

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЭТАПЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

К. А. Бражникова¹, Е. К. Савич²

¹Омский государственный технический университет, г. Омск

²Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева, г. Самара

Исследована структурная модель процесса научного исследования на примере процессов физико-математического и физического моделирования тепло- и массообмена при создании бортовой системы газификации жидких компонентов ракетного топлива в баках отработавших ступеней ракет-носителей. Приведены методические рекомендации оценки качества процесса научного исследования, содержащие перечень критериев качества на этапе научно-исследовательских работ, включающих определенную структуру единичных показателей. Предложена структура комплексной оценки качества процесса исследования, а также блок-схемы проведения процесса физико-математического и физического моделирования с учетом введенных критериев качества, позволяющие повысить достоверность получаемых результатов с наименьшими затратами труда, времени, финансовых и материально-технических ресурсов.

Представленные материалы могут быть положены в основу универсального подхода оценки качества процесса научного исследования при решении широкого круга исследовательских задач, например, тепло- и массообмена, динамики, баллистики, программирования сложных алгоритмов и т.д.

Ключевые слова: качество, исследование, процесс, критерии, достоверность, риски, оценка.

Для цитирования: Бражникова К. А., Савич Е. К. Оценка качества процесса исследования на этапе научно-исследовательских работ // Омский научный вестник. 2025. № 3 (195). С. 27–33. DOI: 10.25206/1813-8225-2025-195-27-33. EDN: WFYERG.



© Бражникова К. А., Савич Е. К., 2025.
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE RESEARCH PROCESS AT THE STAGE OF SCIENTIFIC STUDIES

K. A. Brazhnikova¹, E. K. Savich²

¹Omsk State Technical University, Omsk, Russia

²Samara National Research University, Samara, Russia

The structural model of the scientific research process is investigated on the example of the processes of physical-mathematical and physical modeling of heat and mass transfer when creating an on-board system of gasification of liquid components of rocket fuel in the tanks of spent stages of launch vehicles. Methodical recommendations for assessing the quality of the scientific research process are given, containing a list of quality criteria at the stage of research work, including a certain structure of single indicators. The structure of the complex quality assessment of the research process is proposed, as well as block diagrams of the physical-mathematical and physical modeling process, taking into account the introduced quality criteria, allowing to increase the reliability of the obtained results with the least expenditure of labor, time, financial and material-technical resources.

The presented materials can be used as a basis for a universal approach to assess the quality of the scientific research process in solving a wide range of research problems, for example, heat and mass transfer, dynamics, ballistics, programming of complex algorithms, etc.

Keywords: quality, research, process, criteria, reliability, risks, evaluation.



© Brazhnikova K. A., Savich E. K., 2025.
The content is available under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

В различных открытых источниках на сегодняшний день по вопросу управления проектом представлены различные концепции и подходы, которые охватывают различные отрасли промышленности. Существующая теоретическая база по обеспечению, улучшению и оценке качества проектных разработок, реализованная в нормативно-технической документации, включает в себя комплекс действий и инструментов, направленных на совершенствование системы управления проектами, обеспечение требуемого качества технологического проектирования, минимизацию ошибок в оценке показателей и характеристик изделий, повышение адекватности оценки конструктивно-технологических решений, что в конечном итоге позволяет получить на выходе опытно-конструкторских работ сложную техническую систему, отвечающую предъявляемым требованиям.

Однако при создании перспективной сложной технической системы, не имеющей прототипов, требуется разработка соответствующих новых методов для определения ее проектно-конструкторских, схемных и технологических параметров. Что, в свою очередь, ведет к решению проблемы обеспечения качества процесса исследований на этапе научно-исследовательских работ.

Таким образом, формирование целостной системы обеспечения и управления качеством научно-технических проектов в области создания перспективных сложных технических систем рассматривается как самостоятельное прикладное направление с расширением границ управления качеством, в основу которой ложится наработанная теоретическая база, включающая в том числе и методики оценки качества процесса исследования на этапе научно-исследовательских работ.

В управлении качеством при реализации научно-технического проекта требования предъявляются как к качеству самой проектируемой сложной технической системы, так и к качеству процессов внутри проекта на всех этапах жизненного цикла [1, 2], в том числе и на этапе проведения научно-исследовательских работ в процессе создания новых перспективных ракетно-космических систем [3].

Поскольку в процессе научных исследований задействован человеческий фактор, нельзя быть уверенным на 100 % в результате процесса. Человеку свойственно ошибаться, и необходимо учитывать этот факт.

