

УДК 681.5:004.75
DOI: 10.15827/0236-235X.138.195-207

Дата подачи статьи: 22.12.21, после доработки: 30.03.22
2022. Т. 35. № 2. С. 195–207

Диагностирование функциональной пригодности развивающихся многофункциональных автоматизированных систем на основе перестраиваемой модели

И.В. Логинов¹, к.т.н., loginov_iv@bk.ru

¹ Академия ФСО России, г. Орел, 302020, Россия

В работе рассмотрена проблема недостаточного внимания к диагностической модели функциональной пригодности многофункциональных автоматизированных систем при высокой интенсивности потока заявок на новые сервисы автоматизации.

Решить проблему предлагается путем изменения контура диагностики функциональной пригодности многофункциональных автоматизированных систем на основе уточнения границ объекта управления. При этом осуществляется перенос функций выявления изменений требований с внешнего проектирования систем (корректировки целей управления) на структурный синтез модели.

Разработан подход к диагностированию функциональной пригодности многофункциональных автоматизированных систем на основе включения в состав модели дополнительных диагностических параметров изменения требований назначения, использования перестраиваемой диагностической модели, изменяющей свою структуру в зависимости от выявленных изменений требований назначения, а также внедрения дополнительных механизмов сбора данных о новых потребностях в автоматизации. Представлено описание облика программного средства информационно-аналитического обеспечения деятельности подразделения администрирования автоматизированной системы, разработанного на положениях нормативных документов. Основой программного средства являются БД, поддерживающая перестраиваемую модель автоматизированной системы, и набор интерфейсов подключения программных средств мониторинга (функционального состояния и требований назначения). Рассмотрены механизмы сбора данных о требованиях назначения и их применение в рамках решения задачи диагностирования функциональной пригодности.

Описано применение рассмотренного подхода к АСУ услугами связи, функционирующей на основе модели eTOM. В результате достигнуто снижение времени перестроения диагностической модели за счет применения модуля постобработки данных мониторинга на основе технологии process-mining. Показано, что повышение актуальности диагностической информации обеспечивает рост коэффициента функциональной пригодности автоматизированной системы на 1–6 % при ограничении ресурсов на модернизацию.

Предложенный подход к диагностике функциональной пригодности эволюционирующих многофункциональных автоматизированных систем может быть использован при обосновании тактико-технических требований к перспективным системам, а также при реализации системотехнических решений в рамках процессов их проектирования для обеспечения более высокой информированности инженерного персонала.

Ключевые слова: автоматизированная система, многофункциональность, пригодность, неопределенность, требования, назначение, мониторинг.

Широкое внедрение средств автоматизации во многие сферы функционирования предприятий и организаций обусловило формирование и развитие многофункциональных автоматизированных систем (МФ АС). В некоторых случаях итеративный характер построения таких систем привел к включению в их состав множества разнотипных функциональных компонентов, автоматизирующих отдельные виды деятельности. Например, в АСУ предоставлением услуг связи, согласно модели eTOM, можно выделить более 300 эталонных процессов, выполнение которых

обеспечивается функциональными компонентами автоматизации.

С другой стороны, ускорение научно-технического прогресса, интенсивность изменения рынка и требований регуляторов приводят к росту изменений требований к назначению АС по функциям, формам и процедурам их выполнения. Для успешного функционирования предприятие вынуждено подстраивать АС под новые требования, что определяет важность диагностики функциональной пригодности – то есть определения степени соответствия

набора предоставляемых функций автоматизации текущим потребностям в них. Решение такой задачи в рамках цикла внешнего проектирования систем не обеспечивает требуемой оперативности получения оценок функциональной пригодности эволюционирующих АС. Такая ситуация определяет актуальность рассмотрения проблемы диагностирования развивающихся МФ АС в условиях быстрого изменения требований назначения.

Обзор подходов

Управление развитием МФ АС требует наличия оценок пригодности в соответствии с текущей системой требований. Решение такой задачи в непрерывном режиме реализуется за счет применения перестраиваемых *диагностических моделей* (ДМ). С точки зрения диагностирования функциональной пригодности МФ АС при изменении систем требований в условиях неопределенности основными являются синтез перестраиваемых ДМ, повышение точности диагностирования за счет применения интеллектуальных технологий, использование нечетких методов для снижения неопределенности, применение механизмов выявления изменений требований [1–4].

Проблема динамической реконфигурации ДМ решается для областей управления сложными системами, изменяющимися в процессе функционирования. При диагностировании реконфигурируемых процессов в условиях помех эффективно использование операторных схем программ, а также их распараллеленных форм (параллельных граф-схем алгоритмов, спусковых функций, информационно-логических схем, счетчиковых сетей) [1, 5]. В работах [1, 6] вводятся обобщенные условия правильного функционирования через интерпретацию свойств алгоритмических систем: избирательность (дефект – операция из недопустимого множества), упорядоченность (нарушение порядка операций), результативность (отсутствие результата), своевременность (нет временных соответствий), предложены теоретико-множественные модели на основе информационно-логических схем процессов, позволяющие учитывать свойства многоаспектности и реконфигурации.

В [7] рассматривается проблема динамической реконфигурации ДМ при анализе и идентификации технического состояния с использованием трафаретных моделей, описываемых коротким набором конфигурационных функций. Для

многокомпонентных систем строят сложные модели диагностики, которые на практике необходимо упрощать. Для этого применяют различные методы. Например, в [8] исследованы вопросы развития систем диагностики и прогнозирования сложных технических систем, в [9] предложена распределенная система мониторинга и обоснованы уровни разукрупнения сложной системы. Оптимизация процесса диагностирования может осуществляться различными способами. Для распределенных диагностических систем необходимо введение промежуточных узлов, решающих часть задач предварительной диагностики: рассматривается задача создания агента-медиатора для выполнения диагностических функций в режиме реального времени; в [10] предложена централизованно-распределенная схема обработки диагностической информации.

Интеллектуальные технологии для повышения точности диагностирования базируются на использовании методов обучения. В [11] предлагается робастная модель диагностирования на основе двоичной классификации: для формирования робастной к искажениям данных модели можно использовать модель ϵ -защиты для расширения выборки. В [12] предложено обучение с группировкой и ранжированием, что обеспечивает максимальное влияние на формирование изображений образов, наиболее характерных для соответствующих видов технического состояния системы. В [13] описан подход к диагностике методами машинного обучения с использованием многоклассовой классификации.

В условиях неполноты и неоднородности исходной информации для построения ДМ предлагается использовать нечеткие графы [14], преобразование траекторий выходных процессов на основе теории пространств измеримых функций и интеграла Лебега [12], многослойные нейросети [15, 16]. Для совершенствования методов диагностики широко используются методы обучения и нечеткие правила определения отказов (диагностики), нейро-нечеткие сети, нечеткие ДМ, теория нечетких мер. В [17] приведены модели экспертной системы диагностирования на основе системы нечеткого вывода. В [18] предложена методика синтеза нейросетевых ДМ сложных технических объектов на основе фазификации с применением следящего контрольного сигнала для контроля остатков регрессии.

