнения наиболее трудоемких задач $max\{(\sum(vk_i * t_i))_p, p=(1-Np_{pr})\}$;
- 4) оценить минимальное время выполнения этапа проекта $T\mathcal{E}_{min}$;
- 5) оценить затраты $\Phi\mathcal{E}_j$;
- 6) рассмотреть возможности сокращения времени $T\mathcal{E}_{min}$ и затрат $\Phi\mathcal{E}_j$:
 - повышение компетенций сотрудников или найма высококвалифицированных сотрудников для выполнения сложных задач и сокращения времени их выполнения, а также сокращения общих затрат по всем работам,
 - найм дополнительных сотрудников для ускорения выполнения наиболее трудоемких работ,
 - структурное изменение календарного плана проекта, если развитие трудового капитала невозможно.

Таким образом, предложенные методы могут применяться для планирования сроков выполнения этапов опытно-конструкторских разработок проектов, а также планирования загрузки проектных подразделений при управлении несколькими проектами. Это предоставляет возможность аналитического расчета предельных проектных мощностей при имеющихся ресурсах, а также определения потреб-

ности в трудовых ресурсах различных компетенций для реализации планируемого пакета проектов.

Литература

1. ГОСТ РВ 15.205-2004 Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию комплектующих изделий межотраслевого применения / ГОСТ РВ 15.205-2004 // Разработан ОАО «РНИИ “Электронстандарт”». – Введ. впервые. – М.: Стандартинформ, 2005. – III, 65 с.
2. Антанайте К.С., Мартишкин В.В. Экспертиза конструкторской документации на стадии рабочего проекта // Инновационные разработки в обработке материалов давлением и аддитивном производстве. Качество выпускаемых изделий: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Москва, 07 декабря 2018 года. – М.: Московский Политех, 2019. – С. 216–222.
3. Антонюк И.А., Пахомова Э.А. Особенности расчета начальной максимальной цены научно-исследовательских работ на предприятиях // Экономика строительства. – 2020. – № 4 (64). – С. 35–46.
4. Алексеев Н.С. Эволюция систем и организационное проектирование // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 4.
5. Бударин С.Н., Михайленко В.С., Половинкина О.Н. [и др.] О составе технического проекта и форме представления его документов // Вестник МАНЭБ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 5–13.
6. Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1965.
7. Горелов Б.А., Давыдов А.Д., Бурдина А.А., Москвичева Н.В. Цифровая система управления процессом модернизации авиационной техники // СТИН. – 2024. – № 1. – С. 37–41.
8. Данилаев Д.П., Маливанов Н.Н., Польский Ю.Е. Организация учебного процесса в современном техническом вузе // Высшее образование в России. – 2010. – № 6.
9. Евстафьев В.Ф., Безденежных И.В. Экспресс-анализ вторичной отчетной научно-технической документации о научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работах // Межотраслевая информационная служба. – 2016. – № 1. – С. 26–35.
10. Сайбель А.Г., Щеглов Д.К., Крюков А.А. Резервы экономии времени при выполнении опытно-конструкторских работ // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2023. – № 4. – С. 24–29.
11. Шаповалов А.А. Таран П.В., Грихина Г.Б. [и др.] Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2017620101 Российская Федерация. «Технико-экономическая документация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ» («ТЭД НИОКР»): № 2016621580; заявл. 28.11.2016; опубл. 19.01.2017 / заявитель Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Пульсар».
12. Shcheglov D.K. Express method for determining deadlines and costs of project design works by defense industry enterprises // Innovations in management. – 2024. – No. 1(39). – P. 46–54.

Информация об авторах

Усанов Александр Игоревич, кандидат технических наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ.

E-mail: aiusanov@kai.ru.

Усанова Диана Шамилевна, кандидат экономических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет.

E-mail: diana-diana@rambler.ru.