Тщательное планирование процесса научных исследований и использование универсального подхода оценки качества процесса научного исследования при решении различных исследовательских задач позволяют повысить качество данного процесса, а именно получить на выходе достоверные и объективные научно-технические результаты с наименьшими затратами труда, времени, финансовых и материально-технических ресурсов [4, 5].

Научные исследования включают в себя разработку физико-математической и физической

моделей, программ экспериментов и результаты их реализации в виде соответствующих методик. Чем выше качество процесса исследования сложной технической системы, тем более высоким является достоверное описание всех этапов научно-исследовательской работы, качество результатов теоретико-экспериментальных исследований, и вероятность ошибочных проектных решений сводится к минимуму.

Управление качеством проекта, как часть менеджмента качества, ориентировано на получение качественно нового результата и обеспечение инновационного прорыва. Применение процессного подхода в цикле создания на этапе научно-исследовательских работ позволяет на выходе представить достоверную научно-техническую продукцию, которая, в свою очередь, является входом этапа опытно-конструкторских работ для формирования тактико-технических характеристик сложной технической системы.

Реализация цикла PDCA (Plan-Do-Check-Act — планирование-действие-проверка-корректировка) на этапе научно-исследовательских работ имеет следующие стадии:

1. Планирование (P) — раскрытие проблемы, нахождение путей решения проблемы, методическое обеспечение качества теоретико-экспериментальных исследований на основе введения процессов валидации и верификации расчетных и экспериментальных исследований, распределение необходимых ресурсов.

2. Выполнение (D) — осуществление процесса исследований на этапе научно-исследовательских работ на основе методического обеспечения качества.

3. Проверка (C) — сбор информации, обработка полученных результатов математического и физического моделирования.

4. Воздействие (A) — принятие решения о разработке или усовершенствовании сопровождающей научно-технической документации или перепланировании.

Цикл SDCA (Standart-Do-Check-Act) [6] обеспечивает текущий процесс научных исследований, контролирует отклонения в качестве данного процесса — отклонение от действующего сопровождающей научно-технической документации. Если возникает необходимость в изменении существующей сопровождающей нормативно-технической документации или в разработке новой, то включается цикл PDCA. Реальная деятельность осуществляется на стадии D как цикла PDCA, так и цикла SDCA. Следовательно, процесс исследований на этапе научно-исследовательских работ должен переходить от цикла SDCA к циклу PDCA и обратно.

Постановка задачи

Целью проводимого исследования является повышение качества процесса исследования процесса моделирования тепло- и массообмена на этапе научно-исследовательской работы на примере создания

