

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ФОРМАЛЬНОГО ОПИСАНИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

В. В. ЗАХАРОВ

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,  
199178, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: Valeriov@yandex.ru*

Предложен подход, позволяющий на основе единого полимодельного динамического описания одновременно решать задачи синтеза планов модернизации и функционирования сложного объекта, которые представлены моделью управления модернизацией и моделью оптимизации бизнес-процессов. Предложено рассмотреть сложный объект как набор структур, обладающих свойством структурной динамики и связанных между собой с помощью узлов, выполняющих обработку, передачу и анализ информации, а также выработку управляющих воздействий. Приведена теоретико-множественная постановка задачи управлением модернизацией и функционированием сложного объекта. Предложенный метод позволяет синтезировать эталонный план для решения задач управления модернизацией и функционированием сложных объектов и обоснованно выбирать компромиссные решения при многовариантности решений, связанных с управлением модернизацией.

**Ключевые слова:** комплексное планирование, модернизация и функционирование сложного объекта, управление бизнес-процессами

**Введение.** Парадигма Индустрия 4.0 способствует развитию новых моделей и подходов к управлению сложными объектами (СО). Повсеместное внедрение технологий интернета вещей, киберфизических систем, „умных“ устройств и фабрик, вероятно, приведет к гораздо большим изменениям в структуре производства и потребления, чем появление компьютеров и Интернета [1—3]. Научно-технический прогресс расширил области взаимодействия СО с внешней средой, а также изменил интенсивность выработки, передачи, обработки информации и ее объем, которые непосредственно влияют на процесс производства. Вследствие ускоренного устаревания информации задержка в принятии решений является причиной ухудшения качества управления СО, особенно в случае дефицита ресурсов и времени. Кроме того, в современных условиях повышаются требования к устойчивости развития СО (в т.ч. их модернизации); оперативности формирования и реализации синтезированного плана принимаемых решений, а обоснованности.

Технологии промышленного интернета вещей (RFID, UWB, GPS и т.д.) и специализированные протоколы (SDS), оптимизированные в целях повышения эффективности управления умными устройствами, позволяют с помощью систем мониторинга процессов функционирования в реальном времени передавать в корпоративную информационную сеть предприятия информацию о выполнении операций [4]. Информационные технологии (ИТ) обеспечивают связь между предприятием и его „цифровым двойником“, а также прямую или косвенную передачу информации между подсистемами СО.

Централизованное планирование сегодня становится параллельным, распределенным, комплексным и интеллектуальным. Динамическое планирование ресурсов и работ обеспечивает [5—7] максимизацию преимуществ, которые предоставляют ИТ для комплексного планирования операций.

**Особенности управления модернизацией и функционированием СО.** Основу современных СО составляют сложные многофункциональные аппаратно-программные комплексы и структуры, объединенные в сеть. Обслуживание подобной системы составляет серьезную часть затрат предприятия [8] (обрабатывающее производство, строительство, транспортировка и хранение традиционно являются технологически отсталыми отраслями — средний износ основных фондов в них превышает 50 % [9]).

Очевидно, что модернизация производства на основе принципов Индустрии 4.0 должна быть проведена так, чтобы поставки продукции не сокращались, а изменение бизнес-процессов (БП), внедрение новых машин и технологий не влияло на работу собственных производственных мощностей. Рыночные условия диктуют сохранения производительности, а также выполнения обязательств. Сложность синтеза эффективного плана модернизации и функционирования СО вызвана устареванием информации и повышения степени неопределенности среды.

Научно-технический прогресс меняет взгляд на автоматизированные системы управления (АСУ) СО. Современная АСУ представляет собой уже не систему поддержки принятия решений, а интеллектуального исполнителя или „киберменеджера“, способного исполнить все функции менеджмента. Разработка информационных решений подобного рода невозможна без опоры на принципы комплексного моделирования и планирования.

