

УДК 519.8

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В.В. Захаров

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук
Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., 39
E-mail: Valeriov@yandex.ru

Ключевые слова: комплексное моделирование, комплексное планирование, модернизация, управление развитием.

Аннотация: проведена содержательная и формальная постановка задачи управления развитием сложных организационно-технических объектов, в частности модернизации информационной системы распределённой производственной киберфизической системы.

1. Введение

Сегодня степень износа основных фондов в обрабатывающем производстве, строительстве, транспортировке и хранении в РФ по данным 2017 года превышает 50% [1]. Очевидно, что для повышения качества и технического уровня местной продукции и вывода ее на мировые рынки, существующие и создаваемые (модернизируемые) производственные предприятия Индустрии 4.0 должны опираться на технологии и принципы производства по типу «умная фабрика».

Конкурентная борьба и импортозамещение требует не только повышения производительности, автоматизации технологических процессов и т.д., но и цифровизации проектных процедур, процессов снабжения, производства, логистики, поддержания изделия в эксплуатации и т.д. в общем жизненном цикле изделий. Необходимость оптимизации этапов жизненного цикла ставит ряд задач, ориентированных на разработку новых подходов к созданию производственных комплексов будущего, поддерживающих интеграцию технологических, технических, программных и других средств и систем, автоматизирующих этапы разработки и изготовления изделий в различных отраслях промышленности. К настоящему моменту, как потребитель может удаленно формировать уникальный по своим характеристикам продукт, так и персонал предприятия имеет возможность располагаться в различных точках планеты, контролируя состояние процессов с помощью информационных технологий. Подобную совокупность информационно-технологических решений назовем распределенными производственными киберфизическими системами (РПКФС).

Контроль и управление производством в РПКФС осуществляется посредством различных девайсов с человеко-машинными интерфейсами. Связь возможна с помощью технологий Bluetooth, Internet, Ethernet, Wi-Fi, и т.д., другими словами интерфейсов промышленного интернета вещей[2]. Географически распределенные производственные линии с 3D-принтерами позволяют осуществлять производство уникальных продуктов мелкосерийными партиями. Важная роль в решении перечисленных выше задач отводится вопросам автоматизации и интеллектуализации комплексного моделирования и планирования процессов функционирования и управления развитием новых по-

колений производственных предприятий. Исследованию представленных процессов посвящена данная статья.

2. Методология планирования и моделирования сложных объектов и систем управления ими

2.1. Комплексное планирование

РПКФС следует отнести к классу сложных организационно-технических объектов (СОТО). Отличием данных систем от традиционных технических систем, систем реального времени и сенсорных сетей являются: вычислительный потенциал в каждом физическом компоненте системы, высокая степень автоматизации; сетевое взаимодействие; поддержка интеграции при пространственном и временном масштабировании; возможность динамической структурной реконфигурации как на информационных, так и физических уровнях [3].

Плавный переход или создание подобных гибких, адаптивных, самоорганизующихся РПКФС с элементами проактивного управления структурной динамикой, станет возможен только при использовании комплексного подхода, базирующегося на результатах, полученных на междисциплинарном уровне. Системология, неокибернетика и информатика являются базой для подобных исследований.

В этом случае управление развитием следует интерпретировать как поэтапное программное управление техникой, технологическим и информационным оборудованием с целью перевода их в заданное многоструктурное макросостояние. Говоря о комплексном планировании в широком смысле, будем предполагать, что это целенаправленный, организованный и непрерывный процесс выделения различных элементов СОТО, определения их состояния и взаимодействия в заданное время, прогнозирования их развития на некоторый период времени в будущем, а также процесс составления и программирования набора действий и планов, направленных на достижение желаемых результатов.

Моделируемая система и её части имеют назначение, функции, потоки, структуру и желаемый результат. Процесс планирования создания и использования РПКФС можно представить, как полимодельный многоэтапный процесс динамического многокритериального структурно-функционального синтеза текущего облика РПКФС, а также управления его структурной динамикой в зависимости от складывающейся ситуации. Данный вид планирования принято называть адаптационным. При этом сам процесс тоже должен быть спланирован. Любой план имеет три общие компоненты: начальное состояние, цель (или конечное состояние) и средства (ресурсы), обеспечивающие связь этих состояний [4]. Технология адаптивного планирования функционирования СОТО включает в себя следующие основные этапы: адаптация параметров и структуры моделей, алгоритмов планирования и регулирования работы СОТО к прошлому и текущему состоянию внешней и внутренней возмущающей среды; многокритериальный структурно-функциональный синтез основных элементов и подсистем СОТО; собственно, планирование работы СОТО; имитация возможных сценариев реализации планов функционирования СОТО с учётом различных вариантов регулирования его элементами и подсистемами; адаптация (структурная, параметрическая) плана, моделей, алгоритмов планирования работы СОТО к возможным состояниям СОТО и внешней среды.

