

**ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОАКТИВНОГО МОНИТОРИНГА
ОБОБЩЕННЫХ СОСТОЯНИЙ СЛОЖНЫХ АГРОБИОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ****В. В. Захаров***Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия**valeriov@yandex.ru*

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Аннотация. В качестве базовой концепции автоматизации процессов мониторинга функционирования сложных агробиотехнических объектов (САБО) предложен переход от реактивного подхода к проактивному. Предлагаются методологические основы автоматизации процесса решения задачи многокритериального синтеза программ управления проактивным мониторингом обобщенных состояний САБО и интегрированной АСУ (ИАСУ) как процесса управления соответствующей развивающейся ситуацией, в состав которой входят субъекты моделирования, объект-оригинал, его модель, внешняя среда, а также динамические бинарные отношения, возникающие при их взаимодействии. Целью разработки методологических основ является повышение оперативности обнаружения, локализации и предотвращения возникновения нештатных ситуаций. На базе концепций системного моделирования, проактивного управления, инвариантности вычислительных, моделирующих и реальных процессов, а также интеллектуализации управления разработана система взаимосвязанных фундаментальных принципов, которая учитывает многоаспектный характер функционирования САБО и ИАСУ САБО в целом, в том числе отражает связи, которые не учитывались в предыдущих исследованиях, — между обобщенным состоянием вычислительного процесса и степенью интероперабельности. Разработанные концепции и фундаментальные принципы позволяют корректно обосновать и автоматизировать выбор наиболее предпочтительных интеллектуальных технологий и систем проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО на всех этапах их жизненного цикла, а также повысить показатели оперативности и достоверности управленческих решений, равно как и выработки соответствующих рекомендаций, обеспечивающих повышение эффективности и качества функционирования рассматриваемых объектов и систем в заданных условиях обстановки.

Ключевые слова: цифровое сельское хозяйство, сложные агробиотехнические объекты, автоматизация и интеллектуализация процессов мониторинга, проактивность, интероперабельность

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00823, <https://rscf.ru/project/24-19-00823/>.

Ссылка для цитирования: Захаров В. В. Основы автоматизации процессов проактивного мониторинга обобщенных состояний сложных агробиотехнических объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 11. С. 918–927. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-11-918-927.

**BASICS OF AUTOMATION OF PROACTIVE MONITORING PROCESSES OF GENERALIZED STATES
OF COMPLEX AGROBIOTECHNICAL OBJECTS****V. V. Zaharov***St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg, Russia,**valeriov@yandex.ru*

Abstract: As a basic concept for automating the processes of monitoring the functioning of complex agrobiotechnical objects (CABO), a transition from a reactive approach to a proactive one is proposed. Methodological foundations are proposed for automating the process of solving the problem of multi-criteria synthesis of control programs for proactive monitoring of generalized states of CABO and integrated ACS (IACS) as a process of managing the corresponding developing situation, which includes the subjects of modeling, the original object, its model, the external environment, as well as dynamic binary relations arising during their interaction. The purpose of developing the methodological foundations is to increase the efficiency of detection, localization and prevention of emergency situations. Based on the concepts of system modeling, proactive management, invariance of computational, modeling and real processes, as well as intellectualization of management, a system of interrelated fundamental principles is developed that takes into account the multi-aspect nature of the functioning of the CABO and the CABO IACS as a whole, including reflecting the relationships

that were not taken into account in previous studies – between the generalized state of the computational process and the degree of interoperability. The developed concepts and fundamental principles make it possible to correctly substantiate and automate the selection of the most preferred intelligent technologies and systems for proactive monitoring of generalized states of the CABO at all stages of their life cycle, as well as to increase the indicators of efficiency and reliability of management decisions, as well as the development of appropriate recommendations that ensure increased efficiency and quality of functioning of the objects and systems under consideration in the given conditions.

Keywords: digital agriculture, complex agrobiotechnical objects, automation and intellectualization of monitoring processes, proactivity, interoperability

Acknowledgments: the study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-19-00823, <https://rscf.ru/project/24-19-00823/>.

For citation: Zaharov V. V. *Basics of automation of proactive monitoring processes of generalized states of complex agrobiotechnical objects. Journal of Instrument Engineering*. 2024. Vol. 67, N 11. P. 918–927 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-11-918-927.

Введение. В настоящее время разработка импортонезависимых автоматизированных систем управления (АСУ) сложными объектами (СЛО) в различных сферах применения имеет особую актуальность. В первую очередь это касается производства сельскохозяйственной продукции, которая активно завоевывает международный рынок сбыта [1].

Вместе с тем в рассматриваемой области требуется не только импортозамещение критических компонентов информационных и технических систем, т. е. сетевых протоколов, микроэлектронного оборудования, программного обеспечения, но и существенное повышение уровня автоматизации и интеллектуализации процессов проактивного мониторинга состояний сложных агробиотехнических объектов (САБО) на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ).

