

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ДВУХ КЛАССОВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ С РАЗВИТОЙ ВНЕШНЕЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ**

\*Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, г. Киев, Украина

---

**Анотація.** Запропонована спеціалізована модель життєвого циклу (ЖЦ) двох класів комп'ютерних систем (КС) з розвинутою інфраструктурою. Модель включає технологічні процеси кожної із стадій ЖЦ КС, починаючи від стадії вибору КС (і/або їх проектування), за результатами оцінок вартісних і часових витрат Замовника (розрахованих за стандартними методиками) за період ЖЦ КС до досліджень динаміки функціонування КС на експлуатаційних стадіях ЖЦ за допомогою адекватних математичних моделей. Модель ЖЦ КС орієнтована на дослідження КС промислового призначення (КС ПП) і гарантоздатних КС критичного застосування (ГКС КЗ). Для отримання характеристик (параметрів і атрибутів) КС на експлуатаційних стадіях і/або конкретних інтервалах їх ЖЦ спочатку рекомендується застосовувати програмні засоби вимірювань тривалості, кількості і моментів реєстрації обраних для досліджень дискретних подій (процесів), що відбуваються в КС. Після статистичної обробки даних вимірювань і їх ідентифікації як реальних показників роботи КС за вимірюваний період проводяться розрахунки ймовірнісних характеристик випадкових процесів у КС (розподілу збоїв і відмов пристроїв і вузлів КС, інтенсивності запитів у КС від інфраструктури і т.п.), а результати цих розрахунків у дослідницьких цілях як вхідних даних дозволяють відтворювати подібні процеси в аналітичних і імітаційних моделях. Подібні моделі можна використовувати не тільки при дослідженні, а й при прогнозуванні поведінки КС на будь-якій з наступних стадій ЖЦ КС, для чого розробляється спеціалізована програмна система аналітико-імітаційного моделювання (АІМ), яка інтегрує аналітичні та імітаційні моделі досліджуваних класів КС, що виправдали себе на практиці. Це дозволить вирішувати нові та актуальні науково-дослідні завдання щодо структури та організації функціонування КС, які неможливо вирішувати лише з використанням вимірювальних процедур і/або строго аналітичних моделей.

**Ключові слова:** життєвий цикл, стадії і моделі життєвого циклу, комп'ютерні системи виробничого призначення, гарантоздатні комп'ютерні системи критичного застосування, оцінка характеристик комп'ютерних систем.

**Аннотация.** Предложена специализированная модель жизненного цикла (ЖЦ) двух классов компьютерных систем (КС) с развитой инфраструктурой. Модель включает технологические процессы каждой из стадий ЖЦ КС, начиная от стадии выбора КС (и/или их проектирования), по результатам оценок стоимостных и временных затрат Заказчика (рассчитанным по стандартным методикам) за весь ЖЦ КС до исследований динамики функционирования КС на эксплуатационных стадиях ЖЦ с помощью адекватных математических моделей. Модель ЖЦ КС ориентирована на исследование КС промышленного назначения (КС ПН) и гарантоспособных КС критического применения (ГКС КП). Для получения характеристик (параметров и атрибутов) КС на эксплуатационных стадиях и/или конкретных интервалах их ЖЦ вначале рекомендуется применять программные средства измерений длительности, количества и моментов регистрации выбранных для исследований дискретных событий (процессов), происходящих в КС. После статистической обработки данных измерений и их идентификации в качестве реальных характеристик работы КС за измеренный период проводятся расчёты вероятностных характеристик случайных процессов в КС (распределения сбоев и отказов устройств и узлов КС, интенсивности запросов в КС от инфраструктуры и т.п.), а результаты этих расчётов в исследовательских целях в качестве входных данных позволяют воспроизводить подобные процессы в аналитических и имитационных моделях. Подобные модели можно использовать не только при исследовании, но и при прогнозировании поведения КС на любой из последующих стадий ЖЦ КС, для чего разрабатывается специализированная программная система аналитико-имитационного моделирования (АИМ), интегрирующая оправдавшие себя на практике аналитические и имитационные модели исследуемых классов КС. Это позволит решать новые и актуальные научно-исследовательские задачи по структу-

ре и организации функционирования КС, которые невозможно решать лишь с использованием измерительных процедур и/или строго аналитических моделей.

**Ключевые слова:** жизненный цикл, стадии и модели жизненного цикла, компьютерные системы производственного назначения, гарантоспособные компьютерные системы критического применения, оценка характеристик компьютерных систем.

**Abstract.** It is proposed a specialized life cycle (LC) model of two classes of computer systems (CS) with a developed infrastructure. The LC model includes the technological processes of each stage of the LC of the CS, starting from the stage of selecting the CS (and/or their design) according to the results of the Customer's cost and time expenditures (calculated using standard methods) for the entire LC of the CS - to investigate the dynamics of the CS LC with adequate mathematical models. The LC model of the CS is focused on the study of an industrial-grade CS (IG CS) and dependable critical-use CS (DCU-CS). To obtain the characteristics (parameters and attributes) of the CS at the operational stages and/or specific intervals of their LC, firstly, it is recommended to use software for measuring the duration, numbers and recording moments of some selected for research discrete events (processes) occurring in the CS. After statistical processing of measurement data and their identification as real characteristics of the CS operation for the measured period, the probabilistic characteristics of random processes in the CS are calculated (the distribution of failures and faults of the devices and nodes of the CS, the intensity of requests to the CS from the infrastructure, etc.) and the results of these calculations as input data for research purposes will allow reproducing similar processes in analytical and simulation models. Such models can be used not only in the investigation, but also in predicting the CS behavior at any of the subsequent stages of the LC, for which a specialized analytical and simulation modeling software (ASM) is being developed that integrates the analytical and simulation models of the classes of CS that are justified in practice. This will allow solving new and actual research tasks on the structure and organization of the functioning of a CS, which cannot be solved only with the use of measurement procedures and/or strictly analytical models.

**Keywords:** life cycle, stages and models of the life cycle, computer systems for industrial purposes, dependable critical-use computer systems, evaluation of the characteristics of computer systems.

## 1. Введение. Актуальность темы

Период создания, применения и необходимости утилизации искусственных систем получил в науке название «жизненный цикл» (ЖЦ). Основные положения концепции ЖЦ и методики оценки важнейших параметров рассматриваемых в данной статье типов сложных технических систем (СТС) приводятся не только в специализированных источниках, но и введены в ряд международных стандартов [1–3].

Определение ЖЦ в стандартах [1–2]: «Жизненный цикл – процесс эволюции системы, продукции, услуги, проекта или иного рукотворного объекта от замысла до прекращения его использования», а в стандарте [3]: «Жизненный цикл – промежуток времени между появлением общей концепции продукта и его утилизацией».

Концепция ЖЦ впервые была сформулирована и применена к системам биологического типа в конце XIX в [4]. В процессе становления современных наук (бионика, системный анализ, кибернетика и информатика) и по мере повышения требований к надёжности, безопасности и живучести СТС расчёты характеристик ЖЦ стали проводить для оценки качества проектирования и функционирования компьютерных систем (КС).