Оптимизация (модернизация) БП — сложный многоступенчатый процесс, в котором от стратегии управления зависит не просто существование предприятия, а его успешная и конкурентоспособная работа [10]. Стоит отметить, что постоянное создание новых моделей бизнес-процессов „с нуля“ неприемлемо для СО [11]. Поэтому подобный переход невозможен без одновременного функционирования элементов „старых“ и „новых“ элементов БП и других структур СО (организационной, технической, технологической и т.д.) на этапе модернизации.

Лица, принимающие решения, как правило, детально не знают технологии производства. Этот пробел позволяет преодолеть новая технология управления динамикой структур СО [12], обеспечивающая мониторинг БП и прогнозирование их изменений в целях совершенствования деятельности организации. Требования к БП противоречивы, именно поэтому необходимо подходить к оптимизации БП с точки зрения управления структурной динамикой СО и перехода к решениям, основанным на многокритериальной оптимизации.

Эффективность БП характеризуют показатели качества работы отдельных подсистем, узлов и исполнителей, т.е. выполнение работы определенной стоимости в заданные сроки. Сегодня рынок ориентирован на решения, сокращающие число элементов и связей СО, расширение функциональности и повышение равномерной загрузки ресурсов и узлов; сокращение операций, не создающих дополнительной стоимости. Современное производство способно гибко оптимизировать БП, опираясь на текущее и прогнозируемое состояние, т.е. базироваться на принципах проактивного планирования и управления.

**Моделирование сложных объектов.** Для моделирования процессов функционирования и управления СО используют аналитические, имитационные, аналитико-имитационные, логико-алгебраические, логико-лингвистические модели. Однако современные АСУ СО и системы поддержки принятия решений имеют дискретную природу, поскольку решения принимаются не в автоматизированном „потокосовом“ режиме, а поэтапно менеджерами. Для перехода на качественно новый уровень описания процессов планирования и управления СО следует рассматривать их не как статическую привязку заданий к пассивным машинам и исполнителям, а как динамические процедуры с учетом воздействия среды и активного поведения элементов СО. Сегодня стоит задача выбора комплекса моделей, адекватно отражающих реальный СО с учетом особенностей БП конкретного объекта. Важность данной задачи возрастает ввиду необходимости описания предметной области с помощью полимодельного комплекса, состоящего из комбинированных моделей и описывающего разные подсистемы предприятия, которые имеют свои локальные цели и задачи.

Поиск оптимальной последовательности управляющих воздействий СО может быть рассмотрен с точки зрения решения конкретных задач планирования со многими ограничениями, отражающими динамику нестационарных процессов, представленную в дифференциальных уравнениях со сложными взаимосвязями выполняемых процессов, а также изменчивость производительности ресурсов. Предлагаемые логико-динамические модели управления СО с гибкими ограничениями, учитывающие особенности заданной предметной области, в том числе человеческие ресурсы, позволяют решать задачи планирования в системах Индустрии 4.0. Согласованность и непротиворечивость получаемых благодаря таким моделям результатов доказана в работе [12, 13]. Преимущества методов, базирующихся на принципе максимума Л.С. Понтрягина, применяемого для поиска „эталонного“ плана функционирования СО, достигается путем *одновременного* решения следующих пяти ключевых задач управления модернизацией: 1) структурно-функциональный синтез модернизируемого СО, 2) определение сроков проведения модернизации, 3) технологий модернизации, 4) синтез плана проведения соответствующих работ, 5) синтез управляющих воздействий для реализации плана модернизации СО на различных структурных уровнях.