Механизмы выявления изменений требований назначения АС составляют развитую

методическую базу. Изменение требований с течением времени показывает выделение отдельного подпроцесса управления ими [19]. В качестве методов управления требованиями рассматриваются унифицированный процесс разработки Rational Unified Process (RUP), метод управления требованиями Rational Dynamic Object Oriented Requirements System (DOORS), метод работы с требованиями Consortium Requirements Engineering Method (CoRE), элементы метода разработки Rigorous Approach to Industrial Software Engineering (RAISE) и методология нечетких систем (Soft System Methodology). В рамках подпроцесса идентификации применяют механизмы спецификации (например, с использованием методов Goal Question Metrics (GQM), Resource Description Framework (RDF), Goal Argument Metric (GAM), Balanced Scorecard Framework (BSc), кластеризации) [20, 21]. Продолжается совершенствование методов выявления изменения требований: в [22] предложено расширение Goal Question Agility Metrics для гибких условий разработки, в [23] – применение проактивного управления изменением требований Proactive Management of Requirement Changes (ProMaRC), в [24] – механизм Two Phase SRS для выявления, подсчета и прогнозирования изменения требований для программных средств. Рассмотренные подходы ориентированы на выявление изменения требований в рамках процессов внешнего проектирования систем и не могут полноценно использоваться для развивающихся АС.

Результаты анализа известных работ в области диагностирования показывают, что проблема определения технического состояния МФ АС для перестраиваемых АС в условиях неопределенности при наличии адекватной системы требований может быть решена известными методами. Выявление новых требований к МФ АС на их основе не позволяет получать адекватную информацию и формировать пригодную схему диагностирования функциональной пригодности. Необходимость наличия адекватной информации о соответствии МФ АС текущей системе требований при управлении функциональным развитием определяет потребность в доработке механизмов диагностирования.

Проблема диагностирования функциональной пригодности АС

Для МФ АС, состоящих из множества функциональных компонентов, характерно непре-

рывное развитие [25]. Изменения внешней среды Y и потребностей в автоматизации $N \subset Y$ приводят к устареванию действующей системы требований. Функциональные компоненты автоматизации модернизируют, добавляют новые, область применения автоматизации обычно расширяется (для повышения эффективности новых видов деятельности), их технические характеристики изменяются. При этом проектирование таких улучшений автоматизации в основном осуществляется во время функционирования системы.

В соответствии с [26] при развитии сложных систем различия между видами деятельности по проектированию и эксплуатации стираются. Для успешного выполнения инженерных процессов необходимо учитывать опыт реализации изменений и расширений МФ АС, накопленный в повседневном управлении. Оперативное управление должно обеспечивать процесс внедрения инноваций в работающую АС. Валидация и проверка должны выполняться на рабочей функционирующей системе. Такая интеграция процессов управления изменяет жизненный цикл и усиливает роль моделей в обоих инженерных процессах [27]. Таким образом, развитие АС требует методов, инструментов и моделей, которые могут быть использованы в процессе как проектирования, так и эксплуатации.

В соответствии с сервис-ориентированным подходом [28] МФ АС S , предоставляющая набор сервисов автоматизации, описывается множеством *функциональных компонентов* (ФК) $\{S_i\}$ и связей SN между ними: $\langle \{S_i\}, SN \rangle$, $i = (1, n)$. Требования rs_i , которые не могут быть выполнены силами эксплуатирующих подразделений, образуют поток значимого изменения функционального назначения λ_{μ} . Интенсивность изменения функционального назначения МФ АС зависит от внешних факторов, однако может быть оценена через количество ФК и среднего времени их эксплуатации (до морального устаревания): $\mu = \mu(n, t_{\text{функ.}})$ (заявок на модернизацию в единицу времени).

Рассмотрим ситуацию, когда количество ФК увеличивается, а время их активного функционирования снижается (для МФ АС с несколькими десятками функций). На рисунке 1 показано, что такая ситуация приводит к увеличению интенсивности изменения требований назначения, что подчеркивает необходимость непрерывного управления развитием МФ АС.

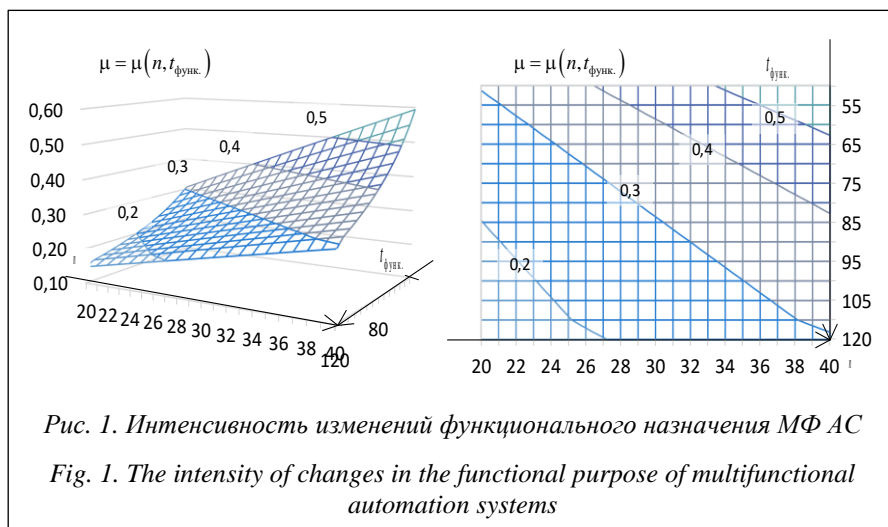


Рис. 1. Интенсивность изменений функционального назначения МФ АС
 Fig. 1. The intensity of changes in the functional purpose of multifunctional automation systems

В соответствии с ГОСТ Р 58494-2019, актуальность ДМ при допущении возможности экспоненциальной аппроксимации распределения характеристик наблюдаемой МФ АС и их независимости при периодическом перестроении модели может быть определена по формуле

$$P_{a, дм} = k_{дм} \frac{\xi^2}{q(\xi + t_{обр.})} \left[1 - e^{-\frac{q}{\xi}} \right], \quad (1)$$

где $\xi = 1/\mu$ – среднее время между значимыми изменениями функционального назначения; q – период перестроения модели; $t_{обр.}$ – среднее время построения модели ($t_{обр.} \ll q$); $k_{дм} = 1 - \varepsilon_{дм}$ – поправочный коэффициент. Поскольку $t_{обр.} \ll q$, выражение (1) можно привести к виду

$$P_{a, дм} = k_{дм} \frac{\xi}{q} \left[1 - e^{-\frac{q}{\xi}} \right]. \quad (2)$$

Вероятность ошибки принятия решения определяется в зависимости от актуальности ДМ $P_{a, дм}$ и информации о состоянии МФ АС $P_{акт.}$. В предположении о степенном характере зависимости величины ошибки от актуальности информации можно определить вероятность ошибки:

$$P_{ош.} = 1 - k_{бо} (P_{a, дм} P_{акт.})^\beta, \quad (3)$$

где $k_{бо}$ – коэффициент, характеризующий исходную ошибку принятия решений при полной информации; β – параметр, характеризующий зависимость ошибки от объема информации. Недостаточная актуальность ДМ для рассматриваемых МФ АС (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-2/2022-2-dop/7.jpg>) определяется длительным периодом перестроения модели q по сравнению со временем между поступлениями заявок на модернизацию.