Развитие индустрии КС привело к созданию в США в середине 80-х годов XX ст. в методологии информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий (ЖЦИ) – CALS-технологии. Эта аббревиатура означала «Компьютеризированная Поддержка Логистических Систем» (Computer-Aided Acquisition and Logistics Support).

В 1988 г. с технологии CALS были сняты оборонные ограничения и для усиления её организационной направленности она была названа «Компьютеризированные Поставки и Поддержка» (Computer-Aided Acquisition and Support).

В 1993 г. CALS получила название: «Компьютерная Поддержка Непрерывных Поставок и Жизненного Цикла» (Computer-Aided Acquisition and Lifecycle Support).

Позднее, под влиянием военно-промышленного комплекса США, CALS названа «Бизнесом в Высоком Темпе» (Commerce At Light Speed) [5].

Тенденция к применению концепции ЖЦ для повышения качества разработки КС неуклонно растёт, поскольку на практике регулярно пересматриваются международные нормативы уровня статических, динамических и вероятностных характеристик КС. Если же учитывать современные технологические возможности и практическую потребность реализации идей, развивающих организацию КС [5–9], а также развитие направления по созданию на основе КС практически безотказных систем управления военными, производственными, энергетическими и гражданскими инфраструктурными объектами [6–7, 10–14], то современные КС можно характеризовать как высокоорганизованные системы био-нико-кибернетической природы.

Практика выбора КС (до покупки и/или после принятия проектного образца КС в эксплуатацию), включая сравнение характеристик ЖЦ разных КС, требует учитывать не только паспортные (статические) характеристики структуры, организации функционирования, производительности и надёжности КС и т.п., но и наличие средств (особенно в системах с развитой инфраструктурой) технологической поддержки устойчивости их свойств и характеристик в виде технологий контроля за динамикой изменения важнейших параметров функционирования КС на длительных интервалах (месяцы, кварталы, годы) эксплуатации.

Такой подход актуален и для двух классов высокотехнологичных КС, которые выбраны в соответствии с целью данной работы: КС производственного назначения (КС ПН) и гарантоспособные КС критического применения (ГКС КП). О наличии/отсутствии технологий контроля целесообразно знать, чтобы учесть их эффективность как при оценке параметров ЖЦ этих типов КС при их выборе, так и на стадиях функционирования, «приработки» и «деградации» [5–7, 9–14] КС, что особо актуально для ГКС КП. Для иллюстрации выбранных типов КС на рис. 1 приведены примеры их исполнения (из сайта <http://ua.automation.com>).

На рис. 1 не показаны образцы ГКС КП, поскольку они практически не производятся серийно, а изготавливаются по завершению специализированных проектов, но, как и серийные КС ПН, ГКС КП для обслуживания развитой инфраструктуры в большинстве случаев исполняются как стационарные КС с конструкцией задней панели с расширенным составом портов ввода/вывода для внешних устройств.



Высокопроизводительные компьютеры Vecow ARS-2000 на DIN-рейку.  
Серия высокопроизводительных промышленных компьютеров компании Vecow с возможностью монтажа на DIN-рейку – ARS-2000.



Portwell WEBS-21D0 – промышленный компьютер на процессорах Apollo Lake.  
Компания Portwell Inc. выпускает безвентиляторную встраиваемую КС на процессорах Apollo Lake. Компьютер выполнен в компактном корпусе 150 x 150 x 60 мм и рассчитан на работу в диапазоне температур от –20 до 60 С.

Рисунок 1 – Примеры современных промышленных компьютерных систем

## 2. Цель и основные задачи

Цель работы заключается в построении обобщённой модели ЖЦ, ориентированной на проведение периодических исследований, особо критичных к специфике и условиям применения КС, – функциональных характеристик КС ПН и ГКС КП с развитой инфраструктурой. Подобные исследования несомненно взаимосвязаны с прогнозированием изменений этих характеристик на длительных интервалах эксплуатации КС, причём подобные исследования возможны только с помощью моделей, адекватных структуре, организации и условиям функционирования КС, позволяющих решать задачи прогнозирования изменений выбранных для этой цели характеристик КС.

Наличие характеристик и атрибутов ЖЦ КС, которые при их функционировании становятся «критическими», ориентирует исследователей на конкретизацию и оптимизацию выбора типов и уровней таких параметров КС. Оптимизация длительности и частоты проведения исследований устойчивости характеристик функционирования КС, выбора средств проведения текущего технического обслуживания (ТО) и мониторинга их работы с измерением важнейших статистических данных КС, а также использование полученных по этим данным расчётных значений реальных характеристик работы КС для последующего их использования при более детальном анализе и прогнозировании их поведения с помощью аналитических и имитационных моделей (ИМ), входят в перечень задач, которые необходимо решать при выборе и эксплуатации КС.

Для совершенствования и управления технологией управления ЖЦ рассматриваемых классов КС, работающих, как правило, в тяжёлых производственных и критических условиях, необходимо решать задачи оценки и поддержки на должном уровне и на всём ЖЦ КС регламентированных проектно-технической документацией уровней характеристик их надёжности, живучести и безопасности.

С этой целью ставятся также задачи проведения периодических расчётов более точных и реальных значений этих характеристик для отдельных стадий и/или интервалов ЖЦ, поскольку оценочные методы здесь неприменимы, а выделенные классы КС уникальны для критических применений в общественно-производственных целях (промышленность, транспорт, космические системы, управление коммуникациями и т.п.).

Построение адекватной цели исследования обобщённой модели ЖЦ КС способствует решению задачи разработки положений единой технологии применения концепции ЖЦ к процессам выбора, разработки концепций создания, проектирования, измерительного мониторинга и исследований поведения КС ПН (ГКС КП) как для любой из стадий их ЖЦ, так и для любого интервала их функционирования.

## 3. Основные методы решения поставленных задач

В задачах установления эффективности применения тех или иных алгоритмов повышения устойчивости работы и ряда других качественных характеристик КС ПН (ГКС КП) следует учитывать особенности не только структуры и функционирования КС, но и типов и характеристик реальной, распределённой по инфраструктуре и обрабатываемой в них сетевой и вычислительной нагрузке. С данной целью перспективно применять адекватные этим условиям средства моделирования, включающие блоки аналитических и имитационных моделей, которые реализуются в составе комбинированной системы АИМ. Такие модели способны воспроизвести особенности функционирования КС ПН (ГКС КП) на любой из отдельно взятых их эксплуатационных стадий и на любом из выбранных интервалов их ЖЦ. Такие исследования можно провести только с использованием моделей, формируемых в результате их конструирования средствами АИМ. Исходными данными для АИМ с целью повышения точности исследований должны являться полученные и статистически

обработанные данные измерений нагрузки КС средствами системы программных измерений и статистической обработки этих данных (СПИО).

Использование концепции ЖЦ для исследований КС ПН и ГКС КП в конкретных условиях их работы способствовало постановке двух главных и взаимосвязанных групп задач:

- выбор лучшей для конкретного практического применения и условий функционирования КС (КС ПН, ГКС КП), если подобные системы имеются на рынке, или проведение их проектирования как уникальных КС в соответствии с техническим заданием (ТЗ) на КС ПН, или с функциональной спецификацией (ФС) на ГКС КП, с последующей реализацией этих проектов и вводом КС в эксплуатацию;

- периодический (через установленный (заданный или расчётный) временной интервал проведения расчётов важнейших характеристик КС с последующим построением диаграмм изменения этих характеристик во времени на выбранных стадиях (интервалах) ЖЦ.