**Предлагаемый подход.** Функциональные подсистемы СО обладают большим вычислительным потенциалом, высокой степенью автоматизации, возможностью сетевого взаимодействия, поддержки интеграции при пространственном и временном масштабировании, динамической структурной реконфигурации как на информационных, так и физических уровнях. Потоки информации, циркулирующие в СО, обеспечивают базу для взаимодействия элементов и подсистем предприятия. СО состоит из ресурсов, подключенных к сети с помощью различных устройств с человеко-машинными интерфейсами. На каждом ресурсе возможно выполнить ограниченное множество операций. Ресурсы обмениваются между собой информацией, однако человек, к примеру, не способен оценивать и ранжировать приоритет более 5—7 показателей без привлечения специализированных процедур. Многозадачность негативно влияет на качество работы персонала, поскольку мозг способен концентрироваться только на одной задаче. Постоянное переключение внимания ведет к быстрому утомлению, т.е. сотрудник не может быть занят более в чем одной операции одновременно.

Системообразующей потребностью в управлении БП крупномасштабных производственных предприятий является точный прогноз объема выпускаемой продукции с соответствующей оптимизацией складских запасов при минимальном количестве персонала. Производственные компании сегодня прогнозируют пиковые нагрузки и, используя внештатный персонал и арендованные машины и механизмы, обеспечивают себя на этот период необходимыми ресурсами. В штатном режиме ресурсы сокращены до необходимого и достаточного минимума. Однако, как показывает анализ литературы, запасы ресурсов (в т.ч. складских) и функциональная избыточность узлов СО позволяют повысить качество и стабильность функционирования объектов, снизив риск и последствия отказов. Очевидно наличие взаимоисключающих требований к качеству функционирования СО, о которых было сказано выше.

Кроме того, необходимо учитывать особенности функционирования локальных подсистем и их цели. К примеру, многим службам управления заказами свойственны существенные временные затраты на прием, подготовку, передачу, обработку и мониторинг заказов. Для повышения качества обслуживания потребителей и удовлетворения ожиданий необходимо сокращать время и число узлов, вовлеченных в процесс, т.е. стоит задача синтеза структур и управляющих воздействий, обеспечивающих решение задачи максимального быстрого действия, с учетом множества требований к качеству функционирования связанных подсистем и объекта в целом.

Опираясь на методологию комплексного моделирования, включающую структурный, объектно-ориентированный и процессный подходы описания БП, проведем теоретико-множественную постановку задачи управления модернизацией и функционированием предприятия. Предлагается рассмотреть СО как многоструктурную сущность, связь между струк-

турами осуществляется путем передачи информации о статусе операций, интенсивности потоков передачи и обработки данных и информации о статусе ресурса. Подобный подход представляет процесс модернизации СО как *реорганизацию, в частности, информационных потоков предприятия*. Это позволяет синтезировать закон управления модернизацией СО путем одновременных оптимизации БП, управления и модернизации СО, опираясь на параллельное решение пяти описанных выше задач.

**Формальная постановка задачи.** Проведем теоретико-множественную постановку задачи. Основа формального описания рассматриваемых задач на теоретико-множественном уровне детализации — это динамический альтернативный взвешенный системный граф с управляемой структурой [14]. На модельно-алгоритмическом уровне детализации возможно использование логико-динамических моделей управления операциями, потоками, ресурсами, параметрами операций, структурами и вспомогательных динамических моделей для учета требований, связанных с прерываниями операций. Непротиворечивость получаемых, благодаря подобной интерпретации, результатов доказана в работах [12—14]. В работах показано, что задача синтеза технологий и программ управления СО может быть сформулирована как задача поиска требуемого многоструктурного состояния и поиска оптимальных программных управляющих воздействий, позволяющих его достичь. Необходимо разработать принципы, подходы, модели, методы, алгоритмы, позволяющие находить такие значения управления и состояния  $\langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle$ , при которых:

$$J_{\theta} \left( X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \underset{\langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle \in \Delta_g}{\text{extr}} ;$$

$$\Delta_g \left\{ \langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle \mid R_{\beta} \left( X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t \right) \leq \tilde{R}_{\beta}; \right.$$

$$\left. U^t = \Pi_{\langle \delta_1, \delta_2 \rangle}^t \circ \Pi_{\langle \delta_2, \delta_3 \rangle}^t \circ \dots \circ \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t; \beta \in B \right\},$$