Говоря о сопряжении гетерогенных АСУ (унаследованных, существующих, перспективных), важно отметить, что их корректное сопряжение возможно только при достижении высокой степени интероперабельности на организационном, семантическом и техническом уровнях (см. ГОСТ Р 55062-2021). Однако, как показывает детальный анализ указанных процессов, элементы и подсистемы сельскохозяйственного производства (СХП) непрерывно взаимодействуют с внутренней и внешней средой, создавая новые энергетические, материальные и информационные потоки, которые подвержены постоянным изменениям (наблюдается структурная динамика) [2]. Между тем существующее методологическое и программно-математическое обеспечение, по крайней мере в его актуальном виде, не позволяет с достаточной степенью детализации в едином масштабе времени формально описать и исследовать процессы функционирования объектов рассматриваемой предметной области. Отсюда следует, что на практике большие трудности возникают при комплексном оценивании состояний САБО, а также выработке управленческих решений, упреждающих возникновение инцидентов.

Таким образом, в целях повышения общей эффективности и результативности отечественного СХП необходимо разработать научно-методические основы проактивного (упреждающего) мониторинга обобщенных состояний САБО, предназначенные для обмена данными, информацией и знаниями и их использования в соответствующих подсистемах. Важным этапом на этом пути является анализ существующих подходов к оцениванию уровня интероперабельности (функциональной совместимости) САБО.

Состояние исследований. Решению научно-технических проблем обеспечения интероперабельности сложных объектов посвящены работы отечественных ученых [3–5]. Задачи создания „цифровых двойников“ (ЦД), тесно связанные с разработкой перспективных АСУ СЛО, исследованы также отечественными специалистами [6–9].

В последние годы разработаны, утверждены и введены в действие ГОСТ Р 59797-2021 и ГОСТ Р 70569-2022, в которых сформулированы основные положения по обеспечению внешней и внутренней интероперабельности сложных информационно-управляющих сетцентрических систем различного назначения на этапах их создания и развития. В этих документах рекомендуется на каждом этапе ЖЦ рассматриваемых объектов проводить численное оценивание показателей, которые отражают организационные, семантические и технические аспекты реализации

функциональных возможностей АСУ. Для этого предлагается опираться на методы эволюционной адаптации имитационно-статистических, дискретно-событийных, логико-лингвистических, натурных моделей и их комбинаций.

Характерно, что в основу современной концепции развития государственных стандартов положена идея заимствования подходов к формализации процессов функционирования АСУ на основе использования элементов SCOPE и NIF моделей. Предлагается с учетом опыта эксплуатации отечественных специализированных разработок провести их интеграцию с моделью интероперабельности (см. рис. 1) [5].

