

## FORMATION OF SEMANTIC AND LOGICAL LIMITATIONS OF THE SUBJECT AREA DEFINED BY THE OBJECT, SUBJECT AND PURPOSE OF RESEARCH

H. S. Gumerov <sup>a</sup>, G. G. Kulikov <sup>b</sup>, K. A. Rizvanov <sup>c</sup>

*Ufa State Aviation Technical University (UGATU)*

*<sup>a</sup> profgumerov@yandex.ru, <sup>b</sup> gennadyg\_98@yahoo.com, <sup>c</sup> rizvanovk@bk.ru*

*Submitted 2022, August 1*

**Abstract.** Within the framework of the previously developed concept of the formation of digital twins, it is proposed to introduce semantic and logical restrictions of the subject area on the example of the formation of a system model of a resource in the subject area of creating a GTD. An automated information technology has been developed for formalizing the knowledge of experts in the subject area under study. The methodology of system modeling of science-intensive complex projects in 4D space is given, taking into account the life cycle. To form a system model of the GTE resource, a technical task for the development of the product is taken.

**Keywords:** digital twin; system model; GTE resource; life cycle; automated information technology.

## ФОРМИРОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ И ЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ, ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ ОБЪЕКТОМ, ПРЕДМЕТОМ И ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ

Х. С. Гумеров <sup>a</sup>, Г. Г. Куликов <sup>b</sup>, К. А. Ризванов <sup>c</sup>

*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)*

*<sup>a</sup> profgumerov@yandex.ru, <sup>b</sup> gennadyg\_98@yahoo.com, <sup>c</sup> rizvanovk@bk.ru*

*Поступила в редакцию 01.08.2022*

**Аннотация.** В рамках ранее разработанной концепции формирования цифровых двойников предлагается ввести семантические и логические ограничения предметной области на примере формирования системной модели ресурса как объекта в предметной области создания ГТД. Разработана структура автоматизированной информационной технологии формализации знаний экспертов по исследуемой предметной области. Приводится методология системного моделирования наукоемких сложных проектов в пространстве 3D-4D с учетом жизненного цикла. Формирование системной модели ресурса ГТД начинается с технического предложения на его разработку.

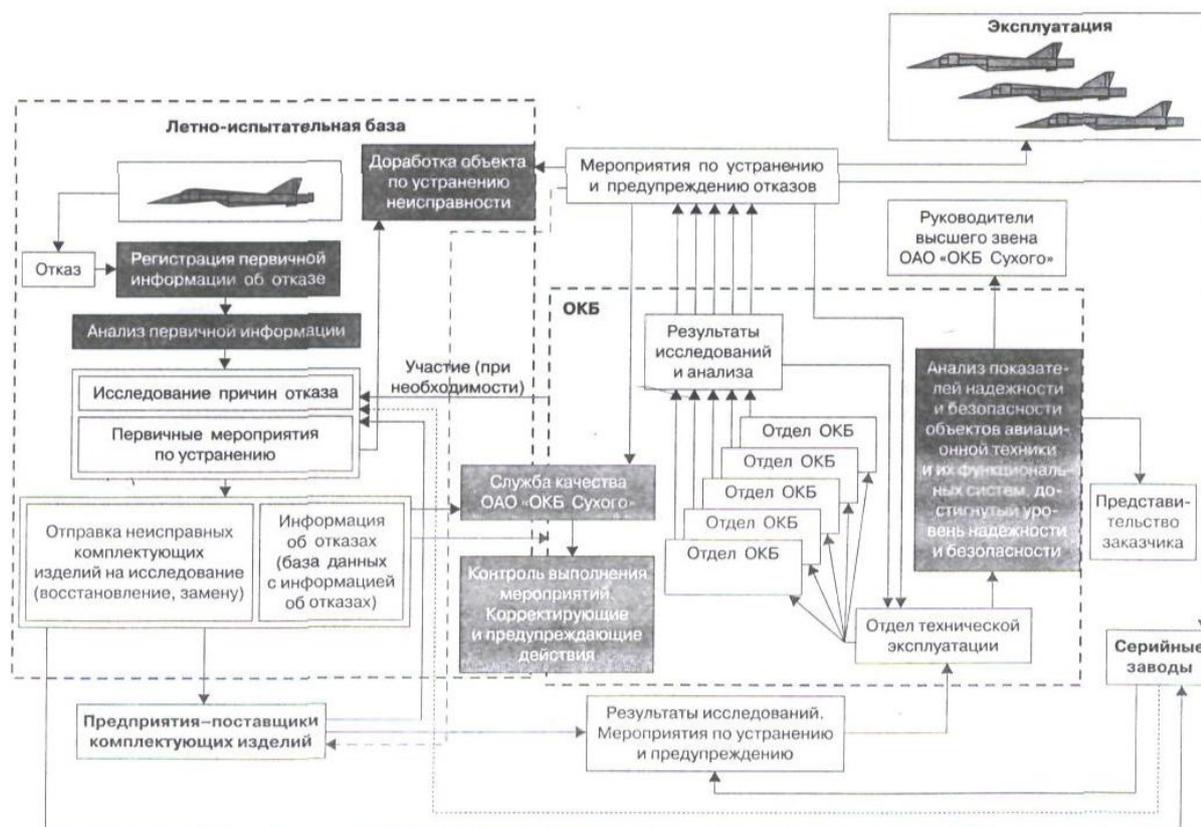
**Ключевые слова:** ГТД; цифровой двойник; системная модель; технический ресурс ГТД; жизненный цикл ГТД; автоматизированная информационная технология.