где  $\chi$  — тип структуры модернизируемого СО,  $\chi \in \{\text{Топ, Фун, Тех, ПМО, ИО, Оп}\}$  — множество индексов, соответствующих топологической, функциональной и технической структурам, структурам программно-математического и информационного обеспечения, организационной структуре;  $t$  — момент времени,  $t \in T$ ;  $X_{\chi}^t = \{x_{\chi l}^t, l \in L_{\chi}\}$  — множество элементов, входящих в состав динамического альтернативного системного графа (ДАСГ)  $G_{\chi}^t$ , или множество вершин ДАСГ, с помощью которого задается управляемая структурная динамика СО в момент времени  $t$ ;  $\Gamma_{\chi}^t = \{\gamma_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$  — множество дуг ДАСГ типа  $G_{\chi}^t$ , отражающих взаимосвязи между его элементами в момент времени  $t$ ;  $Z_{\chi}^t = \{z_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$  — множество значений параметров, количественно характеризующих взаимосвязь соответствующих элементов ДАСГ;  $F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t$  — отображения различных структур СО друг на друга в момент времени  $t$ ;  $\Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t$  — операция композиции многоструктурных макросостояний с номерами  $\tilde{\delta}, \tilde{\delta}$  в момент времени  $t$ ;  $\Delta_g$  — множество динамических альтернатив (структур и параметров СО, программ функционирования и управления модернизацией СО);  $U^t$  — управляющие (программные и в реальном масштабе времени) воздействия, позволяющие синтезировать структуры модернизируемого СО;  $J_{\theta}$  — стоимостные, временные, ресурсные показатели, характеризующие качество функционирования и управления СО (операциями взаимодействия, каналами, ресурсами, потоками, параметрами операций, структурами, вспомогательными операциями в СО) и

модернизации СО (в т.ч. БП);  $q$  — номер показателя,  $q \in Q = \{1, \dots, l\}$ ;  $B$  — множество номеров пространственно-временных, технических и технологических ограничений, определяющих процессы реализации программ модернизации СО для различных сценариев возмущающих воздействий;  $\vec{R}_g$  — заданные величины;  $T = (t_0, t_f]$  — интервал времени, на котором синтезируются соответствующие управляющие воздействия для перевода СО в заданное состояние; „ $\circ$ “ — операция композиции отображения.

Задача поиска оптимальных программных управляющих воздействий осуществляется комбинированным методом, сочетающим метод ветвей и границ и метод последовательных приближений. В результате решения указанной задачи формируется изменяющийся во времени вектор управляющих воздействий, задающий как технологию управления, так и план функционирования и модернизации СО, учитывающие новые требования к БП. Кроме того, в этом случае одновременно находится и соответствующий вектор сопряженной системы уравнений, компоненты которого, по своей сути, являются динамическими приоритетами операций, входящих в состав синтезированной технологии.

В процессе выбора программ (планов) модернизации и функционирования СО на каждой итерации требуется определять время замены того или иного элемента (ресурса) и технологий, а также интенсивность передачи различных типов потоков (материальных, энергетических, информационных) между элементами СО, интенсивность обработки данных потоков в соответствующих узлах. Кроме того, следует оценить влияние изменения структур в разных подсистемах на процесс функционирования предприятия.

Учет связи целей, на достижение которых ориентированы текущие бизнес-процессы, с решением задач, выполняемых в ходе управления структурами предприятия, позволяет проводить многокритериальную оптимизацию плана модернизации СО. Применение предлагаемых моделей дает возможность определять последовательность решаемых задач и операций, осознанно находить и обоснованно выбирать последовательности операции.

**Заключение.** Представленный подход обеспечивает возможность параллельного решения всего спектра задач, возникающих в процессе модернизации СО. Особенно следует подчеркнуть возможность одновременного решения задач синтеза технологии и плана управления модернизацией и функционированием СО с опорой на единое полимодельное динамическое описание рассматриваемой предметной области. Комбинированные методы и алгоритмы синтеза технологий управления и построения соответствующих расписаний работы позволяют синтезировать оптимальные (эталонные) решения, исходя из цели функционирования объекта и соответствующих критериев качества управления ими в динамически изменяющейся обстановке.