Для решения первого класса задач следует применять не только стандартизованные методики с использованием оценочных (паспортных) характеристик КС ПН (ГКС КП), полученные по программно-аппаратным тестам, а при их отсутствии использовать оценки важнейших характеристик ближайших аналогов таких систем, имеющиеся в открытой печати.

Для решения второго класса задач следует периодически и/или по мере необходимости (длительность этого периода рассчитывается по данным мониторинга (измерения) характеристик динамики функционирования КС за определённые периоды) оперативно выполнять расчёты вероятностных характеристик загрузки важнейших узлов КС на основе данных СПИО, а полученные значения этих характеристик использовать в качестве входных данных для адекватных аналитических и/или ИМ (АИМ) КС, причём расчёты этих характеристик следует проводить на каждой из эксплуатационных стадий (или выбранных интервалах) ЖЦ КС. Такое требование связано не столько с особенностями конкретной КС, но и с тем, что на стадии выбора (и/или проектирования) КС Заказчик КС преимущественно пользовался данными от средств ТО с «тестовыми нагрузками», которые дают столь неточные оценки характеристик надёжности, живучести и производительности конкретных КС, что их сомнительно использовать для оценки дорогостоящих и сложнейших КС по обобщённому критерию качества стоимость/производительность/надёжность [15].

Для методического объединения результатов поставленных задач в работе изложены основные положения технологии управления жизненным циклом КС ПН (ГКС КП) на стадиях ЖЦ (функционирования, «деградации» и вывода из эксплуатации).

#### **4. Обобщённые характеристики ЖЦ КС. Особенности применения концепции ЖЦ при проектировании и исследовании КС методами моделирования**

Особенности применения концепции ЖЦ с использованием стандартных методик [1–3] и их применение к процессам проектирования и исследования КС позволили установить, что главными из расчётных (регламентируемых) проектно-технической документацией обобщённых (интегральных) характеристик ЖЦ КС являются:

- доля времени функционально надёжной (безотказной) работы КС (в эксплуатационно-технологическом смысле) за всё время работы по прямому назначению;

- длительность периодов функционально безопасной работы КС в течение её ЖЦ (англ. «safety+security») для обслуживающего персонала, окружающих КС производственных (материальных) средств и населения, а также оборудования КС;

- уровень затрат (стоимость + издержки), которые пользователь (владелец) КС уже понёс и/или ещё понесёт в течение ЖЦ (затраты на выбор, проектирование и/или разработку; производство (комплектацию и/или покупку); ввод в эксплуатацию (включая пери-

од «приработки» КС); период эксплуатации (ремонт, модернизация, реконфигурация, проведение ТО, восстановление после сбоев и отказов, эксплуатация измерительной системы мониторинга, другие накладные расходы (замена отказавших компонент и т. п.).

*Замечание 1.* Характеристику ЖЦ «длительность функционально безопасной работы КС» исследуют и оптимизируют с использованием методов риск-ориентированного подхода (РОП), основы которого изложены в работе [16].

Обобщённые (интегральные) характеристики ЖЦ, которых необходимо достичь и поддерживать на достигнутом уровне в проектируемых и функционирующих КС ПН (ГКС КП), как правило, регламентированы. Однако реальные характеристики, которыми КС будет обладать и которые будут поддерживаться в период её эксплуатации, на практике неизвестны как для их разработчиков, так и обслуживающего персонала.

Реальные же характеристики работающей КС возможно рассчитывать по данным измерений частоты возникновения, длительности и времени обработки происходящих в КС операций и событий, наиболее влияющих на указанные характеристики. Длительность, частоту возникновения и затраты времени КС на обработку таких операций следует осуществлять средствами СПИО на достаточно длительных интервалах работы КС.

Отсутствие измеренных значений реальных параметров работы КС или наличие только их оценочных и тестовых показателей, полученных с недостаточной для реальных вычислительных нагрузок и сложнейших процессов в КС точностью (на практике статистическая точность оценок таких параметров КС должна быть не менее 95%), вносит неопределённость как в процессы проектирования КС, так и в процессы последующей оптимизации этих характеристик на любой из стадий (интервалов) функционирования КС.

Одним из выходов из такой неопределённости является разработка новых и/или использование взамен существующих таких методов и средств решения задач расчёта обобщённых (интегральных) характеристик ЖЦ КС ПН и ГКС КП, которые будут гарантировать оценочную и статистическую точность с доверительным уровнем менее 5%.

Для уточнения условий решения двух отмеченных в разд. 3 задач выбора (проектирования) КС и поддержки регламентированных уровней их важнейших характеристик на стадиях функционирования КС следует применить следующий подход:

- на стадии выбора КС значения интегральных характеристик ЖЦ вначале целесообразно оценить с использованием стандартных методик [1–3];
- затем эти результаты можно уточнять и/или перерасчитывать с помощью средств измерения и моделирования для любой из стадий (интервалов) функционирования КС.

При решении задач проектирования и исследования КС основная проблема состоит в том, что перед Заказчиком стоит задача выбора (проектирования и/или производства) КС на весь период эксплуатации. Однако значения характеристик КС на стадиях их «приработки», эксплуатации и деградации можно получить только после проведения необходимых измерений на функционирующих КС и/или на их аналогах с помощью средств СПИО, а после статистической обработки этих данных их можно использовать в качестве входных данных для адекватных структурно-функциональной архитектуре КС и нагрузке на неё аналитических и/или имитационных моделях.

Однако построение адекватных АИМ для исследования КС требует выделения в отдельные блоки её аналитических и имитационных компонент. Такой подход реализуется путём интеграции в этих компонентах имеющихся знаний по особенностям структуры и функционирования КС. Поэтому интеграцию многочисленных из имеющихся в публикациях аналитических моделей в виде процедур для АИМ следует провести путём выбора актуального множества имеющихся важнейших результатов исследований как по КС ПН, так и по ГКС КП [6–7, 10–14], а также из других работ отечественных и зарубежных авторов. Но многочисленность аналитических моделей и алгоритмов использования ресурсов

КС, включая механизмы и процедуры резервирования, позволила автору не перегружать данную статью изложением этих моделей.

Что касается разработки имитационных компонент АИМ, то результаты этого процесса зависят не только от особенностей структуры и организации функционирования КС, но и от особенностей выбранного для построения этих компонент языка (системы) имитационного моделирования. Результатом именно такой работы станут аналитико-имитационные блоки, которые при последующей их «сборке» (конструировании) в конкретные модели становятся специфичными конструктивными блоками АИМ [17–19].

В целом же, для постановки и решения задач исследования характеристик введённых в эксплуатацию КС как на отдельных стадиях (интервалах) их ЖЦ, так и/или на всём их ЖЦ, необходимы, как минимум, следующие данные:

- реальные значения (оцененные и/или измеренные на аналогах системы) характеристик КС, позволяющие рассчитать значения указанных в начале этого раздела статьи трёх интегральных характеристик как для отдельных стадий, так и для всего ЖЦ;

- временные диаграммы измеренных и/или расчётных значений (по возможности, более точных, чем их специфицированные значения в документации и/или в ФС на проектируемую КС, важнейших структурно-функциональных характеристик, позволяющих исследовать динамику изменения этих характеристик.