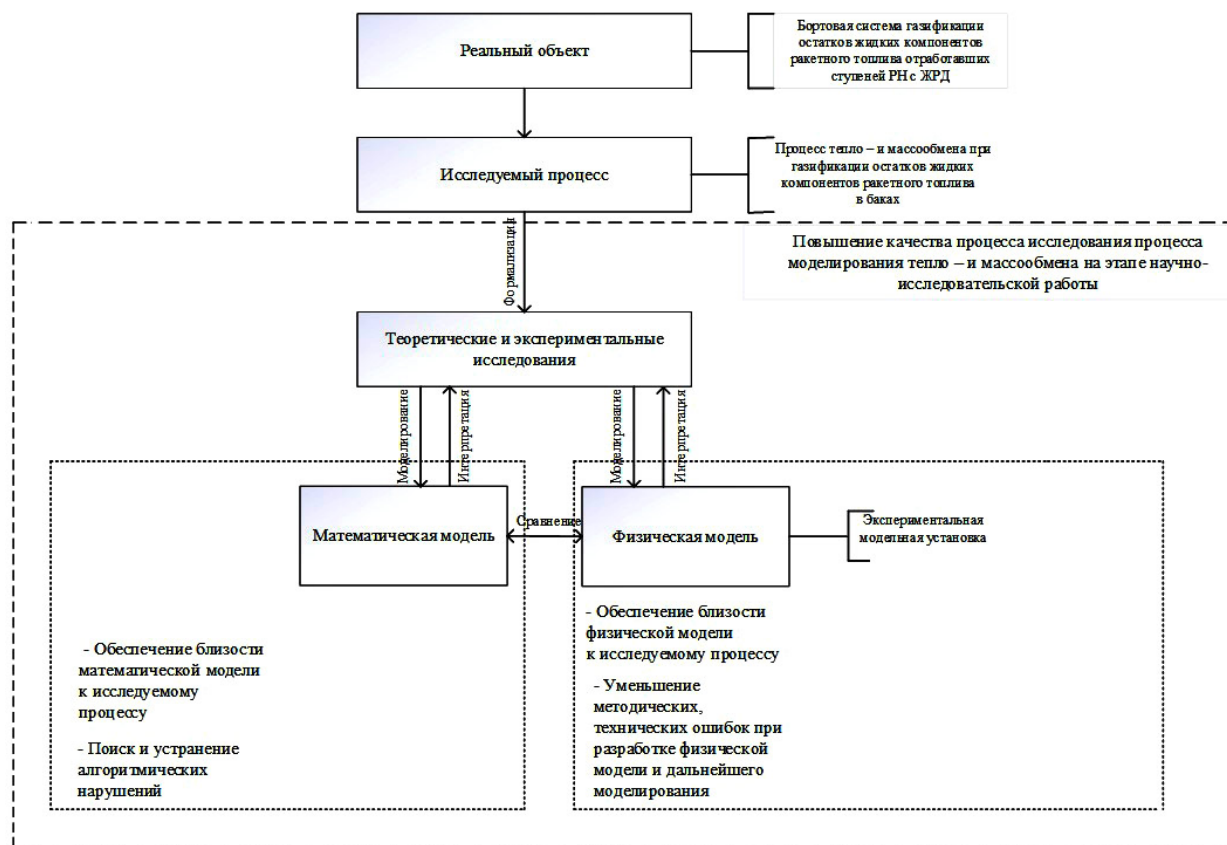


Рис. 1. Структурная модель процесса исследования процесса тепло- и массообмена
Fig. 1. Structural model of the research process of the heat and mass transfer

бортовой системы газификации жидких компонентов ракетного топлива в баках отработавших ступеней ракет-носителей (РН) с жидкостным ракетным двигателем (ЖРД). Соответственно, это предусматривает решение следующих задач [7]:

- 1) исследовать и представить структурную модель процесса исследования;
- 2) разработать методические рекомендации оценки качества процесса исследования, содержащие:
 - единичные показатели качества процесса исследования;
 - критерии качества процесса исследования;
 - структуру комплексной оценки качества процесса исследования;
 - блок-схемы проведения процесса физико-математического и физического моделирования с учетом введенных критериев качества.

Методические рекомендации оценки качества процесса исследования на этапе научно-исследовательских работ

В соответствии с [8] с целью управления процессом исследования и результативного принятия решений важно оценивать показатели процесса исследования путем сравнения выходных данных с введенными критериями, оценивать риски и возможности, связанные с процессом исследования на этапе научно-исследовательской работы. Качество в приложении к исследуемой проблеме есть степень соответствия физико-математической и физической моделей исследуемого процесса реальному физическому процессу.

Структурная модель процесса исследования процесса моделирования тепло- и массообмена включает в себя части процесса исследования

и связи между ними. Данные связи представляют собой определенную информацию, получаемую в результате моделирования и интерпретации. Структурная модель процесса исследования представлена на рис. 1.

Для объективной комплексной оценки качества процесса исследования на этапе научно-исследовательских работ необходимо сформировать показатели качества и на основе выполненного анализа структуры и содержания исследовательской деятельности выделить характеристики исследования, которые могут стать критериями оценивания научно-исследовательской работы.

Критерии качества теоретико-экспериментальных исследований — это правило, на основании которого формируется оценка качества процесса теоретико-экспериментальных исследований.

Совокупность критериев качества теоретико-экспериментальных исследований должна отражать с достаточной полнотой все наиболее существенные характеристики процесса. В данной работе в приложении к исследуемой проблеме основным критерием качества теоретико-экспериментальных исследований является достоверность получаемых результатов моделирования.

Показатели качества исследуемого процесса — это количественная характеристика исследуемых параметров процесса.