A.I. USANOV,

PhD in Engineering, Associate Professor

Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev

D.S. USANOVA,

PhD in Economics, Associate Professor

Kazan (Volga Region) Federal University

QUANTUM MATHEMATICAL METHODS OF ECONOMIC ANALYSIS IN PROJECT COMPANIES

Abstract. The authors propose quantum mathematical methods of economic analysis of the organization of work of a company engaged in project activities, allowing to improve the quality of work due to the use of self-organization processes in corporate management with distributed control. The article provides a graphical illustration of the dependence of the volume of work on the development of working design documentation on the typical deadlines for the implementation of stages of experimental design work. The use of quantum analysis methods for economic analysis allows us to take into account both the need to ensure funding and the availability of labor resources of the relevant competencies. To improve the efficiency of the proposed economic model, the restrictions used for modeling are systematized. The paper presents the results of typical mathematical modeling. Mathematical tools for determining the minimum possible time for project implementation depending on the duration of sequential development processes and the limited labor resources have been developed. The proposed methods can be used to plan the deadlines for the implementation of stages of experimental design development of projects, as well as planning the workload of design departments when managing several projects. This provides an opportunity for analytical calculation of the maximum design capacities with available resources, as well as determining the need for labor resources of various competencies to implement the planned number of projects.

Keywords: design documentation, development work, GOST RV 15.203-2001, design documentation, design, quantum method, design project, economic analysis, experimental design work, Unified System for Design Documentation, ESKD.

References

1. GOST RV 15.205-2004 System of product development and launching into manufacture. Military equipment. the procedure for carrying out development work for developing Components for cross-sector applications / GOST RV 15.205-2004 // developed by JSC "RNII 'Elektronstandart' ". – Introduced for the first time. – M.: Standartinform, 2005. – III, 65 p.
2. *Antanayte K.S., Martyshkin V.V.* Examination of design documentation at the stage of a working project // Innovation development when processing materials by pressure and in additive manufacturing. Quality of the products: The proceedings of the All-Russian scientific and technical conference, Moscow, 7.12.2018. – M.: Moscow polytechnic, 2019. – P. 216–222.
3. *Antonyuk I.A., Pakhomova Ye.A.* Features of calculation of the initial maximum price of research and development work in enterprises // Construction Economics. – 2020. – No. 4 (64). – P. 35–46.
4. *Alekseyev N.S.* System evolution and organizational design // Issues of management theory and practice. – 1998. – No. 4.

5. Budarin S.N., Mikhaylenko V.S., Polovinkina O.N. [et al.]. On the composition of the technical project and the form of submission of its documents // Bulletin MANEB. – 2022. – Vol. 27, No. 2. – P. 5–13.
6. Butkovskiy A.G. Theory of optimal management of distributed systems. – M.: Nauka, 1965.
7. Gorelov B.A., Davydov A.D., Burdina A.A., Moskvicheva N.V. Digital management system for modernization of aviation technology // STIN. – 2024. – No. 1. – P. 37–41.
8. Danilayev D.P., Malivanov N.N., Pol'skiy Yu.Ye. Organization of educational process in a modern technical university // Higher education in Russia. – 2010. – No. 6.
9. Yevstaf'yev V.F., Bezdeneshnykh I.V. Express analysis of secondary reporting scientific and technical documentation on research, development and technological works // Intersectoral information service. – 2016. – No. 1. – P. 26–35.
10. Saybel' A.G., Shcheglov D.K., Kryukov A.A. Time savings reserves for development work // Scientific Bulletin of the Russian Defense and Industrial Complex. – 2023. – No. 4. – P. 24–29.
11. Shapovalov A.A., Taran P.V., Grikhina G.B. [et al.] Certificate of state registration database № 2017620101 Russian Federation. “Technical and economic documentation of research and development” (“TED NIOKR”): № 2016621580: applied 28.11.2016: published 19.01.2017 / applicant Joint Stock Company Scientific and Production Enterprise “Pul'sar”.
12. Shcheglov D.K. Express method for determining deadlines and costs of project design works by defense industry enterprises // Innovations in management. – 2024. – No. 1(39). – P. 46–54.