При наличии таких данных у Разработчика и обслуживающего КС персонала появляется возможность предпринять адекватные меры не только для увеличения продолжительности её работы в безопасном режиме, но и для увеличения продолжительности её надёжной работы по функциональному назначению, что, впоследствии, позволит снизить общие затраты времени и средств на поддержку заданных в ФС и/или в документации на КС значений характеристик функционирования КС как на конкретных стадиях (интервалах), так и на всём её ЖЦ.

Итак, наиболее адекватный инструментарий решения реальных задач поддержки на заданном уровне и/или оптимизации эксплуатационных характеристик КС ПН (ГКС КП) можно создать лишь методами аналитического и имитационного моделирования.

Если КС уникальна и не имеет прямых аналогов (что для КС класса ГКС КП является правилом), то обобщённые характеристики ЖЦ проектируемой КС невозможно оценить путём сравнения с параметрами ЖЦ аналогов, которых просто нет. Но, поскольку характеристики ЖЦ информативны в отношении качества разработки и объёмов затрат на эксплуатацию КС как одинакового, так и близкого типов, то характеристики уникальных КС можно оценить путём их сравнения с характеристиками КС, выполняющих даже лишь отдельные функции, аналогичные функциям уникальной КС.

Указанные трудности, как правило, вынуждают Заказчика и Разработчика КС на предпроектной стадии оценивать и согласовывать между собой полученные на основе своих знаний и опыта оценочные значения параметров и утверждать их в ТЗ (ФС). Однако унификация методик проведения расчётов параметров стоимости и длительности ЖЦ и его отдельных стадий в стандартах [1–3] при предварительном применении этих методик при выборе и/или проектировании КС позволяет получать вполне приемлемые и оценочные характеристики, которые следует использовать для последующего расчёта более точных значений этих характеристик ЖЦ на эксплуатационных стадиях, для чего следует разработать или использовать математические модели выбранных типов КС.

В стандарте [3] в качестве основных выделены следующие показатели, позволяющие рассчитывать характеристики ЖЦ для проектируемых (эксплуатируемых) систем (продуктов):

- оценивание стоимости ЖЦ – процесс экономического анализа с определением затрат на систему за весь период и/или на отдельных стадиях ЖЦ;

- стоимость ЖЦ – суммарные затраты на систему в течение всех стадий её ЖЦ;

– точка отсчёта – фиксированный момент времени, принятый в качестве начального для привязки к нему затрат на любой из стадий (интервалах) ЖЦ.

Автор предлагает дополнительно включить в этот перечень следующий показатель:

– период отсчёта – временной отрезок (интервал) ЖЦ, начинающийся с точки отсчёта и заканчивающийся завершением использования системы в общесистемных целях (накладные расходы разных видов, прогнозирование и исправление ошибок в системе, предупреждение и обезвреживание ошибок в системе, восстановление после сбоев и отказов и т.п.).

При решении задач оптимизации структуры и функционирования КС с развитой внешней инфраструктурой, возникающих для КС (к примеру, на стадиях разработки опытного или эксплуатационного (серийного) образца; изготовления и отладки КС в условиях производственной эксплуатации; при принятии решения о выводе КС из эксплуатации из-за начала процессов деградации и т.п.), специалистам нужен адекватный исследовательский и технологический инструментарий для постановки и оперативного решения таких задач.

Поэтому выполнение требований по продолжительной поддержке на периоде ЖЦ заданных в ТЗ (ФС) значений важнейших параметров и атрибутов КС во многом зависит не только от практического опыта разработчиков проекта КС, но и от умения специалистов Заказчика оценивать и/или прогнозировать такие показатели с применением аналитических и/или имитационных моделей. В процессах же эксплуатации КС выполнение указанных условий зависит ещё и от применения адекватных средств мониторинга и измерения происходящих в КС процессов средствами СПИО, компьютерного прогнозирования, предупреждения и обезвреживания непредсказуемых ошибок от сбоев и отказов как в КС, так и в элементах их инфраструктуры [6–7, 10–14].

Значения показателей КС, включаемых в её ТЗ (ФС), как мы уже отмечали, часто определяют без адекватных моделей структурно-функционального типа. По этой причине ряд показателей КС на эксплуатационных стадиях ЖЦ могут существенно отличаться от реальных значений, измеренных впоследствии средствами СПИО на КС, и, порой, на многие проценты. В то же время практическая потребность в достижении высокой точности измерений реальных характеристик КС с использованием средств текущего контроля (мониторинга) функционирования для их сравнения со значениями характеристик, заданными в ТЗ (ФС), вызвана тем, что специфика работы КС в критических производственных условиях требует особого технологического внимания вследствие непредсказуемости возникновения опасностей не только для окружающей её внешней среды, но и для материальных объектов и безопасности людей, которые могут быть в составе обслуживающего персонала, и на объектах, которые управляются КС [6–7, 9–15].

Для любой из КС выбранных нами типов имеется свой уникальный ЖЦ с параметрами, существенно отличающимися от параметров серийных КС [6–14]. Поэтому при анализе длительности ЖЦ КС ПН (ГКС КП) следует рассматривать не только процессы функционирования КС, но и процессы её разработки (выбора) и эксплуатации в условиях её системной деградации.

Выйти из подобной ситуации позволяет применение средств эксплуатационного (мониторингового) контроля за значениями важнейших параметров системы относительно выбранной точки отсчёта или в течение выбранных для этого интервалов отсчёта. Значения параметров КС на таких стадиях (интервалах) позволяют выявлять и анализировать причины отклонений этих значений от утверждённых в ТЗ (в ФС), а также от ожидаемых Заказчиком значений на текущем интервале эксплуатации.

Таким образом, чтобы характеристики ЖЦ КС как можно меньше выходили за «рамки», ограниченные ТЗ (ФС), при расчётах параметров ЖЦ КС следует проводить анализ эффективности процессов, происходящих на следующих периодах отсчёта:



- от начала формирования концепции создания КС до завершения разработки ТЗ (ФС) на её проектирование;
- от начала проектирования и до завершения процесса ввода в эксплуатацию КС с разработанной структурой и организацией её функционирования (и и/или от момента покупки готовой КС до ввода её в эксплуатацию);
- от начала эксплуатации и до начала фиксации деградационных процессов в КС;
- от фиксации деградационных процессов до завершения процессов вывода КС из эксплуатации (списание, демонтаж и/или утилизация).

Итак, в целом ЖЦ КС является периодом, включающим не только все значимые стадии работы КС, но и события и процессы на этих стадиях, которые воздействуют на длительность и стоимость ЖЦ (например, устранение периодически и неоднократно возникающих ошибок и отказов и т.п.), а также включает процессы, которые могут привести не только к изменению важнейших характеристик КС через структурно-функциональные «вмешательства» внутри самой КС при исправлении ошибок в отдельных узлах и/или функциональных блоках (ФБ), и/или в аппаратно-программных модулях (АПМ) КС, но и к нежелательным изменениям в состоянии и в процессах взаимодействия КС и управляемых ею инфраструктурных объектов.