На этапе научно-исследовательских работ формирование номенклатуры показателей качества процесса исследований осуществляется путем сбора и анализа исходной информации о процессе, в ходе чего используются открытые данные из научно-технической документации, научных отчетов, о прикладных научно-исследовательских работах, результаты патентных исследований, а также тре-

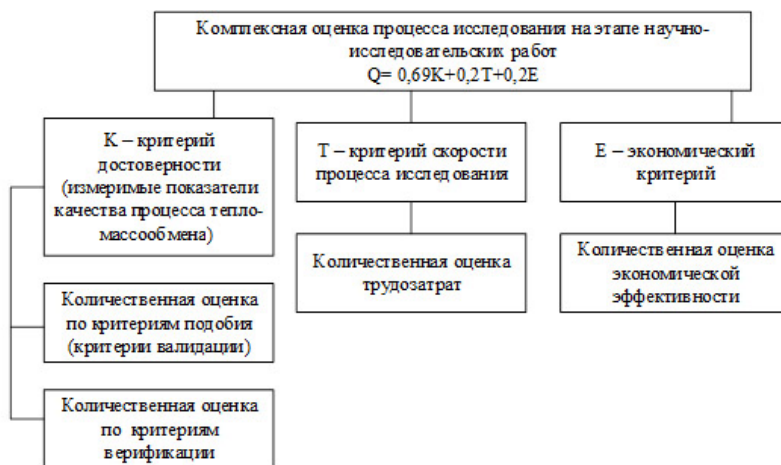


Рис. 2. Структура комплексной оценки качества процесса исследования на этапе научно-исследовательских работ
Fig. 2. Structure of comprehensive assessment of the quality of the research process at the stage of scientific studies

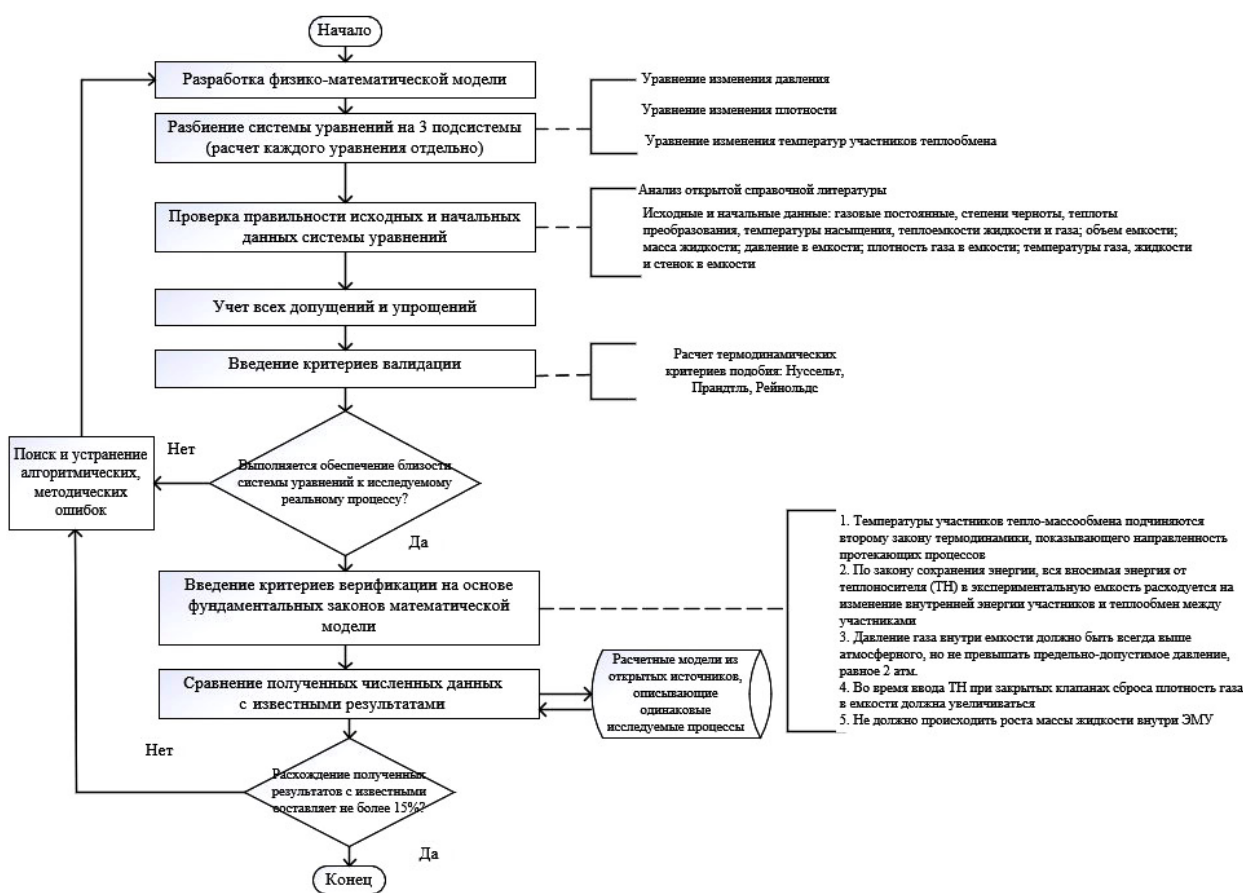


Рис. 3. Блок-схема методики проведения процесса исследования при физико-математическом моделировании
Fig. 3. Block diagram of the methodology of the research process in physical and mathematical modeling

бования международных, национальных, отраслевых стандартов, результаты соответствующих испытаний и т.д.