В качестве целевого показателя эффективности МФ АС в работе рассматривается ее функциональная пригодность по ГОСТ Р 25010-2015. Коэффициент функциональной пригодности K показывает полноту соответствия требованиям назначения с учетом эффектов влияния на управленческие и технологические процессы организации и может

быть рассчитан как средневзвешенное значение пригодности ФК k_i^{cp} : $K = \sum_{i=1}^n \alpha_i k_i$, где α_i – важность ФК. Коэффициент K МФ АС зависит от вероятности ошибки принятия решений из-за несоответствия диагностической информации: $K = K(P_{a, дм})$. Оценочные значения изменения коэффициента K при ограниченных ресурсах на модернизацию при $P_{a, дм}$ приведены на рисунке 2 (лимиты ресурсов обеспечивают модернизацию МФ АС при $\mu = 0,3$).

Результаты показывают наличие проблемы несоответствия возможностей систем диагностики требованиям по управлению функциональными возможностями эволюционирующих АС. Источником проблемы является длительное время перестроения ДМ из-за разнесенности контуров выявления изменения требований (этап внешнего проектирования для МФ АС) и мониторинга функционального состояния МФ АС. Решение проблемы может быть достигнуто за счет совершенствования механизмов диагностики функционального развития АС путем учета возможности изменения требований назначения МФ АС в ДМ.

Потоки заявок на изменение функционального назначения МФ АС

Для МФ АС характерно непрерывное изменение функциональных требований к сервисам автоматизации [29]. Основные причины изменения требований следующие [19, 30]:

- внешние условия (требования рынка и регуляторов);
- изменение организации (организационно-штатные, нормативные изменения);

- переосмысление проекта (изменение технологических процессов, границ МФ АС);
- спецификация требований (переосмысление требований и их уточнение, приведение в соответствие с реальным положением дел);
- возможности и ограничения автоматизации (влияние технических и технологических решений).

Результаты анализа показывают, что изменение системы требований [31–33] связано не только с изменением самих требований, что характеризует динамику назначения системы, но и с устранением неточностей описания требований, что относится к области совершенствования процесса управления требованиями. В [32, 33] показано, что наибольший вклад в

даются основные цели, задачи и принципы управления требованиями на всех стадиях жизненного цикла МФ АС (например, по ГОСТ 59194-2020).

Подход к диагностированию функциональной пригодности МФ АС на основе перестраиваемой ДМ

В типовых схемах организации МФ АС выявление изменения требований назначения осуществляется в рамках внешнего проектирования системы (специализированными организациями или процедурами). Предприятия, ориентированные на выпуск сложной технической продукции, выявляют изменения требований назначения в ходе постоянного процесса, например, с использованием PLM-систем. Однако этот процесс ориентирован на анализ новых потребностей у группы потребителей и не может непосредственно использоваться в системах непрерывного управления МФ АС.

В данной работе диагностирование функциональной пригодности МФ АС в условиях

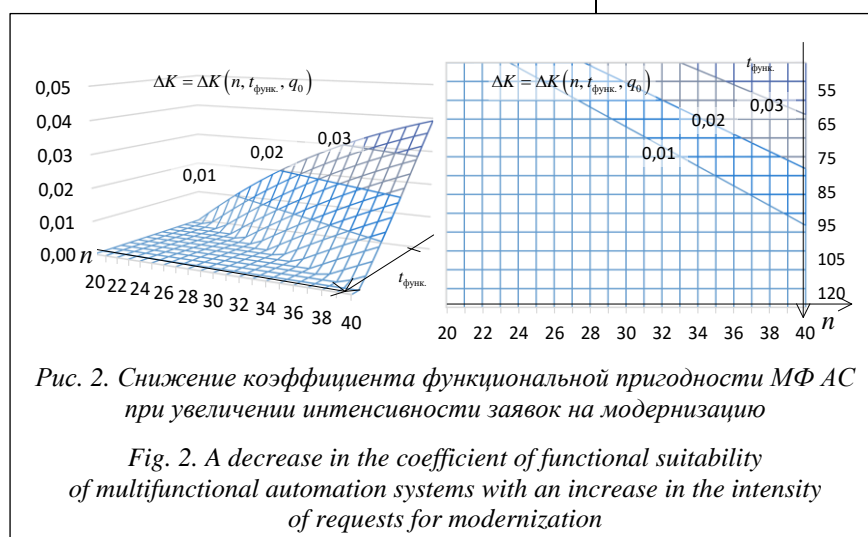


Рис. 2. Снижение коэффициента функциональной пригодности МФ АС при увеличении интенсивности заявок на модернизацию

Fig. 2. A decrease in the coefficient of functional suitability of multifunctional automation systems with an increase in the intensity of requests for modernization

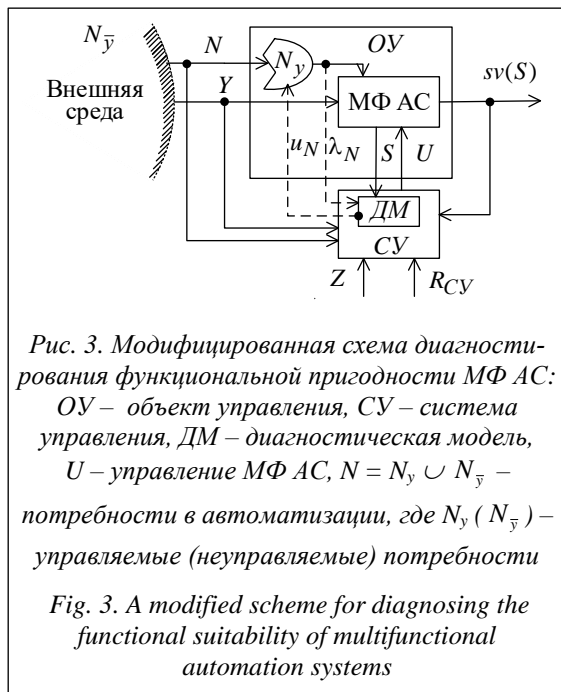
процесс уточнения требований вносят сложность, каскадное влияние, размер системы требований, определения, затрачиваемые усилия, приоритеты и взаимоотношения с заказчиком.

Поток заявок на изменение требований назначения МФ АС λ_N представляет собой групповой поток неоднородных событий: $\lambda_N = \langle \lambda(y, t), \{f_k\} \rangle$, где $\lambda(y, t)$ – интенсивность наступления групп событий, $\{f_k\}$ – набор вероятностей наступления k событий в группе, $\sum f_k = 1$. Поступление новых заявок n_j приводит к изменению требований назначения $rs = rs(t)$. Следствием этого являются изменения функциональной пригодности $k = k(t)$ и значимости $\alpha = \alpha(t)$ отдельных ФК.

Значительную часть заявок (например, почти не бывает заявок на вывод из эксплуатации неиспользуемого ФК) необходимо выявлять с использованием специального инструментария. Для поддержания системы требований в актуальном состоянии и выявления новых за-

высокой интенсивности изменения требований назначения предлагается выполнять путем встраивания контура выявления изменения требований назначения в систему диагностирования (рис. 3): контур управления заявками на изменение u_N – поток заявок λ_N (отмечено пунктиром). Этим достигается снижение времени на выявление расхождений между потребностями в автоматизации и предоставляемыми услугами. Данные о внешней среде Y , параметры функционирования АС S и предоставляемые ею услуги автоматизации $sv(S)$, цели Z и ресурсы R_{CY} автоматизации остаются в модели без изменения. Предлагаемый подход к диагностированию заключается в адаптации постоянно действующих механизмов выявления изменения требований к условиям непрерывного развития МФ АС.