Причиной нежелательных изменений в структуре и/или в функциях КС могут быть также не только воздействия отдельных и непредсказуемых внешних и внутренних факторов (случайного и/или гиперслучайного типов [20]), но и проявление со временем под воздействием указанных факторов в ряде узлов (ФБ и/или АПМ) реальных дефектов, классифицируемых в [7] как дефекты разработки (ДР), физические дефекты (ДФ) и дефекты взаимодействия (ДВ). Кроме того, могут иметь место также пока малоизученные, но несомненно возникающие дефекты из-за воздействия кумулятивных эффектов от длительного влияния на КС незначительных («малых») внешних факторов риска на уровень работоспособности КС [6–7, 10–15].

Следовательно, для обеспечения адекватного проектно-технической документации процесса функционирования КС в подобных условиях и средах её следует или заранее адаптировать к условиям такой среды, либо КС в процессе работы должна адаптироваться к этой среде, используя с этой целью адекватные механизмы избыточности, реконфигурации структуры и функций отдельных узлов и т.п.

## **5. Построение модели ЖЦ для исследований КС. Основные положения технологии управления процессами, происходящими на каждой из стадий модели ЖЦ**

В соответствии со стандартами [1–3], ЖЦ продукта (системы) включает в себя шесть основных стадий:

- формирование концепции и технических требований к проекту (разработка технических предложений, разработка и утверждение ТЗ);
- разработка прототипа и/или опытного (промышленного) образца;
- производство;
- установка, монтаж и наладка;
- эксплуатация, включающая ТО, ремонты и процессы восстановления системы после сбоев и отказов;
- списание, демонтаж и проведение возможной утилизации.

Опираясь на эти стандарты и учитывая особенности КС как объекта исследований, можно заключить, что ЖЦ КС обязательно включает следующие стадии и процессы:

- стадию разработки: формирование концепции, разработку ТЗ и утверждение спецификации, проектирование, создание прототипа (и/или опытного образца) и его отладка (в ряде договоров не предусмотрено изготовление прототипа системы), создание рабочего

образца на основе опытного, экспериментальная эксплуатация, производство рабочего образца и его внедрение;

- процессы эволюции (модернизации) системы: целенаправленная реконфигурация структуры и функций, замена физически или морально устаревших узлов, ФБ или АПМ (модернизация), обоснованное включение в структуру КС новых технических и программных средств, отладка реконфигурированной (модернизированной) КС в процессе её опытной эксплуатации, контроль (мониторинг) за процессами функционирования системы и наиболее важных её узлов (ФБ, АПМ) в «рабочем» режиме, контроль (мониторинг) за проявлением деградиционных процессов в КС с помощью средств ТО, проводимый, желательно, ещё до начала и сразу после завершения периода «нормальной» эксплуатации КС;

- процессы вывода системы из эксплуатации: фиксация начала деградиционных процессов в отдельных блоках (узлах), принятие решения о списании, демонтаже и возможной утилизации.

Процедура оценивания стоимости ЖЦ КС включает [3] получение оценок суммарной стоимости разработки/приобретения, владения, списания и утилизации продукта. По результатам этих расчётов для отдельных стадий ЖЦ следует принять решение либо о переходе КС на новую стадию ЖЦ, либо о проведении работ по её модернизации (реконфигурации) на данной стадии ЖЦ. Оценку же параметров КС по выбранным периодам отсчёта можно проводить после получения и/или при наличии следующих данных:

- информационные и/или аналитические (расчётные) данные о сопоставлении характеристик имеющихся альтернативных конструктивных вариантов создания КС (примеры научно обоснованных аналитических расчётов по надёжности и достоверности работы разных структур КС приведены в [6–7, 10–14]);

- данные по оценке экономической эффективности КС в сравнении с предлагаемыми на рынке проектами или продуктами (аналогами);

- данные по основным объёмам и источникам затрат на проектирование, процессы разработки, производства и ввода в эксплуатацию;

- данные оценки затрат на проведение возможных и/или планируемых (необходимых) доработок (модификаций) системы;

- данные сравнительной оценки затрат на реализацию альтернативных стратегий: технологии эксплуатации, испытаний и проверок (верификации и валидации) КС;

- данные по оптимизации процессов проведения ТО КС (оптимизация частоты проведения и объёмов работ каждого из видов ТО, ремонтов и т.п.);

- сравнительные данные об эффективности процессов и решений по замене, восстановлению, продлению сроков эксплуатации или по списанию устаревших и/или часто отказывающихся технических (программных) средств и/или отдельных ФБ и АПМ;

- данные по оценке Заказчиком качества выполнения принятых на себя Разработчиком (Продавцом) КС гарантийных обязательств как результаты периодических проверочных (верификационных) испытаний КС.

Естественно, что процедуры оценивания работ по проектированию, макетированию, созданию, внедрению, разработке стратегии эксплуатации и проведению ТО КС практически невозможно с достаточной точностью осуществить без моделирования многих таких процессов, происходящих или на отдельных стадиях, или в течение всего ЖЦ КС.

Итак, результаты анализа процессов, происходящих на ЖЦ КС, оценки потенциальных объёмов и качества работ, которые следует проводить специалистам Исполнителя (Проектировщика и/или Производителя) и Заказчика КС на каждой из стадий её ЖЦ, позволили автору сделать вывод, что при проведении расчётов по оценке стоимости и длительности всего ЖЦ, а также при оценке выполнения работ на отдельных его стадиях, необходимо руководствоваться следующими основными принципами, связанными со спецификой расчёта параметров ЖЦ КС как уникальных продуктов:

– в течение ЖЦ следует учитывать, что КС должна пройти период «приработки» к реальным эксплуатационным процессам (процессы доработки и модернизации);

– на каждой из стадий ЖЦ следует использовать адекватные для данной точки и периодов отсчёта работы КС средства обеспечения её устойчивого функционирования на уровне, предусмотренном нормативно-технической документацией (ФС);

– влияние таких важнейших атрибутов КС ПН и ГКС КП, как высокая готовность к обслуживанию, возможность своевременного восстановления КС (отказоустойчивость), необходимость снижения влияния факторов риска, нарушающих нормальное функционирование КС (отказобезопасность), функциональная безопасность, целостность, конфиденциальность, живучесть и другие атрибуты в соответствии с атрибутивной моделью ГКС КП [10], должны быть количественно оценены (с помощью расчётов и/или моделей) и/или измерены, а также верифицированы;

– переход к расчётам (исследованиям) по каждой последующей стадии ЖЦ следует осуществлять только при условии достижения на предыдущей стадии ЖЦ (по заключению экспертной комиссии) того общесистемного уровня показателей каждого из атрибутов КС, значения которых заданы в нормативно-технической документации (или в ТЗ и ФС).

