

# Моделирование жизненного цикла сложного технического объекта на основе концепции больших данных

Н.В. Кондратьева  
knv24@mail.ru

С.С. Валеев  
vss2000@mail.ru

Уфимский государственный авиационный технический университет (Уфа)

## Аннотация

Рассматриваются большие технические системы, имеющие длительный и сложный жизненный цикл, состоящий из множества взаимосвязанных жизненных циклов подсистем. В этом классе систем обсуждается построение модели для авиационной индустрии, включающей индустрию проектирования, разработки объектов авиационной техники и инфраструктурных объектов (аэродромы, аэропорты, предприятия и т.п.) и их испытания; производственную индустрию объектов летной техники и инфраструктурных объектов; эксплуатационную индустрию, связанную с эксплуатацией объектов авиационной техники и инфраструктурных объектов. Показана необходимость разработки информационных систем сбора, хранения, передачи и обработки данных на основе технологий больших данных, что позволит реализовать идею разработки информационной модели жизненного цикла сложной технической системы.

**Ключевые слова:** моделирование; жизненный цикл; сложная техническая система; большие данные.

## 1 Введение

К сложным техническим системам относят технические системы, состоящие из множества технических подсистем различного вида: динамические объекты, организационно-технические системы, информационно-коммуникационные системы [1]. На рис. 1 представлена транспортная триада, включающая систему воздушного транспорта, систему наземного транспорта и систему морского транспорта [2]. Система воздушного транспорта включает самолеты различного вида. Газотурбинный двигатель самолета включает в себя ряд сложных технических подсистем: входное устройство, компрессор, камеру сгорания, турбину, масляную систему и т.п. [3]. Каждая из подсистем включает в себя множество высокотехнологических компонент. Разработка, производство, отладка, эксплуатация и утилизация которых объединены в единый непрерывный процесс, длящийся несколько десятков лет. Период жизни технического объекта, включающего этап разработки, производства и утилизации называют его жизненным циклом [4]. В ходе реализации жизненного цикла технического объекта генерируется, передается, хранится и обрабатывается большой объем различной информации. Особенностью рассматриваемой задачи прикладной информатики

---

*Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes.*

In: G.A. Timofeeva, A.V. Martynenko (eds.): Proceedings of 3rd Russian Conference "Mathematical Modeling and Information Technologies" (MMIT 2016), Yekaterinburg, Russia, 16-Nov-2016, published at <http://ceur-ws.org>

является необходимость учета сбора данных в on-line режиме и высокую ценность получаемой информации с учетом ее уникальности. Значимость решения этой задачи определяется возможностью извлечения новой информации о состоянии технического объекта и построения универсальных моделей жизненного цикла технического объекта [5,6].

Каждый этап жизненного цикла технической системы характеризуется своими особенностями с точки зрения прикладной информатики [7].

На этапе проектирования большой объем информации получают на полунатурных и натуральных стендах. Особенностью сбора и обработки данных на этом этапе является необходимость решения задачи обработки данных, получаемых с большого набора различных датчиков, использованием алгоритмов комплексирования информации, алгоритмов фильтрации данных в реальном масштабе времени [8].