Изменение схемы диагностирования иллюстрирует рисунок 4. Исходная модель диагностирования функциональной пригодности МФ



АС предполагает при изменении требований назначения наряду с корректировкой целей управления перестраивать систему требований. Традиционно такая операция на уровне

всей МФ АС выполняется при периодическом перестроении системы требований. В то же время частные требования к ФК обрабатываются в ходе оперативного управления.

Модифицированная схема (рис. 4) предполагает включение управляемого компонента источника требований в состав объекта управления, соответственно, контур диагностики функциональных изменений начинается на этапе структурного синтеза модели. Данные о новых требованиях оперативно модифицируют ДМ и позволяют определять рассогласование функций и потребностей в автоматизации.

Модификация схемы диагностирования функциональной пригодности МФ АС требует развития программных средств информационно-аналитического обеспечения деятельности подразделения администрирования. Такая система, обеспечивающая автоматизацию сбора заявок на изменение требований назначения и разработанная в соответствии с ГОСТ 59194-2020, представлена на рисунке 5.

Программное средство диагностики функциональной пригодности включает:

- набор интерфейсов к системе мониторинга состояния МФ АС (рис. 5);

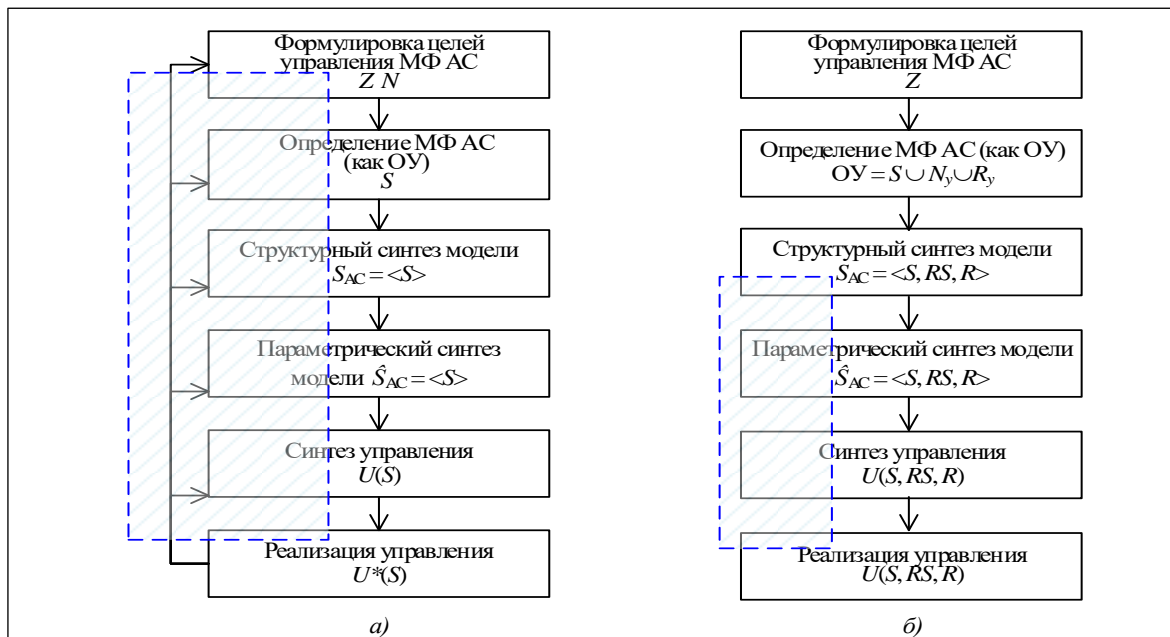


Рис. 4. Изменение контура диагностики функциональной пригодности в цикле управления МФ АС: а) исходная и б) модифицированная схемы перестроения системы требований назначения:

$S(OU = S \cup N_y \cup R_y)$ – исходный (модифицированный) объект управления; S_{AC} – структурная модель МФ АС; \hat{S}_{AC} – параметрическая модель МФ АС; $U(S)$, $U(S, RS, R)$ – исходное (модифицированное) управление МФ АС; U^ – реализация управления; $RS = RS(N)$ – система требований назначения; R (R_y) – ресурсы (управляемые) обеспечения функционирования МФ АС*

Fig. 4. Changing the circuit for diagnosing functional suitability of multifunctional automation systems

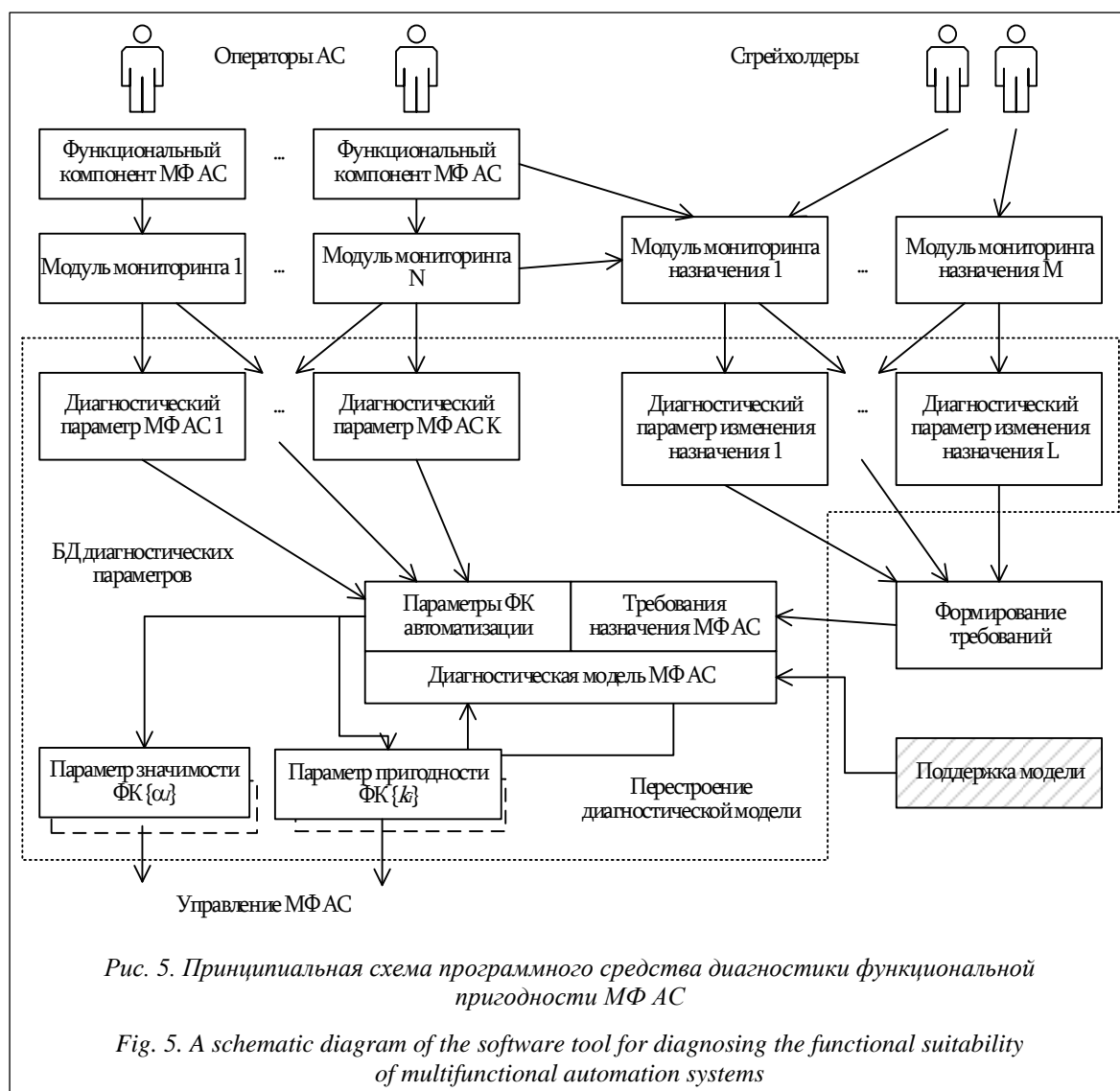


Рис. 5. Принципиальная схема программного средства диагностики функциональной пригодности МФ АС