## ВВЕДЕНИЕ

Не сложно показать, что процессы технического проектирования новых объектов и процессы их диссертационных исследований в расширенных (новых) предметных областях практически тождественны. Они начинаются с извлечения и формализации экспертных знаний специалистов в исследуемой предметной области. Продемонстрируем это на примере формирования системной модели технического ресурса в предметной области создания газотурбинного двигателя (ГТД). Положим, что эта задача на предпроектном и проектном уровнях будет решаться параллельно и путем диссертационного исследования и оформляться в форме научно-технического отчета и диссертации. Пусть носителями знаний и опыта в данной предметной области выступают профессора (ранее ведущие конструктора ОКБ двигателестроения и электронного агрегатостроения). Их начальный диалог по общему анализу проектного и диссертационного исследования в указанной выше предметной области после записи был формализован в виде слабоструктурированного системного описания [1, 2].

Далее увеличим степень формализации путем разработки автоматизированной информационной технологии знаний экспертов по исследуемой специфике предметной области и знаний, содержащихся в самой предметной области. Например, в контексте опыта создания в КБ «Мотор» и в УНПП «Молния» изделий 95Ш, 55, КР и их ЭСУ. Такая постановка задачи соответствует технологии извлечения экспертных знаний или формализации знаний экспертным путем из исследуемой предметной области. Главная проблема – это определение границ исследуемой предметной области и выбор экспертов.

*Ключевые идеи.* Определим контекст исследуемой предметной области множеством вопросов, связанных с назначением, расходом, контролем технического ресурса двигателя и его агрегатов в процессе его жизненного цикла (ЖЦ) [3-5]. На рис. 1 приведена организационно-функциональная схема верхнего уровня применения ГТД в составе самолетов фирмы Сухого.



**Рис. 1.** Организационно-функциональная схема верхнего уровня эксплуатации ГТД в составе самолетов фирмы Сухого

## РЕСУРС ГТД

Ресурс (назначенный, остаточный и др.) – это система, включающая взаимосвязанные параметры ресурсов горячей части двигателя, ресурсов агрегатов и т.д., их учет и анализ по этапам ЖЦ. Одна из базовых задач учета и анализа указанных параметров – это учет и анализ параметров остаточного ресурса [2].

Практический опыт показывает, что продление ресурса ГТД происходит на основе анализа данных ГТД, испытательных стендах предприятия [6]. На рис. 2 приведена мнемосхема проведения испытания ГТД.