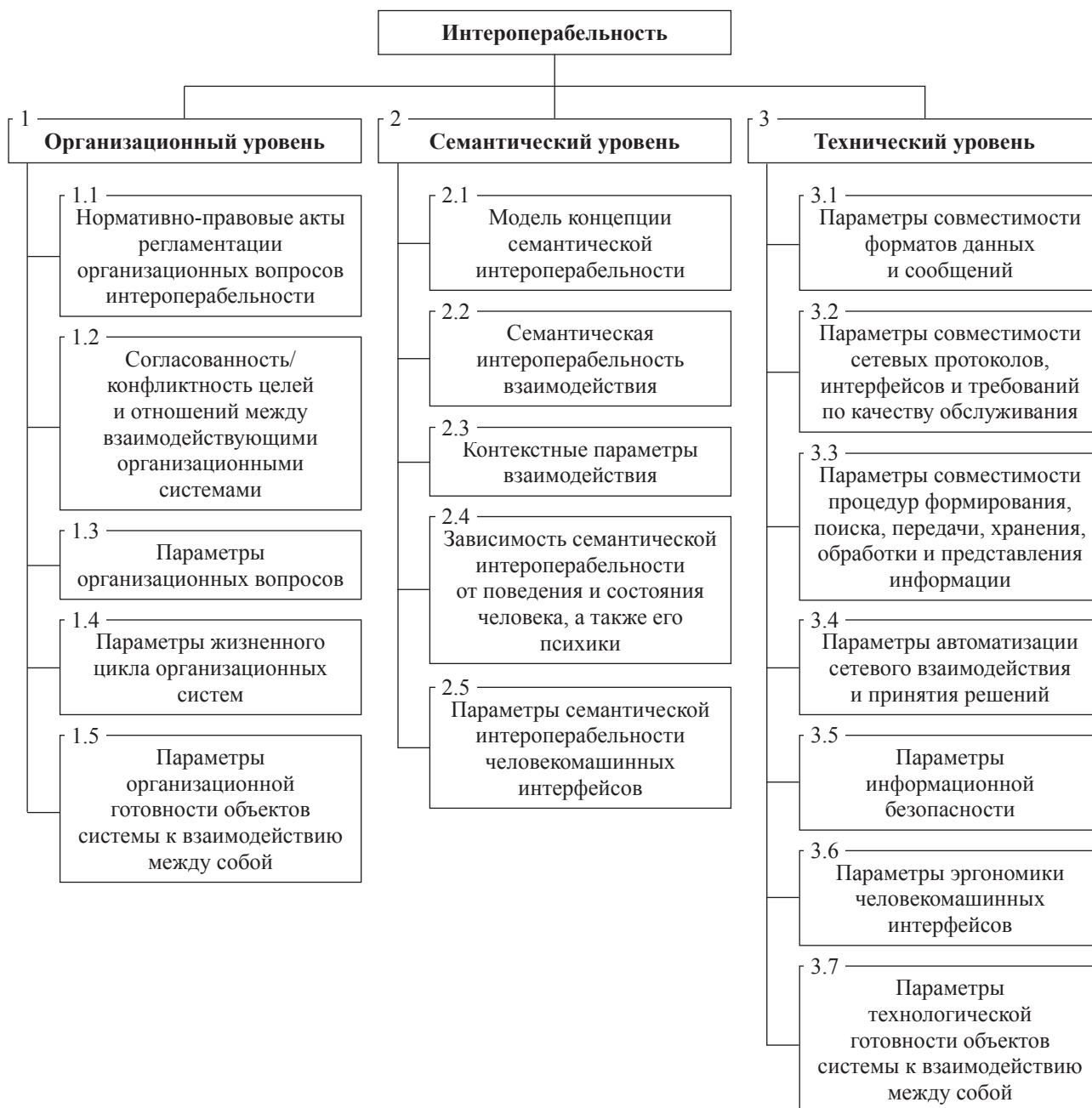


Рис. 1

В работах иностранных исследователей [10–12] актуализирована необходимость интеграции гетерогенных АСУ СлО в целях получения положительного синергетического общесистемного эффекта за счет повышения внутренней и внешней функциональной совместимости предприятий в различных отраслях экономики [13]. Было установлено, что международная нормативная база должна быть пересмотрена и гармонизирована, так как сейчас она пред-

ставляет собой множество идентичных или содержательно схожих технологий обеспечения интероперабельности сложных технических объектов и/или создания ЦД [11].

Анализ подходов к обеспечению интероперабельности. К настоящему времени получены важные научно-практические результаты в области применения графовых структур для описания функционирования АСУ СлО на техническом уровне. Так, например, трафик в подсистемах обмена данными можно представить с помощью вершин и взвешенных дуг. Аналогичные подходы были использованы для оценивания потенциальной мотивации большемерных иерархических систем к повышению уровня функциональной зависимости на различных стратах [14].

Одно из центральных мест в области моделирования и оценивания интероперабельности занимают исследования, опирающиеся на идею согласования субъективных предпочтений лиц, принимающих решения (ЛПР), и выводов, полученных с помощью формальных методов. В работе [15] предложен FСMI-подход, который задает отношения между свойствами сложного технического объекта и характеристиками интероперабельности. В основу разработанного модельно-алгоритмического обеспечения положена нечеткая когнитивная карта. Причинно-следственные связи задаются с помощью нечетких мер.

Согласно предложенному в работах [16, 17] многоуровневому онтологическому подходу к интеграции знаний о различных аспектах функционирования СлО взаимодействие между их аспектами (параметрами функционирования) осуществляется на основе применения механизмов логического вывода, что позволяет (исходя из структурных особенностей СлО) сохранять независимость их описаний и семантическую согласованность. Заметим, что не для всех аспектов привлечение онтологий может быть использовано для решения задач обеспечения интероперабельности САБО.

В области производства сельскохозяйственной продукции практика внедрения отечественных и зарубежных информационных технологий привела к повсеместному использованию неоднородных программных решений. В их основе лежат модели, методы и алгоритмы, которые, как правило, базируются на разнотипном математическом аппарате и различных прикладных теориях.

Подобные „метасемантические“ барьеры интероперабельности являются причиной того, что конечные потребители информации и данных, поступающих из интегрированных АСУ САБО (ИАСУ САБО), а также операторы и ЛПР не справляются с задачей оценивания и контроля функциональной совместимости описания состояний, макросостояний, структурных состояний, многоструктурных макросостояний САБО, что и приводит к различным внешним и внутренним негативным последствиям. Таким образом, необходимо объединить (провести комплексирование) существующие и перспективные средства автоматизации процессов проактивного мониторинга САБО в рамках соответствующей ИАСУ САБО.