Fig. 5. A schematic diagram of the software tool for diagnosing the functional suitability of multifunctional automation systems

– набор программных модулей сбора данных об изменении потребностей в автоматизации (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-2/2022-2-dop/8.jpg>);

– ДМ функциональной пригодности, построенную на основе БД и включающую набор расчетных модулей по каждому диагностическому параметру (рис. 6);

– набор расчетных моделей формирования (изменения) системы требований.

Алгоритм работы: для выявления изменений требований с использованием модулей мониторинга назначения собирают заявки на изменения. На основе потока заявок формируют требования (модуль «Формирование требования»), которые заполняют элемент «Требования назначения» ДМ. В модуле «Диагностическая модель» рассчитываются оценки параметров значимости и пригодности по всем ФК.

При отличии структуры ДМ от требований (например, несовпадение списка требуемых ФК автоматизации с существующим перечнем) осуществляется ее перестроение, в рамках которого формируют новые диагностические параметры МФ АС и разворачивают дополнительные средства мониторинга. Сформированные новые требования назначения также используют далее при проектировании, развертывании, тестировании и верификации соответствия МФ АС требованиям к автоматизации.

Сбор данных об изменении функциональной пригодности

Сбор данных о функциональной пригодности МФ АС выполняется на основе анализа предоставляемых сервисов автоматизации и выявления потока заявок на изменения. Выде-

ляют две подсистемы мониторинга (модули мониторинга и мониторинга назначения на рисунке 5): требований назначения МФ АС и состояния МФ АС.

Сбор данных о функционировании МФ АС ведется стандартными способами путем пассивного и активного мониторинга. Мониторинг требований назначения выполняется для двух классов объектов: существующих и новых ФК (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-2/2022-2-dop/8.jpg>). В составе программного средства выделяют пять механизмов мониторинга:

- постобработка данных, собранных в рамках диагностики состояния ФК, предполагающая выделение новой информации об изменении структуры процессов и опосредованных оценок об эффективности автоматизации [34];
- специально созданные средства мониторинга применения, направленные на пассивное и активное выявление ошибок и недостатков функционирования ФК;
- сбор заявок на модернизацию и создание новых компонентов (через службы поддержки пользователей);
- анкетирование (включая опросы и обработку документации);
- анализ источников требований (заинтересованных лиц) с целью определения множества характеристик источников требований N (включая характеристики управляемости/сотрудничества) и потоков требований λ_N .

Каждый модуль мониторинга генерирует потоки заявок на модернизацию МФ АС, которые объединяются в единый поток. В рамках обобщения заявок осуществляются формирование измененной системы требований назначения и перестроение структуры ДМ.

Диагностическая модель МФ АС

На основе модифицированной модели объекта управления организуется ДМ TM , применяемая для оценки функциональной пригодности МФ АС [27]. Модель TM имеет гибкую структуру и состав, изменяемый в соответствии с изменением назначения МФ АС (рис. 6):

$$TM = \langle TM^f, TM^d, TM^q, TM^{kq} \rangle, \quad (4)$$

где TM^f – модель функционирования МФ АС, которая объединяет множество контролируемых и измеряемых параметров $\{fs\}$, параметров условий применения $\{fs\}^Y$ и параметров, описывающих потребности в автоматизации $\{fs\}^Z$; $TM^d = \langle TM^s, TM^X \rangle$ – ДМ, определяющая

техническое состояние МФ АС и операционного окружения, в котором она функционирует: TM^s – ДМ ФК АС, TM^X – модель состояния операционного окружения. Для оценки пригодности используются: $TM^q = \{W, Q^{lc}\}$ – модель мгновенной функциональной пригодности МФ АС (текущее значение коэффициента функциональной пригодности), где W – оценка пригодности, Q^{lc} – модель стадии жизненного цикла; $TM^{kq} = E = \langle \mathcal{E}, R \rangle$ – модель долговременной пригодности МФ АС, где $E = \langle \mathcal{E}, R \rangle$ – множество пар оценок пригодности и ресурсоемкости. Структура модели объекта управления S_w^* перестраивается на основе результатов обработки ретроспективной и текущей информации о МФ АС и внешней среде.

Результаты мониторинга требований назначения $\{fs\}^Z$ (например, реакции пользователей на использование АС, количество необслуженных запросов в единицу времени, субъективная удовлетворенность класса пользователей в предоставляемых функциях) собираются на первом слое модели TM .

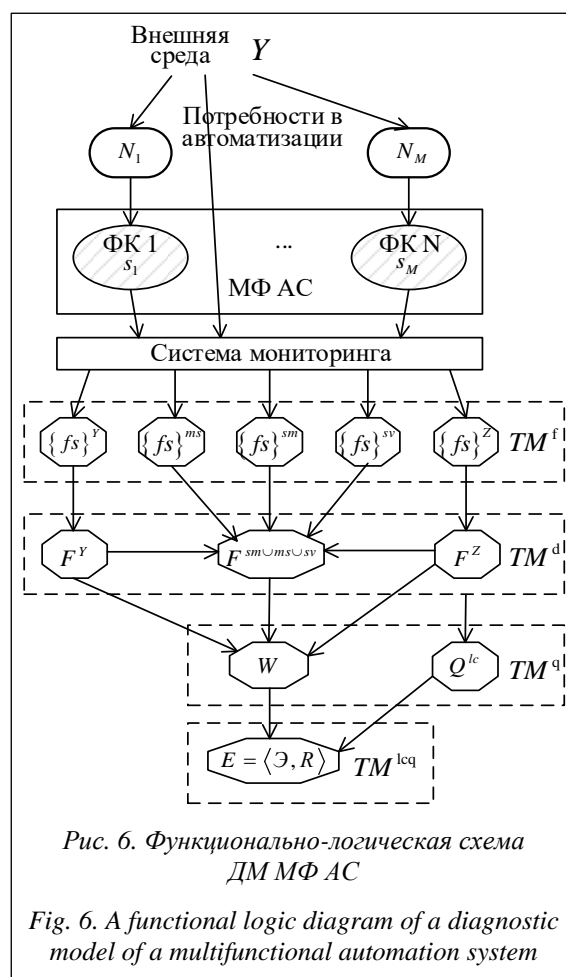


Рис. 6. Функционально-логическая схема ДМ МФ АС

Fig. 6. A functional logic diagram of a diagnostic model of a multifunctional automation system

Применение метода диагностики функциональной пригодности к МФ АС

Вопросы диагностики функциональной пригодности характерны для МФ АС с малой продолжительностью жизненного цикла ФК. Характерным примером являются АС управления услугами связи, построенные на основе технологии eТОМ. Характеристики АС услугами связи: управление предоставлением каждой услуги связи реализует отдельный функциональный компонент, количество одновременно предоставляемых услуг – несколько десятков, срок предоставления услуги – год/два. Основной движущий фактор использования новых ФК – внедрение новых технологий и опосредованно влияние рынка (необходимо предоставлять продукты не хуже, чем у конкурентов).