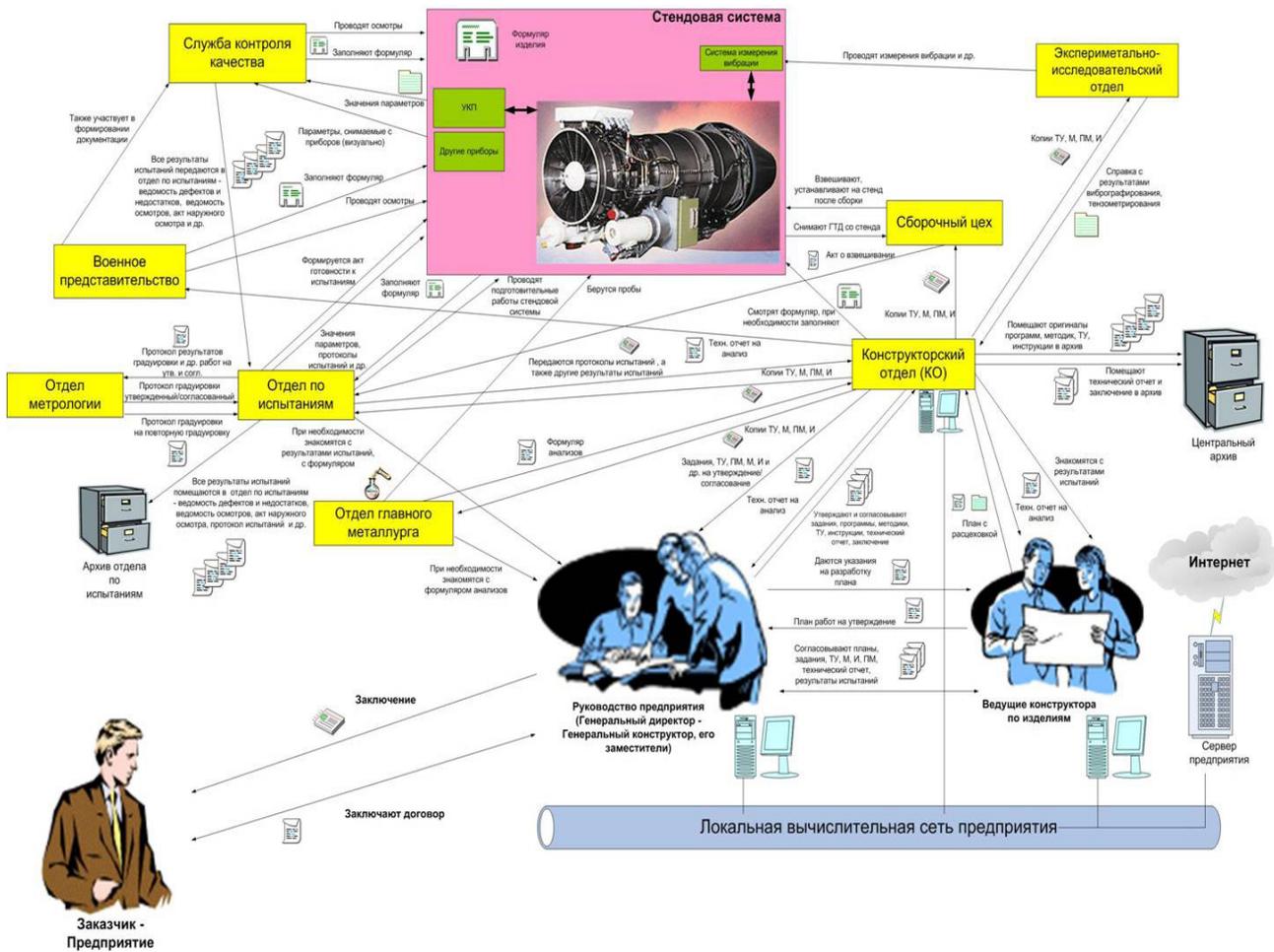


Рис. 2. Мнемосхема продления ресурса при проведении испытания ГТД

Анализ нормативной документации показывает, что организация эксплуатации самолета определяет основные правила для эксплуатации ГТД в составе самолета. На рис. 3 приведена типовая мнемосхема организации эксплуатации по состоянию ГТД в составе самолета.