Преимущество подхода заключается в возможности комбинированного динамического учета при планировании модернизации как типов ограничений, так и разнообразных возмущающих воздействий, влияющих на устойчивость построенных планов. Возмущения могут быть заданы в форме соответствующих сценариев, описываемых с помощью различных классов моделей, в которых учтены факторы неопределенности, заданные посредством вероятностных, статистических, нечетко неслучайных, нечетко вероятностных и нечетко статистических структур и их комбинации [14, 15].

Исследования показали, что модернизация СО должна опираться на оптимизацию БП, а не только комплексное планирование и управление последовательностью замены элементов и процессов. Предложенный подход, опираясь на фундаментальные научные результаты теории управления сложными динамическими системами с перестраиваемой структурой, позволяет существенно сократить размерность задач управления модернизации СО за счет рекуррентного описания моделей и логических ограничений, а также дает возможность синтезировать последовательность решаемых задач и операций (синтезировать технологию управле-

ния), находить и обоснованно выбирать компромиссные решения при наличии нескольких вариантов управления модернизацией СО.

Исследования по данной тематике проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№16-29-09482-офи-м, 17-29-07073-офи-м, 18-07-01272, 19-08-00989), в рамках бюджетной темы №0073-2019-0004.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee J. et al. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment // Manufacturing Letters. 2013. Vol. 1. P. 38—41.
2. Heng S. Industry 4.0: Upgrading of Germany's Industrial Capabilities on the Horizon. April 23, 2014 [Электронный ресурс]: <<https://ssrn.com/abstract=2656608>>.
3. Ivanov D., Dolgui A. & Sokolov B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics // Intern. J. of Production Research. 2018. P. 1—18.
4. Correa F. R. Cyber-physical systems for construction industry // 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). St. Petersburg, 2018. P. 392—397.
5. Ivanov D. & Sokolov B. Dynamic supply chain scheduling // J. of Scheduling. 2010. Vol. 15. P. 201—216.
6. Zhang Jian, Ding Guofu, Zou Yisheng Qin, Sheng-feng and Fu Jianlin. Review of job shop scheduling research and its new perspectives under Industry 4.0 // J. of Intelligent Manufacturing. 2019. Vol. 30, N 4. P. 1809—1830.
7. Dolgui A., Ivanov D., Sethi S. P., & Sokolov B. Scheduling in production, supply chain and Industry 4.0 systems by optimal control: fundamentals, state-of-the-art and applications // Intern. J. of Production Research. 2019. Vol 57, N 2. P. 411—432.
8. Mrugalska B., Zasada B., Wyrwicka M. K. Preventive Approach to Machinery and Equipment Maintenance in Manufacturing Companies // Advances in manufacturing, Production Management and Process Control. 2019. Vol. 793. P. 540—548.
9. Россия в цифрах. 2018: Крат. стат. сб. М.: Росстат, 2018. 522 с.
10. Кузнецова Л. В., Николаев А. В., Максимова О. И., Глухов А. Е. Способы оптимизации бизнес-процессов для автоматизации управления компанией // Изв. вузов. Поволжский регион. Технические науки. 2008. № 3. С. 73—81.
11. Гордов О. В. Технологии управления бизнес-процессами организаций // Вестн. Тамбовского ун-та. Сер. Гуманитарные науки. 2008. № 8. С. 364—368.
12. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
13. Zimin I. N. and Ivanilov Yu. P. Solution of Network Planning Problems by Reducing Them to Optimal Control Problems // USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics. 1971. Vol. 11, N 3. P. 632—641.
14. Микони С. В., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с.
15. Кокорин С. В., Потрясаев С. А., Соколов Б. В. Комбинированный метод планирования операций и распределения ресурсов системы управления активными подвижными объектами // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 11. С. 17—22.