Согласно результатам проведенного анализа высокую актуальность и значимость приобретает научно-техническая проблема создания методологических и методических основ автоматизации решения задачи многокритериального синтеза модельно-алгоритмического обеспечения и интеллектуальных технологий комплексного полимодельного описания процессов функционирования и проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО с учетом заданной степени функциональной совместимости основных подсистем ИАСУ САБО на разных стадиях ЖЦ.

Теоретико-множественная постановка задачи. Автоматизация решения любых научно-технических задач требует их формального описания и соответствующей алгоритмизации. Задача многокритериального синтеза технологий и программ проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО и ИАСУ САБО в целом (в том числе модели и предметно-ориентированного профиля интероперабельности) может быть сформулирована, во-первых, как задача поиска многоструктурного макросостояния ИАСУ САБО, при котором будет обеспечена требуемая интероперабельность объединяемых программных решений, и, во-вторых, как задача синтеза оптимальных управляющих воздействий, переводящих рассматриваемый полимодельный комплекс из заданного многоструктурного макросостояния в требуемое (синтезированное) [18].

Следовательно, необходимо разработать принципы, модели, методы и алгоритмы, позволяющие в условиях внутренних и внешних возмущающих воздействий находить такие законы управления процессами моделирования и проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО $\langle V^{<t,y>}, S_{\delta}^{*tf} \rangle$, при которых [19]

$$J_1^{<t,y>} (C_{\chi}^{<t,y>}, N_{\chi}^{<t,y>}, D_{\chi}^{<t,y>}, W_{\chi}^{<t,y>}, V_{\chi}^{<t,y>}, t \in (t_0, t_f]) \rightarrow \underset{\langle V^{<t,y>}, S_{\delta}^{*tf} \rangle \in \Delta_1^{(g)}}{\text{extr}} ;$$

$$\Delta_1^{(g)} = \{ \langle V^t, S_{\delta}^{*tf} \rangle \mid R_0(C_{\chi}^{<t,y>}, N_{\chi}^{<t,y>}, D_{\chi}^{<t,y>}, W_{\chi}^{<t,y>}, V_{\chi}^{<t,y>}, t \in (t_0, t_f]) \leq \tilde{R}_0^{(g)}; \\ V^{<t,y>} = U^{<t,y>} \times \Xi^{<t>}, o \in O \},$$

где $J_1^{<t,y>}$ — обобщенный показатель качества синтеза моделей предметной области и программ управления проактивным мониторингом обобщенных состояний САБО и ИАСУ САБО в целом;

$C_{\chi}^{<t,y>} = \{ c_{\langle \chi, l, l' \rangle}^{<t,y>}, l, l' \in L_{\chi} \}$ — множество значений параметров, характеризующих взаимосвязь между элементами систем, ЦД, моделями интероперабельности на организационном, семантическом и техническом уровнях и реальным объектом;

$N_{\chi}^{<t,y>}$ — множество элементов и подсистем, включенных в управляющую подсистему;

$D_{\chi}^{<t,y>} = \{ d_{\langle \chi, \rho, \varepsilon, \varepsilon' \rangle}^{<t,y>}, \rho, \varepsilon, \varepsilon' \in L_{\chi} \}$ — множество значений параметров, характеризующих типы данных, информации и знаний, циркулирующих в АСУ САБО;

$W_{\chi}^{<t,y>} = \{ w_{\langle \chi, v, \kappa, \kappa' \rangle}^{<t,y>}, v, \kappa, \kappa' \in L_{\chi} \}$ — множество значений параметров, характеризующих способы обмена данными, информацией и знаниями и их использования в САБО и ИАСУ САБО;

$V^{<t,y>}$ — множество входных воздействий, сформированное на основе декартова произведения совокупности допустимых управляющих и возмущающих воздействий (U) в модели САБО и ИАСУ САБО;

$\Xi^{<t>}$ — множество возмущающих воздействий, вызванных изменением контекста, внутренней и внешней обстановки на различных стадиях ЖЦ САБО и соответствующей ИАСУ САБО;

$\Delta_1^{(g)}$ — набор динамических альтернатив, т. е. вариантов (моделей) сбора, обработки, передачи данных, информации и знаний, а также наборов программ управления их обменом и использованием для решения целевых задач САБО;

$R_0(C_{\chi}^{<t,y>}, N_{\chi}^{<t,y>}, D_{\chi}^{<t,y>}, W_{\chi}^{<t,y>}, V_{\chi}^{<t,y>}, t \in (t_0, t_f]) \leq \tilde{R}_0^{(g)}$ — множество ограничений, накладываемых на процессы синтеза технологий и программ управления полимодельным комплексом;

$\tilde{R}_0^{(g)}$ — заданные значения; o — текущий номер ограничения.