Оценивание качества процесса исследования основывается на анализе изменений значений соответствующих показателей качества, оценке сроков реализации процесса и снижении затрат используемых ресурсов.

Комплексный и единичные показатели могут быть рассмотрены в разрезе процессов, входящих

в структурную модель исследования процесса моделирования тепло- и массообмена.

К основным единичным показателям качества процесса исследования процесса тепло- и массообмена при газификации остатков жидких компонентов ракетного топлива относятся:

- 1) температура участников теплообмена;
- 2) влажность воздуха внутри экспериментальной модельной установки (уменьшенная физическая модель топливного бака, далее ЭМУ);

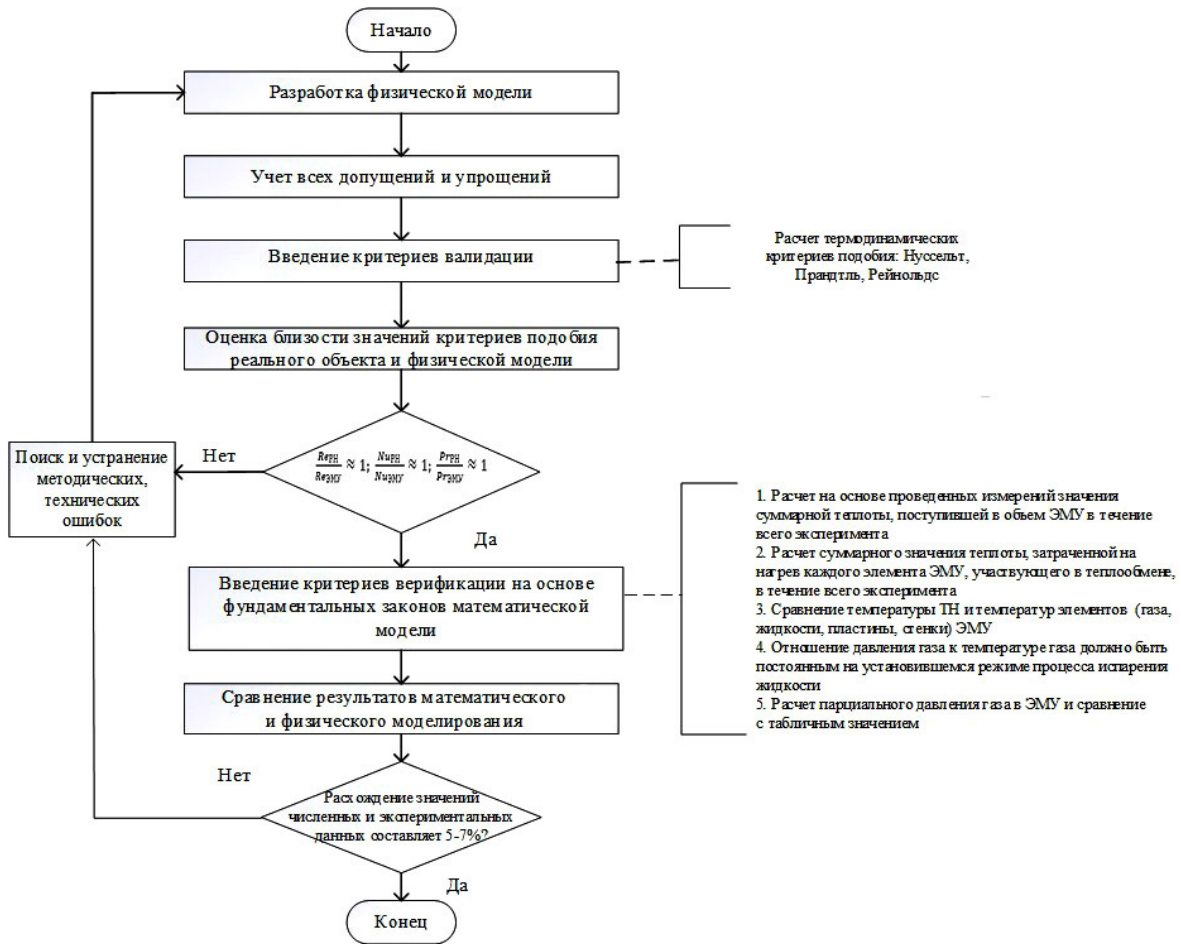


Рис. 4. Блок-схема методики проведения процесса исследования при физическом моделировании
Fig. 4. Block diagram of the research process of the heat and mass transfer