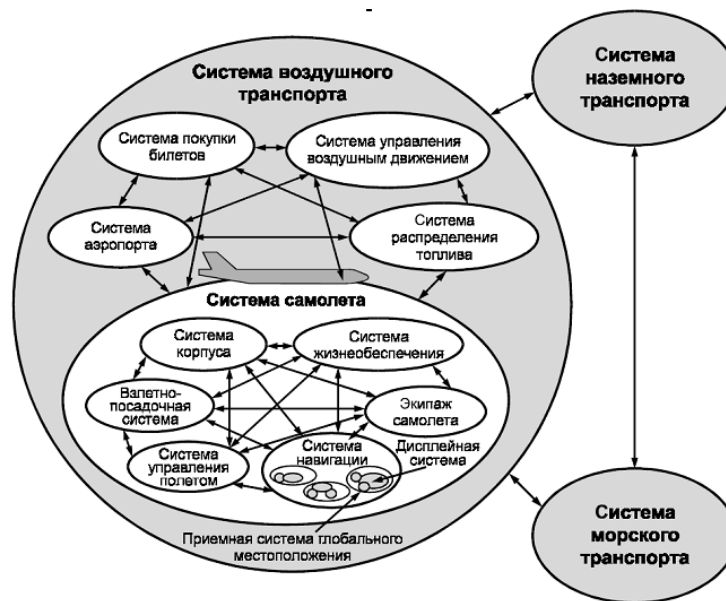


Рис. 1: Транспортная триада

На этапе производства в ERP-системах собирается и накапливается уникальная информация о ходе производственных процессов. Эффективное использование данной информации позволяет повысить оптимизировать производственные процессы [3].

Как известно, к динамическим объектам в авиации предъявляются чрезвычайно высокие требования к их эксплуатационным характеристикам, надежности и эффективности [1]. Неотъемлемой частью сложного динамического объекта является система управления, отражающая сложность объекта управления, тем самым возникает новая задача сбора, хранения и обработки большого объема информации о системе управления [2]. При решении задач обеспечения заданных требований к инфраструктурным объектам в авиации, являющихся частью авиационной индустрии, также требуется сбор и обработка большого объема данных, в том числе, в реальном масштабе времени [7].

Тем самым построение модели жизненного цикла сложной технической системы не является тривиальной задачей и требует использования всей совокупности разнородной информации, хранящейся в разнотипных информационных системах.

## 2 Концепция обработки больших массивов данных на различных этапах жизненного цикла системы

Большие системы имеют длительный и сложный жизненный цикл, состоящий из множества взаимосвязанных жизненных циклов подсистем. К классу больших систем, безусловно, можно отнести авиационную индустрию, включающую индустрию проектирования, разработки объектов авиационной техники и инфраструктурных объектов (аэродромы, аэропорты и т.п.) и их испытания; производственную индустрию объектов летной техники и инфраструктурных объектов; эксплуатационную индустрию, связанную с эксплуатацией объектов авиационной техники и инфраструктурных объектов.

Неотъемлемой частью авиационной индустрии является высококвалифицированный кадровый состав, который имеет свой жизненный цикл. Для оптимизации бизнес-процессов и их синхронизации при достижении основных целей индустрии требуется сбор, хранение, передача и анализ всей доступной информации, представленной в виде значительных по объемам неоднородных массивов данных. Объемы этих данных настолько велики, что можно говорить о возникновении проблемы больших данных [5]. Более того, с учетом сложности информационной инфраструктуры авиационной индустрии, в которой генерируются и аккумулируются огромные объемы различных данных, в том числе и реальном масштабе времени, можно говорить о существовании проблемы эффективного использования сверхбольших объемов данных для построения модели индустрии.

Следует выделить ряд нерешенных задач, связанных с проблемой больших данных:

- разработка методов и алгоритмов обработки данных летных испытаний на этапе проектирования;
- разработка методов и алгоритмов обработки данных стендовых испытаний на этапе доводки изделия;
- разработка методов и алгоритмов обработки данных в системах управления сложными техническими объектами при их настройке и эксплуатации;
- разработка моделей обработки больших данных, ориентированных на применение в авиации;
- разработка методов и алгоритмов обработки данных при производстве объектов авиационной техники;
- подготовка и переподготовка квалифицированных специалистов в области технологий больших данных в авиации.

Список представленных задач не является исчерпывающим в рамках рассматриваемого нами направления. Рассмотрим особенности решения задач обработки больших данных в авиационной индустрии в рамках концепции жизненного цикла больших систем.