Представленный класс задач характеризуется большой размерностью, нестационарностью, необходимостью учета факторов неопределенности и многокритериальных целей подсистем САБО и ИАСУ САБО в целом (в том числе сопрягаемых систем) на организационном, семантическом и техническом уровнях.

Предлагаемый подход к решению задачи. Процессы управления мониторингом обобщенных состояний САБО следует рассматривать как процессы поиска скоординированных целенаправленных воздействий. В этом случае рассматриваемую задачу при различных изменениях внешних и внутренних возмущающих факторов необходимо формально описывать и решать, базирясь на системно-кибернетической методологии [6, 20, 21].

В рамках данного подхода в качестве основных объектов исследования должны быть выбраны:

1) развивающаяся ситуация, предполагающая задание совокупности целей САБО, ИАСУ САБО и субъектов, в интересах которых функционируют САБО и ИАСУ САБО и создаются соответствующие модели (в классическом виде либо как цифровые модели, входящие в состав цифровых двойников), а также модели внешней и внутренней возмущающей среды, модели интероперабельности (в том числе с учетом подразумеваемых потребностей) и ЦД;

2) динамические (изменяемые во времени) бинарные отношения между перечисленными элементами.

Отметим, что при решении задач наблюдения за состоянием современных и перспективных САБО на самом деле производится наблюдение за (теми или иными) заданными параметрами вычислительного процесса, описывающего как функционирование САБО, так и соответствующей ИАСУ САБО, поскольку посредником между объектом управления и органом, принимающим решение, является информационная система. Данное положение базируется на предложенной ранее концепции инвариантности описания вычислительных и материальных процессов, связанных с функционированием СЛО (в том числе САБО) [7, 8]. Отсюда следует, что вопросы формального описания, а также проактивного управления применением и развитием объекта-оригинала целесообразно описывать в терминах теории проактивного управления структурной динамикой развивающейся ситуации в контексте совокупности протекающих вычислительных процессов. На рис. 2 представлена обобщенная технология реализации данного вида управления.

Для решения поставленной в статье задачи в первую очередь необходимо использовать научные и практические результаты, полученные в современной теории проактивного мониторинга структурной динамики сложных систем, теории многокритериального оценивания качества моделей и полимодельных комплексов (квалиметрии моделей и полимодельных комплексов), которые в совокупности позволят гармонично (корректно) учесть различные аспекты функционирования САБО и ИАСУ САБО на материальном, энергетическом, информационном, биологическом, технологическом и техническом уровнях описания [6, 10, 20].

Концепции комплексного моделирования, проактивного управления, инвариантности вычислительных, моделирующих и реальных процессов, а также интеллектуализации управления должны составлять разрабатываемые методологические основы решения задач управления мониторингом обобщенных состояний САБО. Эти задачи должны быть реализованы в рамках следующих фундаментальных принципов:

- комплексного самоподобного рекурсивного описания САБО и ИАСУ САБО в виде сложной иерархической системы;
- приоритета онтолого-управляемой методологии описания и представления объектов рассматриваемой предметной области;
- координации процессов обмена существующими и генерируемыми данными, информацией и знаниями и их использования;
- первенства модели (а не алгоритма) в процессе построения программ моделирования, в том числе при согласовании процедур обмена данными, информацией и знаниями и их использования на организационном, семантическом и техническом уровнях;
- управляемой структурно-параметрической адаптации модельно-алгоритмического обеспечения описания за счет многокритериального выбора методов представления структурной динамики развивающейся ситуации;
- учета явных и неявных знаний экспертов и ЛПР в процессе моделирования;
- многокритериального компромисса при оценивании альтернативных вариантов функционирования и развития САБО и ИАСУ САБО, в том числе на стадии выбора способов достижения и преодоления барьеров интероперабельности;
- исключения разрывов (аметрии) между уровнями интероперабельности САБО и ИАСУ САБО в целях повышения степени функциональной совместимости сопрягаемых систем;
- интерактивного итерационного формирования управленческих решений в условиях неопределенности и противоречивости исходной информации;
- связи состояний вычислительных процессов САБО и ИАСУ САБО и степени интероперабельности системы.

В аппаратно-программную реализацию полимодельного комплекса для решения задачи проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО и ИАСУ САБО должна быть заложена функциональная возможность проактивной адаптации к изменениям внутренней и внешней среды, в том числе предоставления каждому пользователю интерфейса в соответствии с уровнем его квалификации. Этого можно достичь, опираясь на сервис- и событийно-ориентированную архитектуру в совокупности с применением элементов онтолого-управляемой методологии.