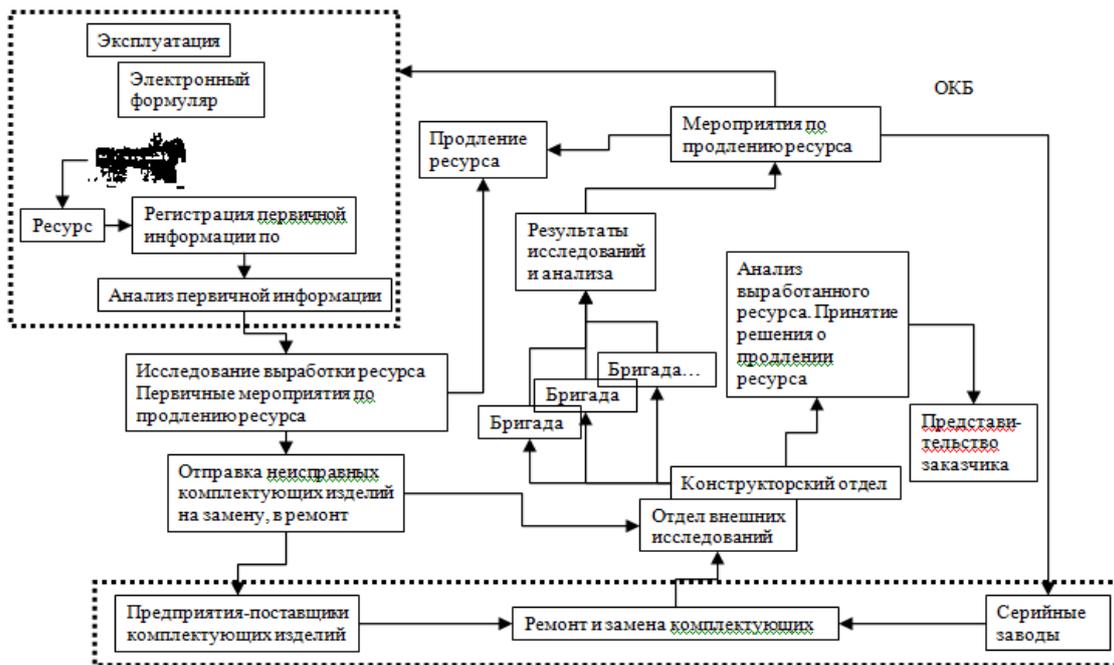


Рис. 3. Схема организации эксплуатации по состоянию ГТД для самолета

### ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС

Программно-аппаратный комплекс для регистрации параметров, разработанный для оценки остаточного ресурса ГТД 95Ш, 195, приведен на рис. 4. Регистрируются установившиеся и переходные режимы в реальном времени на этапе эксплуатации. Это по сути открывает возможность построения цифрового двойника для оценки остаточного ресурса для эксплуатации ГТД по состоянию.



Рис. 4. Программно-аппаратный комплекс ПАК-ДК-95Ш, 195

Отметим, что этот опыт и знания в обобщенном виде существуют и в памяти эксперта, и может быть извлечен и структурирован в форме системной модели. Эти виртуальные фрагменты опыта являются элементами знания из предметной области. Это соответствует разным аспектам представления виртуальных знаний и опыта.

Данные рассуждения являются одновременно объективными и виртуальными. Полагаем, что информация о различных аспектах исследуемой предметной области существует в интернет или интранет пространстве. Отметим, что различные информационные системы по своим правилам ее структурируют и идентифицируют для хранения, поиска и т.д. При этом большая часть сопутствующей информации, которая на данный момент не актуальна, аккумулируется в информационные архивы. При необходимости осуществляется извлечение и поиск нужной информации в соответствии с моделью знаний в вопросе, как правило, в вербальной форме. Решается задача извлечения дополнительных знаний, содержащихся в вопросе (или их расширение). При определенных объемах дополнительных знаний возможно их структурирование и интеграция с моделью знаний, содержащихся в вопросе. Это соотносится с действием общего закона предельной эффективности.