Генераторами потоков разнородных данных в реальном масштабе времени являются различные датчики и устройства летательных аппаратов. Например, отмечается, что системы управления газотурбинными двигателями самолета могут генерировать каждый час во время полета массив данных объемом до десятков Тбайт. Особенностью рассматриваемой задачи является необходимость учета получения данных в реальном масштабе времени и безусловную ценность получаемой информации с учетом ее уникальности. Сложность решения этой задачи обусловлена необходимостью извлечения новой информации о состоянии динамического объекта, т.е. необходимости разработки моделей знаний с учетом особенностей динамического объекта.

На этапах проектирования сложных динамических объектов большой объем информации получают на полунатурных и натуральных стендах. Особенностью процессов сбора, хранения и обработки данных на данном этапе жизненного цикла является необходимость решения задач комплексирования информации, фильтрации данных в реальном масштабе времени.

На этапах производства собирается и накапливается уникальная информация о ходе производственного процесса в различных ERP-системах. Использование данной информации позволяет строить модели производственных процессов.

Важное место на этапе проектирования в рамках стандартизации проектных решений на основе идеи открытых систем занимает внедрение CALS-технологий, образующих базис для создания и использования единой информационной среды на этапах проектирования, производства, испытаний, и эксплуатации [8].

Таким образом, предлагаемый подход требует организации обработки больших и сверхбольших объемов информации, как в масштабе производства, так и в масштабе индустрии.

В рамках рассматриваемых задач требуется использовать сложные функции и технологии обработки мощных информационных потоков :

- интеллектуальный анализ данных (Data Mining) как инструмент анализа информационных потоков;
- технологии хранилищ большого количества неструктурированных и слабоструктурированных данных;
- методы прогнозирования и оптимизации процессов в области авиационной индустрии;
- высокотехнологичные инструменты и оборудование для обеспечения информационной поддержки авиационной индустрии;
- методы и алгоритмы разработки эталонной модели авиационной индустрии.

Рассматриваемые технологии и методы могут быть реализованы с помощью взаимосвязанных информационных и коммуникационных систем на основе программных мультиагентных технологий. Мультиагентный подход в данном случае предполагается реализация эталонной модели жизненного цикла авиационной индустрии. В настоящее время этот подход эффективно применяется для оптимизации бизнес-процессов, а также в системах управления и контроля сложных организационно-технических систем [4].

### 3 Модель ресурсных испытаний газотурбинного двигателя на основе больших данных

Авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) - сложные технические системы, состоящие из нескольких тысяч деталей и узлов. Состояние двигателя в процессе испытаний и эксплуатации характеризуется множеством разнородных параметров, получаемых с интервалом от нескольких секунд до нескольких минут. Помимо этого, в ERP-системах фиксируются данные о финансовых показателях эффективности изделия на различных этапах жизненного цикла. Объем данных, получаемых в течение жизненного цикла ГТД, измеряется терабайтами и петабайтами. Таким образом, актуальной задачей является обработка этой информации на основе технологий Big Data с целью построения прогнозных моделей на этапе испытаний двигателя в ходе доводки и производства [1].

Повышение эффективности дорогостоящих ресурсных испытаний авиационных ГТД возможно за счет использования при их обосновании результатов имитационного моделирования жизненного цикла двигателя. В качестве критерия эффективности ресурсных испытаний могут выступать такие показатели как абсолютный показатель эффективности капитальных вложений, годовые эксплуатационные издержки, рентабельность и прибыль от реализации двигателей, минимум удельных затрат, обусловленных износом, затраты на эксплуатацию двигателя, оцениваемые наработкой на отказ, приведенные затраты на эксплуатацию двигателя, годовой экономический эффект от повышения надежности двигателя и др.[2].

Связь экономической эффективности изделия с параметрами ресурсных испытаний возможна также через другие показатели, характеризующие эффект от повышения надежности: безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость, долговечность, а также комплексные показатели, например, коэффициент готовности и т. д. (рис. 2).