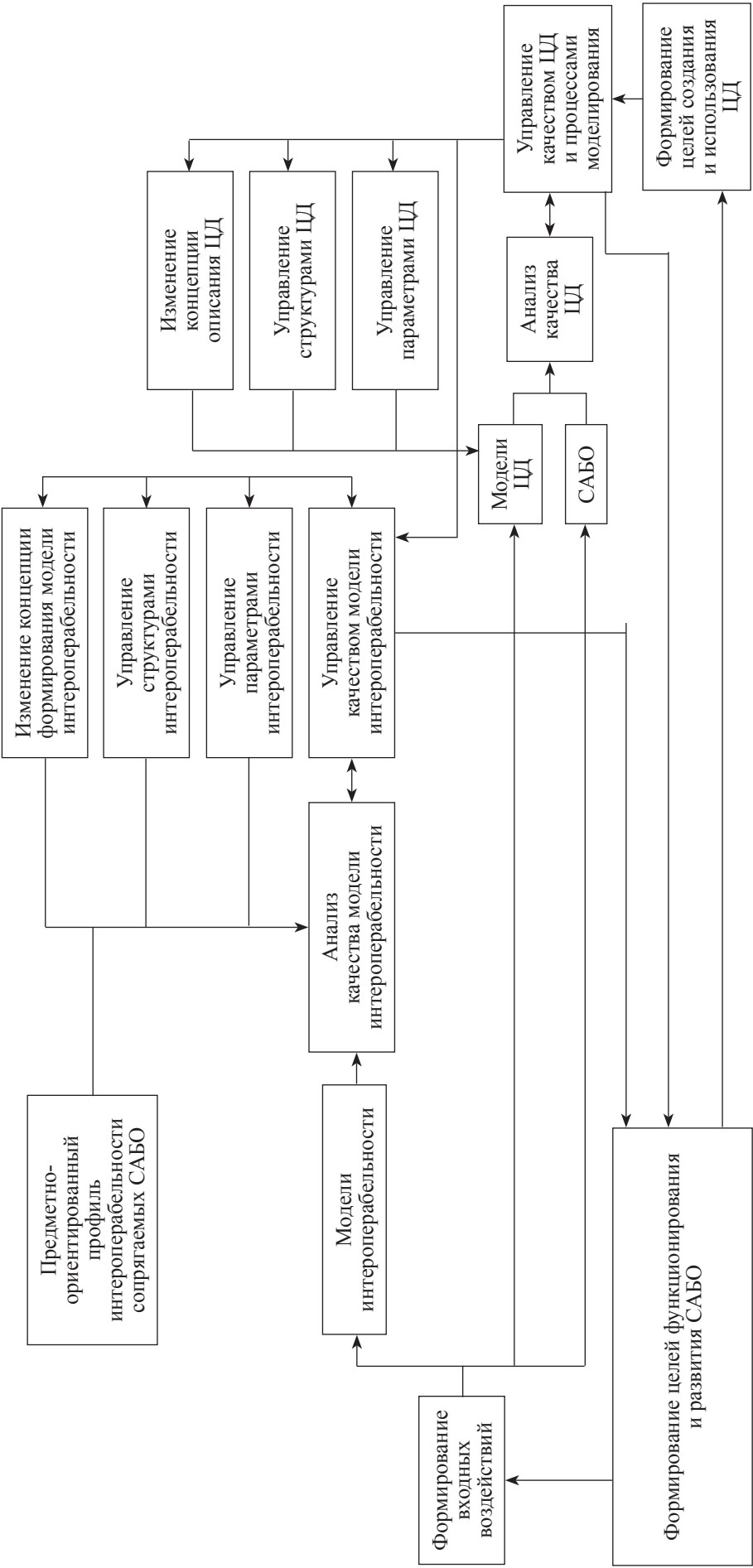


Рис. 2

Заключение. Анализ проведенных исследований в области автоматизации проактивного мониторинга САБО и ИАСУ САБО в целом показал, что если процессы применения специального модельно-алгоритмического и программно-информационного обеспечения не скоординированы, это может снизить качество управления функционированием рассматриваемых СХП.

В статье в основу описания и проактивного мониторинга САБО и ИАСУ САБО в целом предложено положить концепт „развивающаяся ситуация“, а также методологию и технологии комплексного предсказательного моделирования. Данный подход в дальнейшем позволит отразить связи, которые не были учтены ранее, — между обобщенным состоянием вычислительного процесса, описывающего функционирование САБО и ИАСУ САБО, и требуемой степенью функциональной совместимости сопрягаемых элементов и подсистем ИАСУ САБО.