Действительно, архивы ОКБ хранят множество различных вариантов проработки технических решений, хотя, как правило, анализируется только один.

Сегодня можно в доступной форме формализовать опыт эксперта с момента задания требуемых показателей системной модели ресурса в техническом предложении и техническом задании на разработку.

Сформулированную идею целесообразно рассматривать в качестве алгоритма процесса формирования технического решения на создание системы в целом и ее подсистем.

Это общий подход декомпозиции (детализации) технических решений. Например, для конкретной исследуемой задачи формирования технического ресурса ГТД виртуально создается системная модель, начиная с этапа технического задания, которая усовершенствуется на последующих этапах ЖЦ.

*Определение границ искомых решений.* Например, полагаем, что существуют два технических задания для 95Ш и 55, это два разных объекта, для которых возможно построение системных моделей их технических ресурсов.

Конечно, первые оценки сравнения будут ориентировочные. Однако это начало процесса формирования системной модели ресурса. Это относится к виртуальному отображению объективных знаний. Сегодня эти знания можно дополнять (расширять) данными с помощью поисковых информационных систем в предметно-ориентированных областях. Информационные системы соответствуют приведенной выше логике исследований.

Так, например, знания о техническом ресурсе, оформленные в виде отдельного файла или в виде отдельной папки, могут быть автоматизировано использованы для расширения начальных баз знаний и данных из исследуемой предметной области.

Обобщая методологию системного моделирования, отметим, что она не противоречит общей методологии 3D-4D проектирования, которую можно считать частью исследуемой предметной области создания ГТД.

При таком подходе создание ГТД его 3D модели определит статическую составляющую системной модели, т.е. его геометрическую модель. Динамическая составляющая – это изменения его параметров во времени. Такие свойства определяют системную модель, как модель цифрового двойника. Можно отметить также, что спецификации, в свою очередь, определяют структуру информационной модели цифрового двойника. Такую системную модель предлагается назвать уже компьютерной моделью цифрового двойника. В нее входит и структура математической модели ЖЦ. Так на начальном этапе принятые объемы знаний будут изменяться на последующих этапах ЖЦ (см. рис. 5).