#### Сведения об авторе

**Валерий Вячеславович Захаров** — СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; младший научный сотрудник;  
E-mail: Valeriov@yandex.ru

Поступила в редакцию  
05.07.19 г.

**Ссылка для цитирования:** Захаров В. В. Динамическая интерпретация формального описания и решения задачи модернизации сложных объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 10. С. 914—920.

**DYNAMIC INTERPRETATION OF FORMAL DESCRIPTION AND SOLUTION  
OF THE PROBLEM OF COMPLEX OBJECT MODERNIZATION**

**V. V. Zakharov**

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS,  
199178, St. Petersburg, Russia  
E-mail: Valeriov@yandex.ru*

Based on a unified multi-model dynamic description, an approach is proposed which allows to solve simultaneously a set of problem of synthesis of modernization plans and functioning of a complex object. It is proposed to consider a complex object as a set of structures that have the property of structural dynamics and interconnected by nodes that perform processing, transmission, and analysis of information, as well as development of control actions. A set-theoretic formulation of the problem of management of modernization and functioning of a complex object is presented. The proposed method makes it possible to synthesize a reference plan for solving the problems of modernization management and operation of complex objects and reasonably choose compromise solutions for multivariate solutions related to modernization management.

**Keywords:** integrated planning and scheduling, modernization of a complex object, business process management

**REFERENCES**

1. Lee J. et al. *Manufacturing Letters*, 2013, vol. 1, pp. 38–41.
2. Heng S. *Industry 4.0: Upgrading of Germany's Industrial Capabilities on the Horizon*, April 23, 2014, <https://ssrn.com/abstract=2656608>.
3. Ivanov D., Dolgui A., & Sokolov B. *International Journal of Production Research*, 2018, pp. 1–18.
4. Correa F.R. *2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)*, St. Petersburg, 2018, pp. 392–397.
5. Ivanov D. & Sokolov B. *Journal of Scheduling*, 2010, vol.15, pp. 201–216.
6. Zhang Jian, Ding Guofu, Zou Yisheng Qin, Sheng-feng and Fu Jianlin. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2019, no. 4(30), pp. 1809–1830.
7. Dolgui A., Ivanov D., Sethi S.P., & Sokolov B. *International Journal of Production Research*, 2019, no. 2(57), pp. 411–432.
8. Mrugalska B., Zasada B., Wyrwicka M.K. *Advances in manufacturing, Production Management and Process Control*, 2019, vol. 793, pp. 540–548.
9. *Rossiya v tsifrakh 2018: Kratkiy statisticheskiy sbornik* (Russia in numbers 2018: A Brief Statistical Digest), Moscow, 2018, 522 p. (in Russ.)
10. Kuznetsova L.V., Nikolaev A.V., Maksimova O.I., Glukhov A.E. *University proceedings. Volga region. Technical sciences*, 2008, no. 3, pp. 73–81.
11. Gordov O.V. *Tambov University Review. Series Humanities*, 2008, no. 8, pp. 364–368.
12. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nyye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh tekhnicheskikh ob'yektov* (Intelligent Technologies for Monitoring and Controlling the Structural Dynamics of Complex Technical Objects), Moscow, 2006, 410 p. (in Russ.)
13. Zimin I.N., and Ivanilov Yu.P. *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 1971, no. 3(11), pp. 632–641.
14. 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.)
15. Kokorin S.V., Potryasaev S.A., Sokolov B.V. *Journal of Instrument Engineering*, 2012, no. 11(55), pp. 17–22.

**Data on author**

**Valery V. Zakharov**

— St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling; Junior Scientist; E-mail: Valeriov@yandex.ru

**For citation:** Zakharov V. V. Dynamic interpretation of formal description and solution of the problem of complex object modernization. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 10. P. 914–920 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-10-914-920