Рассмотрим эффект применения диагностики функциональной пригодности в условиях недостатка ресурсов на модернизацию. Применительно к сетям связи это означает возможность поддержания только ограниченного количества ФК (предоставление ограниченного набора услуг). Основные характеристики МФ АС: время функционирования ФК до морального устаревания $t_{\text{функ.}} \in [50, 120]$ недель, количество ФК $n \in [20, 40]$ штук. Неуправляемые характеристики системы управления модернизацией: интенсивность создания новых ФК $\mu_N = 1/3$ заявок в неделю, время создания нового ФК $t_{\text{восс.}} = 10$ недель. Увеличение интенсивности поступления заявок на новые функциональные требования (услуги связи) приводит к снижению актуальности ДМ $P_{a, \text{ДМ}}$ (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-2/2022-2-dop/9.jpg>).

Снижение времени перестроения модели позволяет повысить ее адекватность. Применительно к АС управления услугами связи снижение времени перестроения ДМ достигается применением модуля постобработки данных мониторинга (на основе технологий process-mining). Модуль позволяет на основе журналов мониторинга АС выявлять изменения процессов использования ФК и тем самым определять потребности на их изменение. Достигается

снижение скважности обновления требований к существующим сервисам в среднем с 7 до 1 суток (переход с ручного процесса раз в неделю на автоматический, повторяющийся раз в сутки) и обеспечивается снижение среднего времени перестроения ДМ на 15–27 %.

Оценки прироста коэффициента функциональной пригодности МФ АС (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-2/2022-2-dop/10.jpg>) показывают, что применение диагностирования функциональной пригодности АС позволяет получить больший эффект в условиях ограниченной ресурсообеспеченности. В этом случае для МФ АС достижим прирост коэффициента функциональной пригодности на 1–6 %, что равнозначно поддержке дополнительно 1–3 функциональных компонентов (расширение набора предоставляемых услуг связи). На рисунке показан прирост величины коэффициента функциональной пригодности МФ АС услугами связи K в зависимости от количества ФК n и исходного времени перестроения ДМ (уточнения системы требований) q при ограниченных ресурсах (интенсивность создания новых ФК $\mu_N = 1/3$ заявок в неделю).

Заключение

В работе рассмотрена проблема диагностирования функциональной пригодности МФ АС в процессе их непрерывного развития. Показано, что в условиях высокой интенсивности изменения требований назначения с целью обеспечения заданного уровня функциональной пригодности необходимо дополнительно внедрять механизмы диагностики изменения потребностей в автоматизации. Предложенный в работе подход заключается в вводе контура выявления требований в цикл оперативного управления АС и использовании перестраиваемой ДМ, учитывающей возможность изменения требований назначения. Результаты исследования показывают, что для МФ АС внедрение такой перестраиваемой ДМ и снижение времени обновления информации позволяют повысить значение коэффициента функциональной пригодности за счет более высокой информированности.

Литература

1. Nikishchenkov S.A. Methods for monitoring of reconfigurable transport systems based on trigger functions. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2018, vol. 194, art. 062025. DOI: 10.1088/1755-1315/194/6/062025.

2. Панычев С.А. Безэталонный способ контроля работоспособности бортовой вычислительной системы в конструктиве концепции ИМА // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6. № 1. С. 86–98. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_34971161_73180673.pdf (дата обращения: 16.01.2022).
3. Fedorova N., Fomin O., Ruban O., Pavlenko V. Construction of the diagnostic model based on combining spectral characteristics of nonlinear dynamic objects. *Applied Aspects of Information Technology*, 2020, vol. 3, no. 1, pp. 431–442. DOI: 10.15276/aait.01.2020.5.
4. Клейман Л.А. Методика принятия решений в задаче диагностики элементов информационно-управляющих систем // Вестн. ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2021. № 38. С. 90–109.
5. Аббасова Т.С., Артюшенко В.М. Структурно-параметрический синтез нечетких диагностических моделей для контроля состояния современных инфокоммуникационных систем // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2019. № 7. С. 39–45. DOI: 10.14489/vkit.2019.07.pp.039-045.
6. Никищенков С.А., Асабин В.В., Иващенко М.Ф. Многоаспектная теоретико-множественная операционно-событийная метамодель реконфигурируемых технологических процессов // Вестн. транспорта Поволжья. 2018. № 6. С. 54–60.
7. Савкин Л.В. О проблеме динамической реконфигурации диагностических моделей в реконфигурируемой системе функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата // Решетневские чтения: матер. Междунар. конф. 2015. Т. 1. № 19. С. 252–253.
8. Коптев Д.С., Мухин И.Е. Современные направления развития систем диагностики и прогностики технического состояния перспективных летательных аппаратов // Изв. ЮЗГУ. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медициноское приборостроение. 2020. Т. 10. № 1. С. 94–113.
9. Винограденко А.М., Васильев В.А., Веселовский А.П., Меженев А.В. Диагностирование и идентификация технического состояния распределенных радиоэлектронных систем // Автоматизация и измерения в машино- приборостроении. 2018. № 3. С. 50–66.
10. Бухтояров В.В., Тынченко В.С., Бухтоярова Н.А. Анализ диагностической информации в киберфизической производственной системе // Перспективы науки. 2019. № 12. С. 72–74.
11. Гоголевский А.С., Романов А.В., Рассадин А.В., Уткин Л.В. Робастная модель диагностической классификации с генерацией дискретных признаков // Тр. Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 647. С. 6–11.
12. Грушковский П.А., Сеньченков В.И. Диагностические модели сложных технических систем на основе методов обучения // Тр. Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2016. № 651. С. 166–173.
13. Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Ломовцева Н.А. Диагностика состояния технического объекта с помощью классификации методами машинного обучения // Программные продукты и системы. 2021. № 4. С. 572–578. DOI: 10.15827/0236-235X.136.572-578.
14. Кораблев Ю.А. Диагностические модели на основе нечетких графов // Матер. Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям. 2017. Т. 1. С. 333–336.
15. Красовский В.Н., Красовская Н.И., Сычева А.В., Якубовская С.В. Методическая реализация применения когнитивных технологий в диагностике сложных технических систем // Науч.-технич. вестн. Поволжья. 2020. № 5. С. 61–64.
16. Бухтоярова Н.А., Бухтояров В.В., Тынченко В.С. Исследование методов параметрической адаптации нейросетевых моделей для системы поддержки принятия решений при диагностике технологического оборудования // Науч.-технич. вестн. Поволжья. 2019. № 12. С. 103–105.
17. Коннов С.А. Математическая модель диагностирования объекта электроэнергетического оборудования с классификацией технического состояния в нечеткой логической системе // Изв. Института инженерной физики. 2019. № 2. С. 22–25.
18. Грачев В.В., Грищенко А.В., Кручек В.А. и др. Методика синтеза нейросетевых диагностических моделей сложных технических объектов // Автоматика на транспорте. 2020. Т. 6. № 4. С. 466–483. DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-4-466-483.
19. Jayatilleke Sh., Lai R. A systematic review of requirements change management. *Information and Software Technology*, 2018, vol. 93, pp. 163–185. DOI: 10.1016/j.infsof.2017.09.004.
20. Jayatilleke Sh., Lai R., Reed K. Managing software requirements changes through change specification and classification. *Computer Science and Information Systems*, 2017, vol. 15, no. 2, pp. 321–346. DOI: 10.2298/CSIS161130041J.
21. Sanaa H., Afifi W., Ramadan N. The goal questions metrics for agile business intelligence. *Egyptian Computer Science J.*, 2016, vol. 40, no. 2, pp. 24–41.
22. Kassou M., Kjiri L. A goal question metric approach for evaluating security in a service oriented architecture context. *IJCSI*, 2012, vol. 9, no. 1, iss. 4.