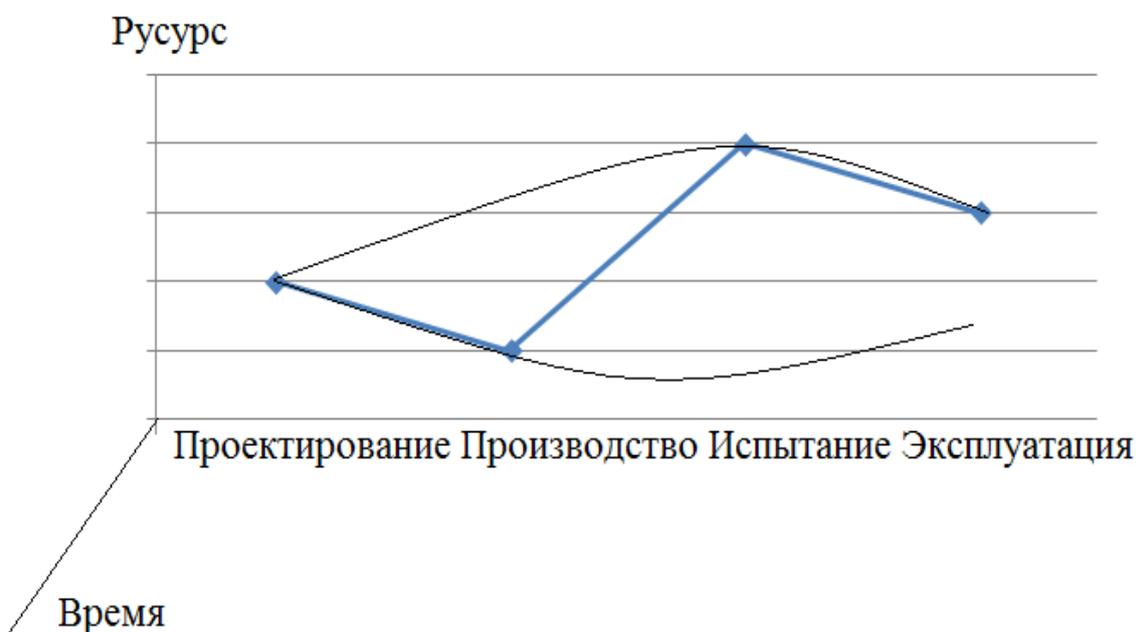


Рис. 5. График изменения остаточного ресурса на этапах жизненного цикла

Свойства системной модели, заложенные при проектировании и дополненные во время производства и испытания, будут дополняться данными. Эта методология не противоречит базовым положениям цифровых двойников, определяемых принятыми стандартами [7–9]. Данный подход соответствует модельной гипотезе формирования знаний. Далее целесообразно построить информационную систему, которая сохраняет и отображает анализируемую информацию об изделии или его элементах. В рассмотренном примере это информация о техническом ресурсе ГТД в течении его ЖЦ.

Системная модель реального процесса (проектного, организационного, эксплуатационного и т.д.) для ее цифрового хранения, передачи, анализа, преобразования и др. трансформируется (преобразуется) в файл или несколько файлов в папку, несколько папок в том и т.д. Это аналогично структуре организации библиотеки и ее каталогов (алфавитного, тематического и др.). Соответственно формируются правила поиска, извлечения передачи, преобразования системных моделей. Это предметно-ориентированные электронные библиотеки. В целом это отражение свойства двойственности реального и виртуального состояния системных моделей. Дальнейшее виртуальное агрегирование и формализация различных аспектов системных моделей осуществляется в форме цифровых двойников. Для их хранения и интеллектуальной работы с ними создаются предметно-ориентированные цифровые тома библиотеки [10–13].

Это тождественно структуре организации электронной энциклопедии Wikipedia (см. рис. 6), в которой открыта возможность создания локальных (предметно-ориентированных) энциклопедий, например, по тепловым двигателям на основе знаний экспертов по предложенной выше методологии.