Приведена математическая постановка задачи многокритериального синтеза технологий и программ проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО и ИАСУ САБО в целом. Отличие и новизна предложенных методологических основ решения данной задачи заключается в разработке и реализации системно-кибернетического подхода, что позволяет с единых позиций подойти к решению задач комплексной автоматизации и интеллектуализации процессов проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО и ИАСУ САБО в целом, что не удавалось сделать ранее.

Определены концепции и фундаментальные принципы решения поставленной в статье задачи, которые, во-первых, позволяют обоснованно подходить к автоматизации решения задач многокритериального выбора наиболее предпочтительных интеллектуальных технологий проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО и ИАСУ САБО в целом на всех этапах ЖЦ, во-вторых, повысить показатели оперативности и достоверности их решения, равно как и выработки соответствующих рекомендаций, обеспечивающих повышение качества принимаемых управленческих решений в заданных условиях обстановки.

Дальнейшим направлением исследований является разработка программно-алгоритмического комплекса, который позволит в полном объеме реализовать на практике предложенные модели и связанные с ними критериальные функции. Это, в свою очередь, позволит оценить не только качество и эффективность процессов проактивного мониторинга обобщенных состояний САБО и ИАСУ САБО в целом, но и их семантическую согласованность и функциональную эффективность, а также верифицировать и валидировать создаваемые программы проактивного мониторинга обобщенных состояний данных автоматизированных систем [21].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А. И., Кулаков А. Ю. Модельно-алгоритмическое обеспечение задач прогнозирования и планирования процесса заготовки кормов // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 11. С. 818—825. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-11-818-825.
2. Башилов А. М., Королёв В. А., Арженевский А. Г., Глобин А. Н., Глечикова Н. А. Проактивное моделирование динамической сложности агротехноценозов // Вестник аграрной науки Дона. 2020. №. 3 (51). С. 45–54.
3. Олейников А., Макаренко С., Козлов С. Интероперабельность — ключевая технология повышения эффективности систем вооружения, управления и связи // Радиоэлектронные технологии. 2022. №. 1. С. 66–73.
4. Макаренко С. И. Интероперабельность организационно-технических систем: Монография. СПб: Научное издание, 2024. 313 с.
5. Гуляев Ю. В., Журавлев Е. Е., Олейников А. Я. Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса. Аналитический обзор // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 3. С. 12.
6. Соколов Б. В., Захаров В. В. Методологические основы создания и использования цифровых двойников сложных объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 12. С. 916–919. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-916-919.
7. Охтилев М. Ю., Охтилев П. А., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Методологические и методические основы проактивного управления жизненным циклом сложных технических объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 11. С. 781–788. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-11-781-788.

8. Охтилев М. Ю., Коромысличенко В. Н., Охтилев П. А., Зянчурин А. Э., Васильев В. И. Концепция инженерии знаний в задачах обеспечения интероперабельности САБО и информационных систем на основе интеллектуальных технологий // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2023. №3 (35).
9. Kupriyanovsky V., Klimov A., Alenkov V., Namiot D., Sneps-Snepp M. On the new IoT generation-ETSI ontology standards and specifications // Intern. Journal of Open Information Technologies. 2019. Vol. 7, N 9. P. 73–81.
10. Volz F., Sutschet G., Stojanovic L., Usländer T. On the role of digital twins in data spaces // Sensors. 2023. Vol. 23, N 17. P. 7601.
11. Jacoby M., Usländer T. Digital twin and internet of things—Current standards landscape // Appl. Sciences. 2020. Vol. 10, N 18. P. 6519.
12. Wegner P. Interoperability // ACM Computing Surveys (CSUR). 1996. Vol. 28, N 1. P. 285–287.
13. López-Morales J. A., Martínez J. A., Skarmeta A. F. Digital transformation of agriculture through the use of an interoperable platform // Sensors. 2020. Vol. 20, N 4. P. 1153.
14. Розенберг И. Н., Дулин С. К., Дулина Н. Г. Моделирование структуры интероперабельности средствами структурной согласованности // Информатика и ее применения. 2023. Т. 17, № 1. С. 57–65.
15. Павлыгин Э. Д., Корсунский А. С., Куприянов А. А., Мельниченко А. С. FCMI-подход к оценке интероперабельности интегрированной системы боевого управления корабля // Автоматизация процессов управления. 2015. № 4. С. 4–14.
16. Шилов Н. Г. Разработка мультиаспектной онтологии для поддержки принятия решений в производственных системах // Информационные технологии и вычислительные системы. 2024. № 2. С. 52–64.
17. Шилов Н. Г., Пономарев А. В., Смирнов А. В. Анализ методов онтолого-ориентированного нейро-символического интеллекта при коллаборативной поддержке принятия решений // Информатика и автоматизация. 2023. № 3 (22). С. 576–615.
18. Юсупов Р. М., Соколов Б. В., Захаров В. В. Основы теории проактивного управления функционированием и модернизацией сложных технических объектов // XVI Всерос. мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2023): Материалы конф. 2023. С. 86–89.
19. Захаров В. В. Модельно-алгоритмическое обеспечение планирования модернизации сложных организационно-технических объектов // Технологическая перспектива в рамках Евразийского пространства: новые рынки и точки экономического роста: Тр. 5-й Междунар. науч. конф. 2019. С. 486–494.
20. Микони С. В., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: Монография. М.: Изд-во РАН, 2018. 314 с.
21. <https://litsam.ru>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Валерий Вячеславович Захаров