- 3) площадь поверхности испаряемой жидкости в ЭМУ;
- 4) давление в ЭМУ;
- 5) критерии подобия;
- 6) производительность труда;
- 7) стоимость процесса (снижение затрат используемых ресурсов);
- 8) скорость процесса;
- 9) показатели, характеризующие факторы риска.

Выявленные единичные показатели качества процесса исследования можно объединить в три группы:

I. Временные показатели — показатель 8.

II. Показатели достоверности — измеримые показатели качества процесса тепло- и массообмена — показатели 1, 2, 3, 4, 5.

III. Экономические показатели — показатели 6, 7.

Очевидно, что определяющими показателями качества, по которым принимается решение по оценке качества процесса исследования в целом — показатели достоверности — измеримые показатели качества процесса тепло- и массообмена — показатели 1, 2, 3, 4, 5.

С учетом вышеизложенного в общем виде комплексная оценка процесса исследования Q представляется в виде единой формулы, включающей основные критерии качества теоретико-экспериментальных исследований, имеющих определенные удельные веса:

$$Q = 0,69K + 0,2T + 0,2E, \quad (1)$$

Таблица 1. Вероятность возникновения риска
Table 1. Probability of risk occurrence

Вид события	Вероятность возникновения риска	
	Количественное описание	Качественное описание
Слабовероятное	0,1	Шансы наступления события минимальны
Маловероятное	0,3	Событие может произойти в исключительных случаях
Вероятное	0,5	Наличие свидетельств, достаточных для предположения возможности события
Почти возможное	0,7	Событие может произойти
Возможное	0,9	Событие, как и ожидалось, произойдет

где K — критерий достоверности (количественная оценка); T — критерий скорости процесса исследования (количественная оценка); E — экономический критерий (количественная оценка).

На рис. 2 представлена структура комплексной оценки качества процесса исследования на этапе научно-исследовательских работ.

Более подробно на рис. 3 и 4 рассмотрены группы процессов и их последовательность на этапах физического и физико-математического моделирования, входящих в структурную модель исследова-

Таблица 2. Последствия от наступления риска
Table 2. Consequences of risk occurrence

Вид последствий	Величина последствий	
	Количественное описание	Качественное описание
Минимальные	0,1	Требования ТЗ (ТТЗ) выполняются в заявленном объеме
Низкие	0,3	Требования ТЗ (ТТЗ) выполнены с небольшим отклонением
Средние	0,5	Требования ТЗ (ТТЗ) выполнены с отклонениями, согласованными с заказчиком
Высокие	0,7	Требования ТЗ (ТТЗ) выполнены частично в отношении заявленного объема
Максимальные	0,9	Невыполнение требований ТЗ (ТТЗ)

Вероятность	Ранг риска					
	0,9	0,09	0,27	0,45	0,63	0,81
	0,7	0,07	0,21	0,35	0,49	0,63
	0,5	0,05	0,15	0,25	0,35	0,45
	0,3	0,03	0,09	0,15	0,21	0,27
	0,1	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	
Последствия						

Рис. 5. Матрица качественной оценки рисков
Fig. 5. Matrix of qualitative risk assessment

ния процесса тепло- и массообмена с точки зрения управления качеством.

Предлагается декомпозиция исследуемой научно-технической задачи с последующим разбиением на самостоятельные блоки как внутри процесса исследования при физико-математическом моделировании, так и внутри процесса исследования при физическом моделировании, включающие последовательную проверку результатов моделирования путем введения критериев достоверности, охватывающих совокупность показателей, служащих средством оценивания и накопления количественных данных для критериального обобщения.

При управлении научно-техническим проектом отдельно рассмотрим показатели, характеризующие факторы риска на этапе научно-исследовательских работ, адаптируя требования нормативно-технической документации в соответствии с видом и спецификой проекта [9, 10].