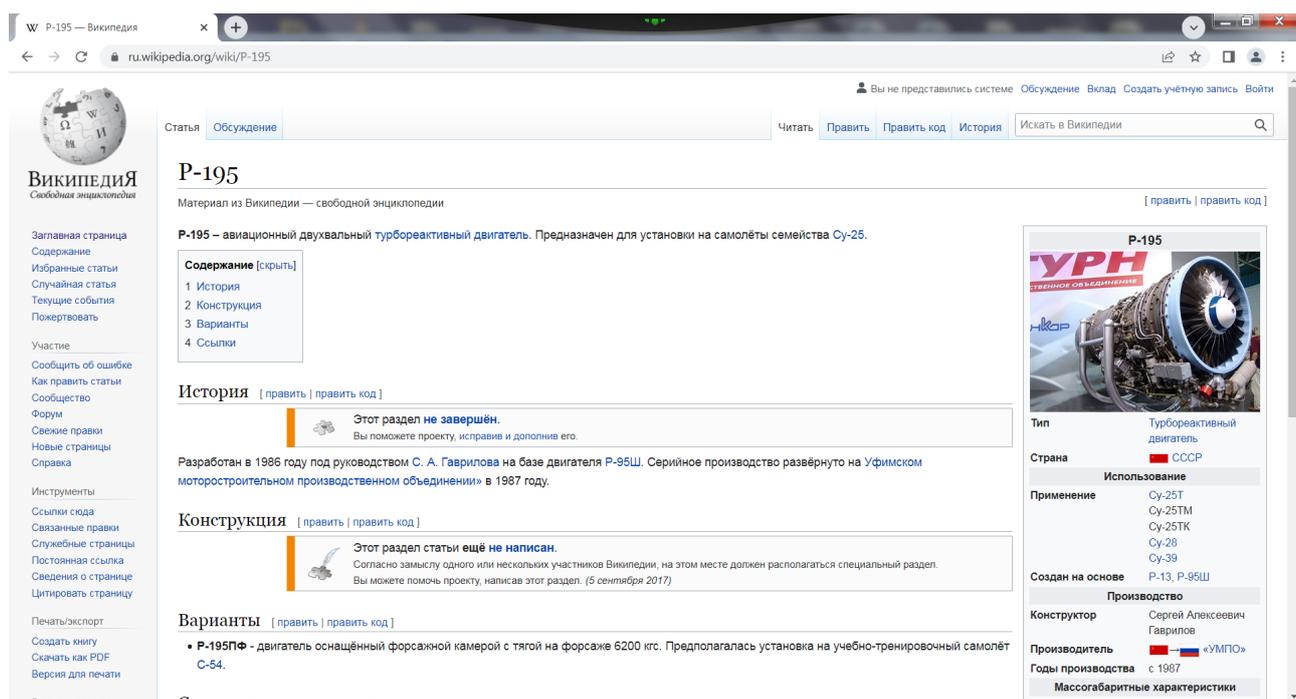


Рис. 6. Организация электронной энциклопедии Wikipedia

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье сформированы семантические и лингвистические ограничения исследуемой предметной области, определяемой объектом, предметом и целью исследования на основе знаний и опыта экспертов.

Показано, что знания и опыт экспертов в исследуемой предметно-ориентированной области целесообразно формализовать в цифровом виде в форме вербальной (текстовой), системной, математической, компьютерной моделей в составе цифрового двойника объекта.

На примере системной модели технического ресурса показано, что определение и построение соответствующего цифрового двойника в исследуемой предметно-ориентированной области позволяет контролировать и управлять техническим ресурсом, как объектом управления, в течении всего ЖЦ ГТД.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов Г. Г., Речкалов А. В., Артюхов А. В. Методология системного моделирования адаптивного управления машиностроительным производством // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2020. Т. 20, № 4. С. 115–125. DOI: 10.14529/ctcr200412. [ G. G. Kulikov, A. V. Rechkalov, A. V. Artyukhov, "Methodology of system modeling of adaptive management of machine-building production", (in Russian), in *Vestnik YuUrGU. Seriya "Komputernye tehnologii, upravlenie, radioelektronika"*, vol. 20, no. 4, pp. 115-125, 2020. DOI: 10.14529/ctcr200412. ]

2. Логиновский О. В., Ризванов К. А., Куликов Г. Г. Применение BI-принципов в гейтовой системе управления проектом создания цифрового двойника ГТД // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2020. Т. 20, № 1. С. 16–26. DOI: 10.14529/ctcr200102. [ O. V. Loginovskiy, K. A. Rizvanov, G. G. Kulikov, "Application of BI-principles in the gate project management system to create a digital twin of the GTE", (in Russian), in *Vestnik YuUrGU. Seriya "Komp'yuternye tehnologii, upravlenie, radioelektronika"*, vol. 20, no. 1, pp. 16-26, 2020. DOI: 10.14529/ctcr200102. ]

3. Скибин В. А. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (Аналитический обзор) / под общ. ред. В. А. Скибина, В. И. Солониной. М.: ЦИАМ, 2004. 424 с. [ V. A. Skibin, *Works of leading aircraft engine companies on the creation of promising aircraft engines (Analytical review) / under the general*, (in Russian). V. A. Skibina, V. I. Solonin (eds.). Moscow: CIAM, 2004. ]

4. Кеба И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей. М.: Транспорт, 1980. 248 с. [ I. V. Keba, *Diagnostics of aircraft gas turbine engines*, (in Russian). Moscow: Transport, 1980. ]

5. Мокроус М. Ф. Применение методов диагностической обработки и анализа термогазодинамических параметров при стендовых испытаниях авиационных ГТД // Испытания авиационных двигателей: межвуз. науч. сб. Уфа: УАИ, 1977. № 5.