По мере фактического продвижения двигателя по этапам жизненного цикла и соответствующего уточнения и детализации информации о состоянии двигателя уточняется и значение выбранного критерия эффективности. Для обоснования ресурсных испытаний авиационного ГТД в рамках жизненного цикла изделия необходимо решать ряд следующих основных последовательных задач:

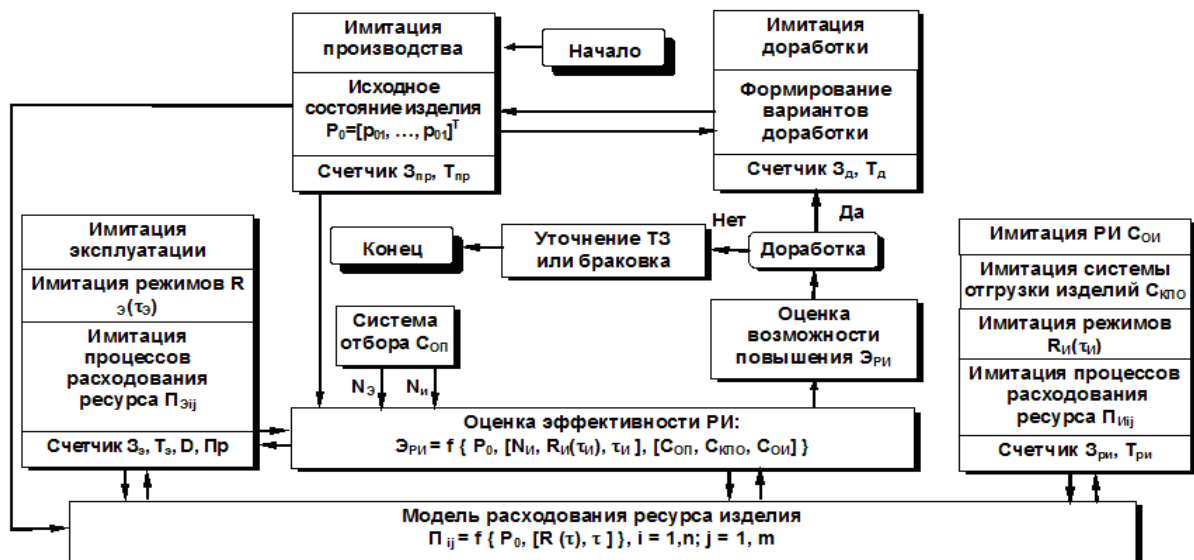
- обосновать выбор критерия эффективности ресурсных испытаний изделия;
- определить параметры жизненного цикла двигателя, которые необходимо учесть в имитационной модели;
- выбрать инструмент моделирования и разработать имитационную модель жизненного цикла;
- провести серию имитационных компьютерных экспериментов по разработанному плану;
- определить оптимальные значения параметров ресурсных испытаний на основе результатов моделирования ЖЦ.

Для сложных технических объектов типа авиационных ГТД, в зависимости от объема имеющейся исходной информации, могут применяться различные схемы имитационного моделирования при эксплуатации по фиксированному ресурсу и эксплуатации по техническому состоянию.

Одним из основных факторов, ограничивающих возможность создания имитационной модели жизненного цикла двигателя для выбора параметров ресурсных испытаний, является сложность оценки критерия эффективности ресурсных испытаний.

В общем случае, под суммарными затратами понимают затраты, связанные с потреблением всех видов ресурсов в стоимостном выражении, с момента начала работ по исследованию и разработке двигателя до момента окончания работ по снятию его с эксплуатации. Причиной такого рода проблем в первую очередь является необходимость предварительной обработки больших объемов разнородной информации, собираемой на различных этапах жизненного цикла сложного технического изделия.