23. Gräßler I., Oleff C., Preuß D. Proactive management of requirement changes in the development of complex technical systems. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, no. 4, p. 1874. DOI: 10.3390/app12041874.
24. Afaq S.A., Faisal M. An efficient approach for software requirement change identification. *J. of Huazhong University of Science and Technology*, 2021, 8 p.
25. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. и др. Концепция и технологии проактивного управления жизненным циклом изделий // *Изв. высших учебных заведений. Приборостроение*. 2020. Т. 63. № 2. С. 187–190. DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-2-187-190.
26. Towards a European RoadMap on Research and Innovation in Engineering and Management of Cyber-Physical Systems of Systems. Core Research and Innovation Areas in CPSoS. 2014, 18 p. URL: <https://www.cpsos.eu/wp-content/uploads/2014/12/CPSoS-Initial-Research-and-Innovation-Priorities-Document-Nov.-2014.pdf> (дата обращения: 10.12.2021).
27. Логинов И.В. Управление качеством предоставления телекоммуникационных услуг на основе адаптивных технологических моделей // *Инфокоммуникационные технологии*. 2018. Т. 16. № 1. С. 48–57. DOI: 10.18469/ikt.2018.16.1.05.
28. Дементьев Д.Н., Гришаков В.Г., Логинов И.В., Христенко Д.В. Сервис-ориентированная модель телекоммуникационной системы // *Инфокоммуникационные технологии*. 2015. Т. 13. № 1. С. 51–58.
29. Гришаков В.Г., Логинов И.В. Управление динамической реконфигурацией ИТ-инфраструктуры в меняющихся условиях // *ИСиТ*. 2016. № 3. С. 13–22.
30. Dasanayake S., Aaramaa S., Markkula J., Oivo M. Impact of requirements volatility on software architecture: How do software teams keep up with ever-changing requirements? *J. of Software: Evolution and Process*, 2019, vol. 31, no. 6, art. e2160. DOI: 10.1002/smr.2160.
31. Akbar M.A., Mahmood S., Huang Zh., Khan A.A., Shameem M. Readiness model for requirements change management in global software development. *J. of Software: Evolution and Process*, 2020, vol. 32, no. 10, art. e2264. DOI: 10.1002/smr.2264.
32. Jayatilleke S., Lai R., Reed K. A method of requirements change analysis. *Requirements Engineering*, 2018, vol. 23, pp. 493–508. DOI: 10.1007/s00766-017-0277-7.
33. Loucopoulos P., Kavakli E., Chechina N. Requirements engineering for cyber physical production systems. *Advanced Information Systems Engineering*, 2019, pp. 276–291. DOI: 10.1007/978-3-030-21290-2_18.
34. Бударевский И.С., Гришаков В.Г., Логинов И.В. Обобщенный подход к автоматизации оценивания бизнес-процессов организации связи на основе технологий process-mining // *Инфокоммуникационные технологии*. 2017. Т. 15. № 4. С. 371–379. DOI: 10.18469/ikt.2017.15.4.09.

Software & Systems
DOI: 10.15827/0236-235X.138.195-207

Received 22.12.21, Revised 30.03.22
2022, vol. 35, no. 2, pp. 195–207

Diagnosing the functional suitability of developing multifunctional automated systems based on a reconfigurable model

*I.V. Loginov*¹, Ph.D. (Engineering), loginov_iv@bk.ru

¹ *The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, Orel, 302020, Russian Federation*

Abstract. The paper considers the problem of low relevance of the diagnostic functional suitability model for multifunctional automation systems in the case of high intensity flow of requests for new automation services.

The solution of the problem is changing the contour of diagnosing the functional suitability of multifunctional automated systems based on clarifying the boundaries of the control object. At the same time, the functions of identifying changes in requirements are transferred from external system design (the stage of adjusting management goals) to the stage of structural synthesis of the system model.

There is a developed approach for diagnosing the functional suitability of multifunctional automated systems based on the inclusion of additional diagnostic parameters of the requirements changes to the diagnostic model; the use of an adaptive diagnostic model that changes its structure depending on the identified requirements; adding additional mechanisms for collecting data on new needs in the automation. The paper presents a description of the software tool for information and analytical support of the activities of the automated system administration unit developed according to the GOST 59194-2020. The software basis is a database that supports an automation system adaptive model and a set of interfaces for connecting monitoring software

(functional status and destination requirements). The mechanisms of collecting requirements data and their application in solving the problem of diagnosing functional suitability are considered.

The paper describes the considered approach to the automation control system for communication services operating based on the eTOM model. The using of a monitoring data post-processing module based on processing technology made it possible to reduce the time required to rebuild the diagnostic model. Increasing the relevance of diagnostic information provides an increase in the coefficient of functional suitability of the automation system by 1–6 % with limited modernization resources.

The proposed approach to diagnosing the functional suitability of evolving multifunctional automation systems can be used in substantiating the system, operating and technical requirements for promising systems, as well as in the implementation of system-technical solutions within the framework of their design processes to ensure higher awareness of engineering personnel.

Keywords: automated system, multifunctionality, suitability, uncertainty, requirements, purpose, monitoring.