С. 29–34. [ М. Ф. Mokrous, “Application of methods of diagnostic processing and analysis of thermogasdynamic parameters during bench tests of aircraft gas turbine engines”, (in Russian), in *Testing of aircraft engines: interuniversity sci-entific sat.* Ufa: UAI, 1977. No. 5. ]

6. **Научно-исследовательская** и экспериментальная работа по разработке методов и программного обеспечения анализа состояния двигателя Р95Ш / Х. С. Гумеров [и др.] // Науч.-техн. отчет (заключительный). Уфа: УГАТУ, 2004. [ Kh. S. Gumerov, *et al.*, “Research and experimental work on the development of methods and software for analyzing the state of the R95Sh engine”, (in Russian), *Nauch.-tekhn. report (final)*. Ufa: UGATU, 2004. ]

7. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288–2005.** Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. М.: Стандартинформ, 2006. 57 с. [ *Information technology. System engineering. The process of the systems life cycle. Requirements*, (in Russian), Federal standard R ISO/IEC 15288-2005, Moscow, Standartinform, 2006. ]

8. **ГОСТ Р 53791-2010.** Ресурсосбережение. Стадии жизненного цикла изделий производственно-технического назначения. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2018. 8 с. [ *Resource saving. Stages of the life cycle of products for industrial and technical purposes. General provisions*, (in Russian), Federal Standart R 53791-2010, Moscow: Standartinform, 2018. ]

9. **ГОСТ Р ИСО 15531-1-2008.** Промышленные автоматизированные системы и интеграция. Данные по управлению промышленным производством. Часть 1. Общий обзор. М.: Стандартинформ, 2008. 20 с. [ *Industrial automation systems and integration. Industrial manufacturing management data. Part 1. General overview*, (in Russian), Federal Standart R ISO 15531-1-2008, Moscow, Standartinform, 2008. ]

10. **Прохоров А., Лысачев М., Боровков А.** Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: ООО «АльянсПринт», 2020. 401 с. [ A. Prokhorov, M. Lysachev, A. Borovkov, *Digital twin. Analysis, trends, world experience*, (in Russian). Moscow: ООО “AlyansPrint”, 2020. ]

11. **Цифровые** двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК / А. И. Боровков [и др.] // Вестник Восточно-Сибирской открытой академии. 2019. № 32. С. 1–39. [ A. I. Borovkov, *et al.*, “Digital twins and digital transformation of defense industry enterprises”, (in Russian), in *Vestnik Vostochno-Sibirskoy otkrytoy akademii*, no. 32, pp. 1-39, 2019. ]

12. **Baklacioglu T., Turan O., Aydin H.** Dynamic modeling of exergy efficiency of turboprop engine components using hybrid genetic algorithm-artificial neural net-works // *Energy*. 2015. Vol. 86. Pp. 709-721.

13. **ПНСТ 429-2020.** Умное производство. Двойники цифровые производства. Часть 1. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2020. 8 с. [ *Smart manufacturing. Digital manufacturing twins. Part 1. General principles*, (in Russian), Preliminary National Standard 429-2020, Moscow, Standartinform, 2020. ]

#### ОБ АВТОРАХ

**ГУМЕРОВ Хайдар Сагитович**, д-р техн. наук, проф. каф. авиационных двигателей (УГАТУ).

**КУЛИКОВ Геннадий Григорьевич**, д-р техн. наук, проф. каф. автоматизированных систем управления (УГАТУ).

**РИЗВАНОВ Константин Анварович**, канд. техн. наук, доц. каф. автоматизированных систем управления (УГАТУ).

**GUMEROV, Haidar Sagitovich**, Dr. of Tech. Sci., Prof., Dept. of Aircraft Engines (USATU).

**KULIKOV, Gennady Grigorievich**, Dr. of Tech. Sci., Prof., Dept. of Automated Control Systems (USATU).

**RIZVANOV, Konstantin Anvarovich**, Cand. of Tech. Sci., Assoc. Prof., Dept. of Automated Control Systems (USATU).

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 26, no. 3 (97), pp. 138-145, 2022. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).