В данном случае эффективным инструментом хранения и анализа информации о жизненном цикле могут служить технологии Big Data. Например, препроцессор MapReduce позволяет выполнять пакетные запросы к базе данных, что весьма значительно сокращает время обработки данных. Система Hadoop эффективно управляет распределенными ресурсами на основе потокового доступа к данным. Упомянутые



$N_з, N_и$  - количество изготовленных и испытываемых изделий;  $N_э$  - размер партии, подготовленной к выпуску в эксплуатацию;  $Z_пр, Z_д, Z_ри, Z_э$  - затраты соответственно на производство, доработку, РИ и эксплуатацию;  $T_пр, T_д, T_ри$  - длительность процессов соответственно производства, доработки и проведения РИ;  $T_э$  - суммарная наработка изделий в эксплуатации;  $D$  - доход;  $Пр$  - прибыль от эксплуатации партии изделий;  $TЗ$  - техническое задание

Рис. 2: Формирование имитационной модели

технологии применимы для предварительной обработки, как исходных данных модели, так и результатов имитационного моделирования.

#### 4 Обобщенная схема управления авиационной индустрией на основе больших данных

Как отмечалось ранее, информационные потоки в распределенной системе управления авиационной индустрией имеют большую мощность (рис. 3). Они должны быть переданы в режиме реального времени, в то время как информация имеет весьма разнообразную и сложную структуру. Имея это в виду, практическое внедрение информационной системы управления для авиационной индустрии на основе эталонной модели также является трудной задачей.

Для того чтобы сократить время обработки данных и время принятия решений, предполагается использовать технологии обработки больших данных совместно с облачными вычислениями. Предварительно обработанные результаты моделирования, реализованные на уровне планирования системы управления, а также информация, поступающая от сенсоров на исполнительном уровне, по каналам высокоскоростной связи передается в «облако» в виде массивов больших объемов данных.

Использование различных облачных сервисов также открывает дополнительные возможности для повышения эффективности принятия решений на уровне планирования.

Внедрение и применение технологии больших данных требует подготовки специалистов, владеющих широким спектром компетенций в данной предметной области. Следует отметить, что в настоящее время в данном направлении не ведется подготовка разработчиков и инженеров, что сдерживает внедрение технологий больших данных в авиационной индустрии. Решение этой задачи позволило бы обеспечить эффективное использование имеющихся наработок в области больших данных, приобретение профильных знаний, умений и навыков будущими специалистами для формирования у них новых компетенций в области анализа и синтеза сложных организационно-технических систем.

#### 5 Заключение

Большие технические системы имеют длительный и сложный жизненный цикл, состоящий из множества взаимосвязанных жизненных циклов подсистем. В этом классе систем рассмотрена авиационная