Результаты полученных значений характеристик КС и данные совокупных затрат на всех предыдущих стадиях ЖЦ КС можно представить в виде двух функционалов:

$$\Phi 1(t) = \sum_{i=1}^{i=n} p_i, \quad (1)$$

$$\Phi 2(t) = (x_1, x_2, \dots, x_m). \quad (2)$$

Первый функционал содержит сумму затрат Заказчика на всех предыдущих стадиях и/или интервалах ЖЦ КС, а второй функционал - перечень характеристик КС, полученных на том или ином этапе проведенных исследований этих характеристик. Сведя полученные значения функционалов в соответствующую таблицу, можно оценить влияние каждой из проведенных на предыдущих стадиях эксплуатации модернизаций на эффективность функционирования КС с учётом понесенных при этом Заказчиком затрат.

В рамках полного ЖЦ КС следует выделить типовые стадии (периоды), каждая из которых должна иметь характерные только для неё цели и вносить свой вклад и особенности в значения параметров (атрибутов) КС на всём их ЖЦ, а также на временные и стоимостные оценки отдельных стадий и всего ЖЦ системы. Таким образом, особенности каждой стадии ЖЦ системы должны учитываться в процессах планирования, реализации, модернизации и управления функционированием конкретной КС.

Для построения обобщённой модели ЖЦ КС выделим по аналогии со стандартом [3] важнейшие стадии проектирования КС, учитывая, что количество стадий в ЖЦ КС зависит как от особенностей самой КС, так и от технологии её разработки и условий эксплуатации. С целью оптимизации объёма исследований, которые специалистам необходимо провести по расчётам и моделированию процессов на каждой из стадий ЖЦ КС, в табл. 1 предложена обобщённая модель ЖЦ КС, включающая 5 основных стадий:

– первые 2 стадии – разработка концепции и программно-техническая разработка, завершающиеся опробованием системы и вводом КС в эксплуатацию;

– третья стадия включает период нормальной (рабочей) эксплуатации КС с возможностью её однократной и/или многократной модернизации (пост-разработкой) на этом периоде, когда в отдельные узлы КС и/или в элементы её инфраструктуры вносят усовершенствования (реконфигурация, модификация), повышающие некоторые из атрибутов КС в соответствии с её атрибутивной моделью [10];

– четвёртая стадия ЖЦ включает процессы эксплуатации КС в период возможного начала её физической и/или моральной деградации. Начало процессов деградации следует выявлять с помощью средств ТО и СПИО путём фиксации точек или периода отсчёта про-

цессов деградации системы, что должно быть официально рассмотрено экспертной комиссией (с соответствующим протоколом), которая имеет статистически достаточные по объему статистические данные измерений по сбоям и/или отказам, и/или выявить деградационные процессы с помощью лабораторных испытаний либо отдельных узлов (ФБ, АПМ) КС, либо всей КС;

– пятая стадия ЖЦ КС включает период возможного принятия/непринятия решения о начале вывода КС из эксплуатации (списания, демонтажа и/или утилизации).

Поясняя табл. 1, заметим, что, несмотря на то, что мы выделили всего 5 стадий ЖЦ КС, этими стадиями охвачены практически все виды переходов системы из состояния в состояние в интегрированном цикле разработки, модернизации, эволюции и эксплуатации КС, что позволяет отразить необходимость внесения возможных и/или необходимых изменений в виды и объемы работ по поддержке устойчивого и/или гарантоспособного функционирования КС на каждой из стадий её ЖЦ, включая стадию деградационных процессов.

Рассмотрим подробнее основы технологии выполнения работ на каждой из выделенных стадий ЖЦ КС.

Таблица 1 – Обобщённая модель жизненного цикла КС

№ стадии	Наименование стадии	Результат выполнения стадии
1	Разработка (формирование) концепции	Разработка и согласование: ТЗ на КС, разработка и утверждение в спецификации требуемых Заказчику параметров КС
2	Программно-техническая разработка	Изготовление прототипа системы (если это предусмотрено) или опытного (рабочего) образца КС. Лабораторные опробования (отладка) образцов системы и ввод КС в эксплуатацию
3	Нормальная (рабочая) эксплуатация КС	Улучшение значений атрибутов функционирования КС, которые на начальном этапе её эксплуатации могут не отвечать параметрам, заданным в спецификации (применение процессов пост-разработки, реконфигурация и/или модификация КС)
4	Процессы эксплуатации КС в период начавшейся её физической и/или моральной деградации	Выявление с помощью средств ТО с фиксацией точки или периода отсчёта системы, а также путём лабораторных испытаний наличия дефектов любого типа как в отдельных узлах (ФБ, ПМ) КС, так и на системном уровне. Подписание протокола либо о возможности модификации КС, либо о её списании
5	Стадия принятия/непринятия решения о начале снятия КС из эксплуатации (списания, демонтажа и/или утилизации)	Принятие решения о снятии КС из эксплуатации ведёт к её списанию, демонтажу и/или утилизации. При непринятии такого решения необходимо проведение повторной модификации КС с заменой отдельных (критичных) узлов (ФБ, ПМ) и продолжение эксплуатации КС

Стадия разработки (формирования) концепции. Целями стадии (она может совпасть по периоду отсчёта со стадией разработки ТЗ на систему) являются:

- оценка возможности создания КС в предполагаемые Заказчиком сроки;
- выбор средств проектирования и методов реализации требований к системе;

– разработка порядка проектирования и плана-графика разработки спецификации КС с учётом особенностей сфер её применения;

– разработка системных требований и оценка эффективности имеющихся альтернативных проектных решений. Эта фаза, ввиду своей специфики, может неоднократно повторяться в процессах модификации функционирующей системы.

Стадия концепции обычно включает анализ фактических (в том числе мировых) данных по созданию подобных КС (и/или её аналогов); оценку объёмов и сроков выполнения работ на этой стадии; определение и проведение оценки влияния существующих в период разработки экономических, технических, стратегических и рыночных условий на стоимость и длительность создания КС.

Основные задачи стадии концепции (разработки ТЗ) следующие:

– предложить не менее двух-трёх альтернативных концепций (вариантов структуры и организации) создания КС, провести предпроектную оценку надёжности и её производительности по стандартным методикам и/или более точно по методике [12], опираясь на полученные для каждой из сравниваемых концепций результаты оценки затрат на достижение требуемых (специфицированных) параметров надёжности и производительности методом сопоставления оценочных затрат на их максимальные, номинальные (усреднённые) и/или минимально допустимые значения;

– выбрать по результатам анализа рассмотренных концепций наиболее оптимальную из них для создания КС и, при необходимости, также её прототип (если это предусмотрено проектом). При выборе одной из альтернативных концепций установить, какая из них является наиболее эффективной по отношению к требованиям Заказчика. После чего оценить техническую и экономическую целесообразность выбранного и альтернативного проектов;

– если прототип системы необходим (предусмотрен), то после его создания следует при его использовании (и/или математических моделей прототипа КС, если таковые имеются) более точно оценить важнейшие функциональные характеристики будущей КС, а также разработать план реализации последующих стадий проектирования, производства и развертывания системы;

– разработать технологию проектирования, отвечающую особенностям выбранной концепции создания КС и согласовать с Проектировщиком соответствие предложенной технологии потребностям Заказчика КС;

– разработанная и выбранная концепция вместе с расчётными данными о её качестве должна быть положена в основу ТЗ на систему, которую следует утвердить;

– на основе ТЗ и специальных методов расчёта (и/или моделирования) следует рассчитать и утвердить показатели создаваемой (имеющейся) спецификации КС.