Среди известных методов для оценки рисков на этапе научно-исследовательских работ выбрана матрица последствий и вероятностей. В матрице последствий и вероятностей определены комбинации числовых значений вероятности наступления риска (табл. 1) и последствия от его наступления (табл. 2), при умножении которых можно определить ранг риска (рис. 5):

- низкий (ранг от 0,01 до 0,08);
- средний (ранг от 0,09 до 0,44);
- высокий (ранг от 0,45) — выделенная серая зона.

При реализации проекта на этапе научно-исследовательских работ в перечень рисков входят научно-технические риски, влияющие непосредственно на выполнение сетевого плана-графика, изменение сроков выполнения проектов, достоверность получаемых результатов при проведении физико-математического и физического моделирования, достижимость заявленных результатов проекта, что может привести в итоге к возврату полученного финансирования проекта. Например, к таким рискам относятся нарушения в ходе проведения физического моделирования, что требует проведения расширенных исследований с целью выявления новых методических подходов в повышении качества экспериментальных исследований.

Данный риск имеет высокий ранг (серая зона), что приводит к высокой тяжести последствий его наступления.

С точки зрения управления качеством научно-технического проекта, для повышения качества процесса исследований и снижения уровня научно-технических рисков (например, нарушения в ходе проведения процесса моделирования) на этапе научно-исследовательских работ необходимо руководствоваться разработанной методикой проведения процесса исследования процесса моделирования тепло- и массообмена, позволяющей за счет введения в соответствующие места схемы процесса моделирования сформулированных критериев валидации и верификации, определяющие показатели качества, по которым принимается решение по оценке качества процесса исследования в целом [11].

В свою очередь это позволит своевременно выявить алгоритмические, методические, технические и иные ошибки, возникающие в процессе моделирования, а также выработать корректирующие и предупреждающие действия.

Таким образом, как видно из приведенных групп процессов и их последовательности на этапах физического и физико-математического моделирования, входящих в структурную модель исследования процесса тепло- и массообмена, качество научно-технических результатов ложится в основу управления качеством проекта.

Выводы

1. Исследована структурная модель процесса научного исследования на примере процессов физико-математического и физического моделирования тепло- и массообмена при создании бортовой системы газификации жидких компонентов ракетного топлива в баках отработавших ступеней ракет-носителей.

2. Приведены методические рекомендации оценки качества, содержащие структуру комплексной оценки качества процесса исследования на этапе научно-исследовательских работ, перечень критериев качества, отражающих наиболее существенные характеристики исследуемого процесса.

3. Приведены блок-схемы проведения процесса физико-математического и физического моделирования с учетом введенных критериев качества, позволяющие повысить достоверность получаемых результатов с наименьшими затратами труда, времени, финансовых и материально-технических ресурсов.

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. Введ. 2015–11–01. Москва: Стандартинформ, 2020. 49 с.

GOST R ISO 9001-2015. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya [Quality management systems. Requirements]. Moscow, 2020. 49 p. (In Russ.).

2. ГОСТ Р ИСО 10006-2019. Менеджмент качества. Руководящие указания по менеджменту качества в проектах. Введ. 2020–10–01. Москва: Стандартинформ, 2019. 32 с.

GOST R ISO 10006-2019. Menedzhment kachestva. Rukovodyashchiye ukazaniya po menedzhmentu kachestva v proyektakh [Quality management. Guidelines for quality management in projects]. Moscow, 2019. 32 p. (In Russ.).

3. Положение о порядке создания, производства и эксплуатации (применения) ракетных и космических комплексов: РК-11-КТ: утв. и введ. в действие Приказом Роскосмоса от 22 дек. 2011 г. № 232. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

Polozheniye o poryadke sozdaniya, proizvodstva i ekspluatatsii (primeneniya) raketnykh i kosmicheskikh kompleksov RK-11-KT [Regulation on the procedure for the creation, production and operation (use) of rocket and space complexes: RK-11-KT]: approved and enacted by Order of Roscosmos of December 22, 2011. No. 232. Available at ConsultantPlus. (In Russ.).

4. Культин Н. Б., Сурина А. В. Управление инновационными проектами и процессами: моногр. Санкт-Петербург: Изд-во СПбПУ, 2025. 279 с. DOI: 10.18720/SPBPU/5/tr25-87.

Kultin N. B., Surina A. V. Upravleniye innovatsionnymi proyektami i protsessami [Management of innovative projects and processes]. Saint Petersburg, 2025. 279 p. DOI: 10.18720/SPBPU/5/tr25-87. (In Russ.).