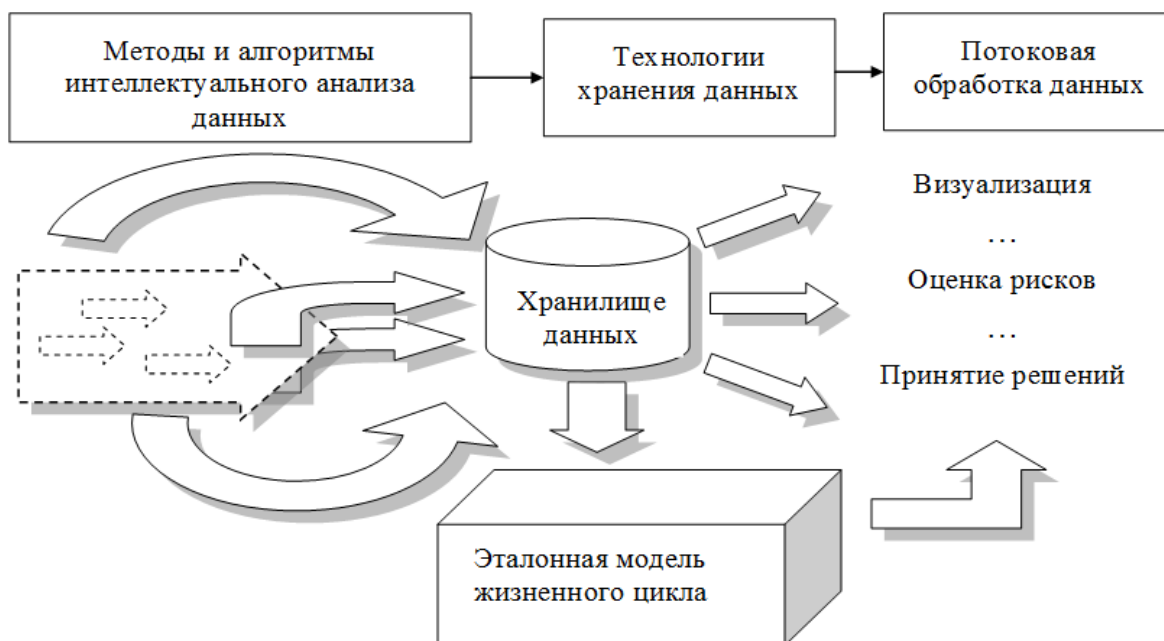


Рис. 3: Обобщенная схема потоков данных

индустрия, включающая индустрию проектирования, разработки объектов авиационной техники и инфраструктурных объектов (аэродромы, аэропорты и т.п.) и их испытания; производственную индустрию объектов летной техники и инфраструктурных объектов; эксплуатационную индустрию, связанную с эксплуатацией объектов авиационной техники и инфраструктурных объектов. Показана необходимость разработки информационных систем сбора, хранения, передачи и обработки данных на основе технологий больших данных, что позволит реализовать идею разработки информационной модели жизненного цикла сложной технической системы.

## Список литературы

- [1] A. Guichvarov, N. Kondratieva Technical and economic assessment of aircraft engines fatigue testing on base of simulation modeling. *Proc. of AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conf. and Exhibit*, AIAA-2001-3817, 2001.
- [2] N. V. Kondratyeva, S. S. Valeev. Fatigue test optimization for complex technical system on the basis of lifecycle modeling and big data concept. *Proc. of 2016 IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2016)*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.: 75-78, 2016.
- [3] A. Adamov. The Truth about Cloud Computing as new Paradigm in IT. *Proc. of the 3rd IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2009)*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.: 46-51, 2009.
- [4] G. Smorodin, O. Kolesnichenko. Big Data as the big game changer: Big Data-driven world needs Big Data driven ideology. *Proc. of The 9th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2015)*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.: 40-43, 2015.
- [5] Data Science and Big Data Analytics: Discovering, Analyzing, Visualizing and Presenting Data. Eds. EMC Education Services. Indianapolis: Wiley and Sons, Inc., 2015.

- [6] [6] Information Storage and Management: Storing, Managing, and Protecting Digital Information in Classic, Virtualized, and Cloud Environments. 2nd ed., Eds. EMC Education Services. Indianapolis: Wiley and Sons, Inc., 2015.
- [7] S. S. Valeev. Big Data technologies in aviation. *In Proc. of the 2nd International Conference Information Technologies for Intelligent Decision Making Support*. Ufa, USATU: 150-152, 2014.
- [8] S. S. Valeev, N. V. Kondratyeva. Reference model for large scale industry management based on Big Data concept. *In Proc. of the 4th International Conference Information Technologies for Intelligent Decision Making Support*. Ufa, USATU, (1): 15-18, 2016.

# Simulation of the life cycle of a complex technical object within the concept of Big Data

*Natalia V. Kondratyeva*

Ufa State Aviation Technical University (Ufa, Russia)

*Sagit S. Valeev*

Ufa State Aviation Technical University (Ufa, Russia)

**Abstract.** We consider the large technical systems have a long and complex life cycle, consisting of a set of interrelated subsystems life cycle. In this class of systems, it is proposed to construct a model for the aviation industry, including industry design, development of aeronautical engineering facilities and infrastructure (airports, enterprises, etc.) and their testing; manufacturing industry of flying objects equipment and infrastructure; operational industry related to the operation of facilities of aviation technology and infrastructure. Necessity of the development of information systems for collecting, storing, and processing data based on big data technologies is shown that will allow to realize the idea of developing an information model of a complex technical system life cycle.

**Keywords:** modelling; life cycle; complex technical system; big data.