— канд. техн. наук; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; ст. научный сотрудник; E-mail: valeriov@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.08.24; одобрена после рецензирования 09.08.24; принята к публикации 23.09.24.

REFERENCES

1. Semyonov A.I., Kulakov A.Yu. *Journal of Instrument Engineering*, 2022, no. 11(65), pp. 818–825, DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-11-818-825. (in Russ.)
2. Bashilov A.M., Korolev V.A., Arzhenovskiy A.G., Globin A.N., Glechikova N.A. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*, 2020, no. 3(51), pp. 45–53. (in Russ.)
3. Oleynikov A., Makarenko S., Kozlov S. *Radioelektronnyye tekhnologii*, 2022, no. 1, pp. 66–73. (in Russ.)
4. Makarenko S.I. *Interoperabel'nost' organizatsionno-tekhnicheskikh sistem* (Interoperability of Organizational and Technical Systems), St. Petersburg, 2024, 313 p. (in Russ.)
5. Gulyaev Yu.V., Zhuravlev E.E., Oleynikov A.Ya. *Journal of Radio Electronics*, 2012, no. 3, pp. 12–12. (in Russ.)
6. Sokolov B.V., Zakharov V.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2022, no. 12(65), pp. 916–919, DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-916-919. (in Russ.)
7. Okhtilev M.Yu., Okhtilev P.A., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Journal of Instrument Engineering*, 2022, no. 11(65), pp. 781–788, DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-11-781-788. (in Russ.)
8. Okhtilev M.Yu., Koromyslichenko V.N., Okhtilev P.A., Zianchurin A.E., Vasiljev V.I. *Intellectual Technologies on Transport*, 2023, no. 3(35), pp. 5–13. (in Russ.)
9. Kupriyanovsky V., Klimov A., Alenkov V., Namiot D., Sneps-Snepp M. *International Journal of Open Information Technologies*, 2019, no. 9(7), pp. 73–81.

10. Volz F., Sutschet G., Stojanovic L., Usländer T. *Sensors*, 2023, no. 17(23), pp. 7601.
11. Jacoby M., Usländer T. *Applied Sciences*, 2020, no. 18(10), pp. 6519.
12. Wegner P. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 1996, no. 1(28), pp. 285–287.
13. López-Morales J.A., Martínez J.A., Skarmeta A.F. *Sensors*, 2020, no. 4(20), pp. 1153.
14. Rozenberg I.N., Dulin S.K., Dulina N.G. *Informatics and Applications*, 2023, no. 1(17), pp. 57–65. (in Russ.)
15. Pavlygin E.D., Korsunskii A.S., Kupryyanov A.A., Melnichenko A.S. *Automation of Control Processes*, 2015, no. 4, pp. 4–14. (in Russ.)
16. Shilov N.G. *Journal of Information Technologies and Computing Systems*, 2024, no. 2, pp. 52–64. (in Russ.)
17. Shilov N., Ponomarev A., Smirnov A. *Informatics and Automation*, 2023, no. 3(22), pp. 576–615. (in Russ.)
18. Yusupov R.M., Sokolov B.V., Zakharov V.V. *XVI Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya (MKPU-2023)* (XVI All-Russian Multi-Conference on Management Problems (MKPU-2023)), Conference Proceedings, 2023, pp. 86–89. (in Russ.)
19. Zakharov V.V. *Tekhnologicheskaya perspektiva v ramkakh Yevraziyskogo prostranstva: novyye rynki i tochki ekonomicheskogo rosta* (Technological Perspective within the Eurasian Space: New Markets and Points of Economic Growth), Proceedings of the 5th International Scientific Conference, 2019, pp. 486–494. (in Russ.)
20. Mikoni S.V., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Kvalimetriya modeley i polimodel'nykh kompleksov* (Qualimetry of Models and Polymodel Complexes), Moscow, 2018, 314 p. (in Russ.)
21. <https://litsam.ru>. (in Russ.)

DATA ON AUTHOR

Valery V. Zakharov

— PhD; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, Senior Researcher; E-mail: valeriov@yandex.ru

Received 05.08.24; approved after reviewing 09.08.24; accepted for publication 23.09.24.