5. Куркова О. П. Организация и планирование научно-технических исследований и разработок: моногр. Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2018. 245 с. ISBN 978-5-6040965-2-9. EDN: YXJEJX.

Kurkova O. P. Organizatsiya i planirovaniye nauchno-tekhnicheskikh issledovaniy i razrabotok [Organisation and planning of scientific and technical research and development]. Saint Petersburg, 2018. 245 p. ISBN 978-5-6040965-2-9. EDN: YXJEJX. (In Russ.).

6. Жемчугов А. М., Жемчугов М. К. Цикл PDCA Деминга. Современное развитие // Проблемы экономики и менеджмента. 2016. № 2 (54). С. 3–28. EDN: VMDSTV.

Zhemchugov A. M., Zhemchugov M. K. Tsikl PDCA Deminga. Sovremennoye razvitiye [PDCA Cycle Deming. Current development]. *Problemy Ekonomiki i Menedzhmenta*. 2016. No. 2 (54). P. 3–28. EDN: VMDSTV. (In Russ.).

7. Trushlyakov V. I., Rozhaeva K. A. Developing a Test Stand to Verify Accuracy of Conducted Research at the Early Design Stages of Active Descent Systems of Spent Launcher Stages. *Indian Journal of Science and Technology*. 2016. Vol. 9 (36). P. 1–7. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i36/102037.

8. ГОСТ Р ИСО 9004-2019 Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации. Введ. 2020–10–01. Москва: Стандартинформ, 2019. 56 с.

GOST R ISO 9004-2019. Menedzhment kachestva. Kachestvo organizatsii. Rukovodstvo po dostizheniyu ustoychivogo uspekha organizatsii [Quality management. Quality of an organization. Guidance to achieve sustained success]. Moscow, 2019. 56 p. (In Russ.).

9. ГОСТ Р ИСО 17666-2021. Менеджмент риска. Космические системы. Введ. 2022–03–01. Москва: Российский институт стандартизации, 2021. 20 с.

GOST R ISO 17666-2021. Menedzhment riska. Kosmicheskiye sistemy [Risk management – Space systems]. Moscow, 2021. 20 p. (In Russ.).

10. ГОСТ Р 52806-2007. Менеджмент рисков проектов. Общие положения. Введ. 2010–01–01. Москва: Стандартинформ, 2020. 20 с.

GOST R 52806-2007. Menedzhment riskov proyektov. Obshchiye polozheniya [Project risk management. General]. Moscow, 2020. 20 p. (In Russ.).

11. Brazhnikova K. Improving the quality of modeling thermodynamic processes. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. Vol. 2182. 012044. DOI: 10.1088/1742-6596/2182/1/012044. EDN: CDBZCL.

БРАЖНИКОВА Ксения Алексеевна, научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории «Парогазовые смеси в конструкциях ракет-носителей» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 4515-1818

AuthorID (РИНЦ): 689057

ORCID: 0000-0002-5393-9172

AuthorID (SCOPUS): 57192071067

Адрес для переписки: kabrazhnikova@omgtu.ru.

САВИЧ Екатерина Константиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева, г. Самара.

SPIN-код: 3826-7898

AuthorID (РИНЦ): 609270

ORCID: 0000-0002-5515-7799

AuthorID (SCOPUS): 57204666133

Адрес для переписки: savich.ek@ssau.ru

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила в редакцию 28.02.2025; одобрена после рецензирования 16.06.2025; принята к публикации 25.06.2025.

BRAZHNIKOVA Kseniya Alekseevna, Research Associate at the Scientific Research Laboratory "Steam-gas Mixtures in Launch Vehicle Designs", Omsk State Technical University, Omsk.

SPIN-code: 4515-1818

AuthorID (RSCI): 689057

ORCID: 0000-0002-5393-9172

AuthorID (SCOPUS): 57192071067

Correspondence address: kabrazhnikova@omgtu.ru

SAVICH Ekaterina Konstantinovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aircraft Production and Quality Control in Mechanical Engineering Department, Samara National Research University, Samara.

SPIN-code: 3826-7898

AuthorID (RSCI): 609270

ORCID: 0000-0002-5515-7799

AuthorID (SCOPUS): 57204666133

Correspondence address: savich.ek@ssau.ru

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The article was submitted 28.02.2025; approved after reviewing 16.06.2025; accepted for publication 25.06.2025.