Стадия технической разработки (проектирования) включает:

– с помощью прототипа системы (если это предусмотрено Договором) отработать такие функции будущей КС, которые наиболее проблемны (критичны) в плане их реализации и эксплуатации. Очевидно, что чем сложнее проектируемая КС, тем менее вероятно создание адекватного её прототипа, ведь он существенно удорожает проект;

– этап проектирования и создания системы, когда реализуются функции, утверждённые в ТЗ на КС и/или отвечающие требованиям ФС. Проводится реализация проекта КС (опытный и/или рабочий образцы), а также их отладка с помощью выбранных технической и операционной сред.

Безусловно, этот период, как и все другие периоды ЖЦ КС, должен реализовываться с использованием методов и технологий, базирующихся на методах современного системного анализа, с помощью которых можно успешно выполнить следующие работы по развитию, разработке и/или пост-разработке КС, а также достичь таких целей:

– разработка регламентов периодического тестирования и/или оптимизации периодичности (частоты) и объёмов проведения ТО КС и её отдельных узлов;

– техническая отработка (оценка или установление с помощью средств СПИО и исследований) важнейших свойств (качеств) КС с применением или её прототипа и/или данных измерений работы опытного образца КС, что позволит установить соответствие структуры и организации этого образца или самой КС требованиям ТЗ по производительности, надёжности, ремонтпригодности, безопасности, конфиденциальности, живучести и цельности КС, заданные в ТЗ (ФС) КС;

– проектирование и создание рабочего образца КС, соответствующего требованиям ТЗ (ФС) и спецификации на эксплуатационные параметры КС, что устанавливается в результате его проверки в реальных или в моделируемых критических условиях работы, а также в результате демонстрации Заказчику его функционально-оперативной пригодности в условиях управления инфраструктурой КС, предусмотренной в ТЗ. Именно выполнение указанных работ позволяет реально исключать из числа стадий ЖЦ стадию «приработки» рабочего образца, который после необходимых (выявленных) доработок и замечаний комиссии по приёмке проекта принимает рабочий образец в эксплуатацию.

Стадия нормальной (рабочей) эксплуатации КС ПН (ГКС КП) и его пост-разработки включает возможность и/или необходимость проведения работ по доработке, реконфигурации, модернизации КС и т.п. Стадия требует согласованных усилий со стороны Разработчика и Исполнителя в период после введения КС в эксплуатацию.

При этом особое значение приобретают данные средств СПИО по ошибкам, сбоям и отказам, которые могут возникать (проявляться) как в КС ПН (ГКС КП), так и в их инфраструктуре, а также специальные средства программно-аппаратного мониторинга за поведением КС и её важнейших узлов (ФБ, АПМ). Использование обработанной статистическими методами информации данных мониторинга позволит не только классифицировать и учитывать возникающие сбои и отказы по их виду, но и по таким вероятностным характеристикам, как средняя интенсивность возникновения, величина среднеквадратического отклонения и получение (расчёт) реальных вероятностных распределений происходящих в КС вероятностных процессов на измеренном (наблюдаемом) периоде. Такие характеристики следует использовать и в адекватных аналитических и/или имитационных моделях для расчёта с их помощью реальных показателей и атрибутов КС.

Кроме того, наблюдение с помощью программных и/или средств программно-аппаратного мониторинга за работой КС ПН (ГКС КП) на достаточно длительных периодах (от нескольких часов до нескольких суток, в зависимости от назначения КС и/или процедур мониторинга) позволит выявить в КС наличие стойкого изменения в нежелательном направлении значений средних вероятностных характеристик и/или интенсивности возникновения сбоев и отказов, что потребует принятия адекватных мер не только по замене (ремонту) отдельных критически важных узлов (ФБ, АПМ) КС, но и, возможно, может привести к реконфигурации структуры и функций отдельных узлов (ФБ, АПМ) и/или даже к их замене (доработке, модернизации).

Средства СПИО по сбоям и отказам в КС не следует рассматривать только как несение дополнительных накладных расходов на КС, а и учитывать, что данные статистически обработанных измерений являются определяющим условием для их использования в адекватных аналитических и/или ИМ, а также для АИМ, описывающих поведение КС ПН (ГКС КП) в основном на эксплуатационных стадиях их ЖЦ, что позволит не только успешно выявлять «уязвимые места» этих КС, но и предсказывать влияние таких «мест» на надёжность, производительность и безопасность КС.

Кроме того, новые достижения в области программно-аппаратных и/или информационных технологий за этот период можно применить для улучшения ряда характеристик КС с целью «опережающей» модернизации их отдельных узлов, а также внесения реаль-

ных изменений в количественные и качественные параметры КС путём реконфигурации и модернизации её структурно-функциональных возможностей, что также потребует использования методов и средств системного анализа и прогнозирования подобно тому, как они применялись на стадиях концепции и технической разработки КС.

Процесс проведения пост-разработки КС, как правило, необходим как этап развития КС, а решение о проведении пост-разработки может быть принято по анализу данных тестирования и оценивания параметров функционирующей КС (тестирование надёжности, производительности и других её атрибутов) и обычно его следует проводить периодически, вплоть до принятия решения о наличии стойких деградационных процессов в КС и о выводе КС из эксплуатации.

Стадия начала процессов деградации и реконфигурации системы. Достижение КС периода функционирования, когда ряд её атрибутов недопустимо часто уже не соответствует данным проектно-конструкторской документации (ФС), свидетельствует о начале процессов деградации КС. Но переход к этой фазе ЖЦ не бывает «резким», поскольку рассматриваемые типы КС имеют в своей структуре программно-аппаратную и функциональную избыточность.

Наступление реальной фазы деградации, как правило, характеризуется стойким увеличением (к примеру, в 1,2 и более раз) средней интенсивности возникновения в системе сбоев и отказов, что приводит к существенному увеличению затрат времени на восстановление её работы, а также может значительно увеличить время и объёмы работ по ТО КС. В этом случае интегральные показатели надёжности и производительности системы и/или другие её атрибуты могут существенно уменьшиться (к примеру, от уровня 0,999 в норме до 0,95 или даже до 0,75–0,8 относительно такого же показателя КС на предыдущей фазе ЖЦ). Увеличение частоты регистрации таких изменений требует принятия решений либо по очередной реконфигурации (модернизации) КС, либо по выводу системы из эксплуатации (списанию, демонтажу и/или утилизации).

Принятие последнего решения требует особой ответственности: следует ли далее обслуживать «деградирующую» КС или пора её заменить на новую? Конечно, может быть и третий вариант – заменить отдельные узлы (ФБ, АПМ) КС или провести его существенную модернизацию. Эти вопросы требуют дополнительных исследований, включая выявление причин увеличения интенсивности сбоев и отказов, наличие часто подверженных сбоям и отказам технических узлов, проведение анализа типов и частоты ошибок в них и т.п.