References

1. Nikishchenkov S.A. Methods for monitoring of reconfigurable transport systems based on trigger functions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2018, vol. 194, art. 062025. DOI: 10.1088/1755-1315/194/6/062025.
2. Panychev S.A. Way of without-etalon control of on-board computer system operability according to IMA conception. *Modeling, Optimization and Information Technology*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 86–98. Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_34971161_73180673.pdf (accessed January 16, 2022) (in Russ.).
3. Fedorova H., Fomin O., Ruban O., Pavlenko V. Construction of the diagnostic model based on combining spectral characteristics of nonlinear dynamic objects. *Applied Aspects of Information Technology*, 2020, vol. 3, no. 1, pp. 431–442. DOI: 10.15276/aait.01.2020.5.
4. Kleiman L.A. Decision-making technique in the problem of information management systems elements diagnostics. *PNRPU Bull. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems*, 2021, no. 38, pp. 90–109 (in Russ.).
5. Abbasova T.S., Artyushenko V.M. Structural-parametric synthesis of fuzzy diagnostic models for monitoring the state of modern information and communication systems. *Herald of Computer and Information Technologies*, 2019, no. 7, pp. 39–45. DOI: 10.14489/vkit.2019.07.pp.039-045 (in Russ.).
6. Nikishchenkov S.A., Asabin V.V., Ivashchenko M.F. Set-theoretical operational and event metamodel of reconfigurable technological processes. *Vestn. Transporta Povolzhya*, 2018, no. 6, pp. 54–60 (in Russ.).
7. Savkin L.V. About the dynamic reconfiguration problem of a diagnostic models in reconfigurable system of functional control and diagnostics of the spacecraft onboard control complex. *Proc. XXV Int. Conf. Reshetnevskie Chteniya*, 2015, vol. 1, no. 19, pp. 252–253 (in Russ.).
8. Koptev D.S., Mukhin I.E. Modern directions for the development of diagnostic systems and forecasting the technical condition of prospective aircraft. *Proc. of the SWSU. Ser.: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 94–113 (in Russ.).
9. Vinogradenko A.M., Vasil'ev V.A., Veselovskiy A.P., Mezhenov A.V. Diagnosing and identification of technical condition of the distributed radio-electronic systems. *Automation and Measurements in Mechanical Engineering*, 2018, no. 3, pp. 50–66 (in Russ.).
10. Bukhtoyarov V.V., Tynchenko V.S., Bukhtoyarova N.A. Analysis of diagnostic information in a cyber-physical production system. *Science Prospects*, 2019, no. 12, pp. 72–74 (in Russ.).
11. Gogolevskiy A.S., Romanov A.V., Rassadin A.V., Utkin L.V. A robust model of diagnostic classification with generation of discrete features. *A.F. Mozhaysky Military-Space Academy Proc.*, 2015, no. 647, pp. 6–11 (in Russ.).
12. Grushkovskiy P.A., Sen'chenkov V.I. Diagnostic models of complex technical systems based on teaching methods. *A.F. Mozhaysky Military-Space Academy Proc.*, 2016, no. 651, pp. 166–173 (in Russ.).
13. Klyachkin V.N., Kuvayskova Yu.E., Lomovtseva N.A. Diagnosing the condition of a technical object using machine learning classification. *Software & Systems*, 2021, no. 4, pp. 572–578. DOI: 10.15827/0236-235X.136.572-578 (in Russ.).
14. Korablev Yu.A. Diagnostic models based on fuzzy graphs. *Proc. SCM*, 2017, vol. 1, pp. 333–336 (in Russ.).
15. Krasovskiy V.N., Krasovskaya N.I., Sycheva A.V., Yakubovskaya S.V. Method implementation of the application of cognitive technologies in the diagnosis of complex technical systems. *Sci. and Tech. Volga Region Bull.*, 2020, no. 5, pp. 61–64 (in Russ.).
16. Bukhtoyarova N.A., Bukhtoyarov V.V., Tynchenko V.S. Research of methods of neural networks training algorithms for decision support system for diagnostics of technological equipment. *Sci. and Tech. Volga Region Bull.*, 2019, no. 12, pp. 103–105 (in Russ.).

17. Konnov S.A. Mathematical model of diagnosing an object of electric power equipment with the classification of the technical state in a fuzzy logic system. *Izv. Instituta Inzhenernoy Fiziki*, 2019, no. 2, pp. 22–25 (in Russ.).
18. Grachev V.V., Grishchenko A.V., Kruchek V.A. et al. Methodology for synthesis of neural network diagnostic models of complex technical objects. *Automation on Transport*, 2020, vol. 6, no. 4, pp. 466–483. DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-4-466-483 (in Russ.).
19. Jayatilleke Sh., Lai R. A systematic review of requirements change management. *Information and Software Technology*, 2018, vol. 93, pp. 163–185. DOI: 10.1016/j.infsof.2017.09.004.
20. Jayatilleke Sh., Lai R., Reed K. Managing software requirements changes through change specification and classification. *Computer Science and Information Systems*, 2017, vol. 15, no. 2, pp. 321–346. DOI: 10.2298/CSIS161130041J.
21. Sanaa H., Afifi W., Ramadan N. The goal questions metrics for agile business intelligence. *Egyptian Computer Science J.*, 2016, vol. 40, no. 2, pp. 24–41.
22. Kassou M., Kjiri L. A goal question metric approach for evaluating security in a service oriented architecture context. *IJCSI*, 2012, vol. 9, no. 1, iss. 4.
23. Gräßler I., Oleff C., Preuß D. Proactive management of requirement changes in the development of complex technical systems. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, no. 4, p. 1874. DOI: 10.3390/app12041874.
24. Afaq S.A., Faisal M. An efficient approach for software requirement change identification. *J. of Huazhong University of Science and Technology*, 2021, 8 p.
25. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. et al. Concept and technologies of proactive management of product life cycle. *J. of Instrument Engineering*, 2020, vol. 63, no. 2, pp. 187–190. DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-2-187-190 (in Russ.).
26. *Towards a European RoadMap on Research and Innovation in Engineering and Management of Cyber-Physical Systems of Systems. Core Research and Innovation Areas in CPSoS*. 2014, 18 p. Available at: <https://www.cpsos.eu/wp-content/uploads/2014/12/CPSoS-Initial-Research-and-Innovation-Priorities-Documents-Nov.-2014.pdf> (accessed December 10, 2021).
27. Loginov I.V. Telecommunication services quality management based on adaptive technological models. *ICT*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 48–57. DOI: 10.18469/ikt.2018.16.1.05 (in Russ.).
28. Dement'ev D.N., Grishakov V.G., Loginov I.V., Khristenko D.V. Service oriented model of telecommunication system. *ICT*, 2015, vol. 13, no. 1, pp. 51–58 (in Russ.).
29. Grishakov V.G., Loginov I.V. The management of it-infrastructure dynamic reconfiguration in the changed conditions. *Information Systems and Technologies*, 2016, no. 3, pp. 13–22 (in Russ.).
30. Dasanayake S., Aaramaa S., Markkula J., Oivo M. Impact of requirements volatility on software architecture: How do software teams keep up with ever-changing requirements? *J. of Software: Evolution and Process*, 2019, vol. 31, no. 6, art. e2160. DOI: 10.1002/smr.2160.
31. Akbar M.A., Mahmood S., Huang Zh., Khan A.A., Shameem M. Readiness model for requirements change management in global software development. *J. of Software: Evolution and Process*, 2020, vol. 32, no. 10, art. e2264. DOI: 10.1002/smr.2264.
32. Jayatilleke S., Lai R., Reed K. A method of requirements change analysis. *Requirements Engineering*, 2018, vol. 23, pp. 493–508. DOI: 10.1007/s00766-017-0277-7.
33. Loucopoulos P., Kavakli E., Chechina N. Requirements engineering for cyber physical production systems. *Advanced Information Systems Engineering*, 2019, pp. 276–291. DOI: 10.1007/978-3-030-21290-2_18.
34. Budarevskiy I.S., Grishakov V.G., Loginov I.V. Generalized approach to business process estimation based on process mining technology. *ICT*, 2017, vol. 15, no. 4, pp. 371–379 (in Russ.).

Для цитирования

Логинов И.В. Диагностирование функциональной пригодности развивающихся многофункциональных автоматизированных систем на основе перестраиваемой модели // Программные продукты и системы. 2022. Т. 35. № 2. С. 195–207. DOI: 10.15827/0236-235X.138.195-207.

For citation

Loginov I.V. Diagnosing the functional suitability of developing multifunctional automated systems based on a reconfigurable model. *Software & Systems*, 2022, vol. 35, no. 2, pp. 195–207 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.138.195-207.