В создавшейся ситуации может потребоваться также пересмотр некоторых из принятых ранее проектно-технологических решений. Решение о выводе КС из эксплуатации ранее принималось на основе данных аналитических расчётов по теориям надёжности и восстановления [16, 21], а в последнее время для этого, как правило, применяют имитационное моделирование с использованием реальной статистики по ошибкам, сбоям и отказам КС и её узлов. При этом главной целью этих исследований является прогнозирование возникновения новых сбоев и отказов в отдельных узлах КС, причём эти данные получают в результате проведения измерений с последующей их статистической обработкой или вручную, или с помощью средств СПИО.

Но и при наличии подобных данных о сбоях и отказах, нельзя спешить с выводами о начале процесса стойкой деградации системы. Можно, к примеру, провести переориентацию потоков информационных (вычислительных) нагрузок на другие (ранее не задействованные и/или резервные) узлы и блоки КС, что, возможно, сделает менее затратными процессы восстановления КС после участвовавших сбоев и отказов.

Стадия вывода из эксплуатации и списания (утилизации) КС. Последовательность действий, порядок подготовки и утверждения документации на этой стадии ЖЦ для про-

дуктов (систем), учитываемых в качестве основных средств (ОсС), регламентирован бухгалтерским учётом (бухучётом).

Срок полезного использования ОсС обычно определяется Заказчиком самостоятельно с учетом производительности, физического и морального износа ОсС, правовых или иных ограничений по срокам их использования. Характер осуществляемых при этом работ, направлены ли они на повышение технико-экономических возможностей ОсС (модернизация, модификация, реконструкция) или просто на поддержку объекта в пригодном для использования состоянии, или же для получения выгод от его использования, определяется руководителем предприятия с учетом рыночной ситуации и оценки расходов на дальнейшую эксплуатацию ОсС.

При списании КС как уникального ОсС обычно возникают вопросы:

- списывать ли её инфраструктуру?
- следует ли демонтировать КС или утилизировать?

Конечно, ответы на эти вопросы зависят не только от специфики КС и сложности оценки необходимых для этого параметров, но и от степени секретности её аппаратных и/или программно-аппаратных средств. Но после принятия решения о списании КС следует «разгрузить» её от всех видов программного обеспечения. Если же КС имела секретные разработки (узлы), то её, как правило, утилизируют. Если разработка несекретная, то КС может быть передана для использования в демонстрационных и/или учебных целях.

## 6. Выводы

В работе рассмотрено применение концепции жизненного цикла при проведении системного анализа и расчётов интегральных показателей функционирования компьютерных систем производственного назначения и гарантоспособных компьютерных систем критического применения, включая проведение расчётов для отдельных стадий их жизненного цикла с помощью стандартных методик и специализированных моделей аналитико-имитационного типа. Построена упрощённая система, но обобщающая все происходящие на жизненном цикле процессы в виде модели жизненного цикла компьютерных систем, позволяющая разработчикам и аналитикам существенно сократить объёмы исследований и затрат на эксплуатацию как за весь период жизненного цикла компьютерных систем, так и на отдельных стадиях ЖЦ и даже на отдельных временных интервалах функционирования.

Выполнение конкретных видов исследовательских работ на отдельных стадиях жизненного цикла компьютерных систем рассмотрено именно с учётом необходимости решения на каждом из них определённого круга практических задач. Выделен круг задач, требующих проведения дальнейших исследований с помощью аналитико-имитационных моделей, которые будут рассмотрены в последующих публикациях автора.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Международный стандарт ISO/IEC/IEEE 15288:2008. Проектирование систем – Процессы жизненного цикла системы. Systems engineering – Systems and software engineering – System life cycle processes. 2015. Edition 1. P. 108. URL: [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=43564](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=43564).
2. ISO/IEC 24774 Software and systems engineering – Life cycle management Guidelines for process description. URL: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=41544](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=41544).
3. ГОСТ Р 27.202-2012. Надежность в технике. Управление надежностью / Национальный стандарт РФ. Стоимость жизненного цикла. Введён 04.01.2013.
4. Широкова Г.В., Клемина Т.Н., Козырева Т.П. Концепция жизненного цикла в современных организационных и управленческих исследованиях. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент*. 2007. Сер. 8, Вып. 2. С. 3–31.



5. Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия: учебн. пособ. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. 188 с.
6. Avizienis A., Laprie J.-C., Randell B., Landwehr C. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing. *IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing*. 2004. Vol. 1, N 1. P. 11–33.
7. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы. Элементы методологии. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2006. № 5. С. 7–19.
8. Конявский В.А., Росс Г.В. Новая аппаратная технология – анализ и практика защиты данных. *Современные технологии автоматизации*. 2017. № 3. С. 20–31.
9. Кондратьева Н.В., Валеев С.С. Моделирование жизненного цикла сложного технического объекта на основе концепции больших данных. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1825/p27.pdf>.
10. Федухин А.В., Сеспедес-Гарсия Н.В. Атрибуты и метрики гарантоспособных компьютерных систем. *Математичні машини і системи*. 2013. № 2. С. 195–201.
11. Федухин А.В., Сеспедес Н.В., Муха Ар.А. К вопросу о связи надёжности и достоверности функционирования компьютерных систем. *Математичні машини і системи*. 2017. № 2. С. 145–155.
12. Федухин А.В., Стрельников В.П., Сеспедес Гарсия Н.В., Муха Ар.А. Приближенная оценка надежности восстанавливаемых изделий на этапе эскизного проектирования. *Математичні машини і системи*. 2018. № 3. С. 149–155.
13. Муха Ар.А. Обеспечение живучести систем противоаварийной автоматики ГЭС. *Математичні машини і системи*. 2018. № 2. С. 169–194.
14. Сеспедес Гарсия Н.В. К вопросу об оценке коэффициента вариации наработки до отказа по квантилям малого уровня. *Надежность*. 2018. Т. 18, № 4. С. 10–15.
15. Богатырёв В.А., Богатырёв С.В. Критерии оптимальности многоуровневых отказоустойчивых компьютерных систем. *Научно-технический вестник СПб Университета информационных технологий, механики и оптики*. 2009. № 5 (63). С. 92–97.
16. Хенли Э.Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска / пер. с англ. В.С Сыромятникова. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.
17. Томашевский В.Н., Стеценко И.В, Фидаров Т.З. Конструирование аналитико-имитационных моделей для структурно-функциональной оптимизации гарантоспособных компьютерных систем. *Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2017: тези доповідей Дванадцятій міжнар. наук.-практ. конф.* Чернігів: ЧНТУ, 2017. С. 299–304.
18. Литвинов В.В., Задорожний А.А., Богдан И.В. Язык блочного имитационного моделирования на базе модифицированных диаграмм деятельности UML. *Математичні машини і системи*. 2017. № 4. С. 151–159.
19. Литвинов В.В., Задорожній А.О., Богдан І.В. Інформаційна технологія блочного імітаційного моделювання автоматизованих систем в умовах невизначеності вхідної інформації. *Математичні машини і системи*. 2018. № 2. С. 46–55.
20. Горбань И.И. Феномен статистической устойчивости. К.: Наукова думка, 2014. 444 с.
21. Кокс Д., Смит В. Теория восстановления. М.: Советское радио, 1967. 300 с.

*Стаття надійшла до редакції 15.12.2017*