2.2. Комплексное моделирование

В настоящее время интенсивно разрабатываются комбинированные аналитико-имитационные методы комплексного моделирования СОТО для определения их вероятностных характеристик. Преимущества подобных методов проявляются не только на этапе планирования машинных экспериментов, но и при обработке и анализе результатов машинных экспериментов. К примеру, если существует корреляционная связь между результатами моделирования на упрощенной аналитической моделью и точной имитационной, то можно добиться уменьшения числа реализаций имитационного моделирования для достижения заданной точности полученных оценок [5].

Взаимосвязь комплекса моделей планирования функционирования и синтеза управления развитием РПКФС необходимо осуществлять на глубинном (модельно-алгоритмическом), а не на традиционном внешнем (интерфейсном) уровне. Объединение возможно путем создания новых методов, использующих на конструктивном (формальном) уровне описания концептов и отношений объединяемых базовых моделей, описывающих различные аспекты как функционирования, так и соответствующей системы управления ими.

Перечислим частные научно-технические задачи, вытекающие из общей проблемы управления развитием РПКФС: синтез облика системы, определение сроков управления, синтез технологий управления, синтез плана (программ) развития, оперативное управление процессами реализации составленных планов. Ниже опишем пути решения представленных проблем.

3. Постановка задач управления развитием

3.1. Содержательная постановка задачи

Задача на содержательном уровне может быть сформулирована следующим образом. На заданном интервале времени осуществляется плановое функционирование РПКФС направленное на решение заданного класса целевых задач. Управление основано на текущем состоянии и плановом режиме функционирования, в соответствии с заранее разработанными технологическими графиками. Для РПКФС, в зависимости от поступающих заявок на продукцию в реальном режиме времени, имеющихся технических, аппаратно-программных средств, решающих задачи производства, контрольно-диагностического обеспечения, планирования, управления автономно синтезируется уточненный план функционирования. Заданы территориально-распределенные производственные комплексы. Определены основные пространственно-временные, технические, технологические и ресурсные ограничения, связанные с показателями функционирования, с помощью которых оценивается эффективность управления.

В некоторые, заранее не заданные моменты времени в РПКФС может происходить снижение качества функционирования, имеющие прогнозируемый и не прогнозируемый характер. Причинами могут являться как физический, так и моральный износ оборудования и информационно-вычислительных средств. На практике мы видим устаревшие системы не способные оперативно и информативно отображать и передавать данные пользователю по надежным и защищенным каналам [6]. Моральный износ РПКФС проявляется в момент начала преобразования структура спроса по причине изменений потребительских требований к составу и качеству выпускаемого продукта из-за появления новых разработок.

Управление и планирование функционирования должно быть реализовано таким образом, что, с одной стороны, поставки продукции предприятия для потребителей не уменьшались, а с другой, изменения в структуре и плане функционировании не влияли

на поставщиков и работу собственных производственных мощностей. Иначе говоря, необходимо учитывать динамику развития и реконфигурации(адаптации) структур эксплуатируемой системы и обеспечивать заданные показатели качества и эффективности выполнения целевых процессов, определяемых предназначением.

Содержательная формулировка задач управления структурной динамикой, развитием и в частном случае модернизацией РПКФС сводится к следующему: требуется найти такую последовательность плановых и регулирующих воздействий на параметры, элементы, объекты, подсистемы структуры и в целом РПКФС, при которой для каждого заданного сценария изменения возмущающих воздействий обеспечивался оптимальный переход данной системы из текущего в требуемое многоструктурное макросостояние [7]. Для формализации перечисленных задач анализа, наблюдения и управления развитием проведем теоретико-множественное описание.

3.2. Формальная постановка задачи

Для иллюстрации методологии комплексного планирования и моделирования управления развитием РПКФС рассмотрим пример постановки и решения задачи планирования функционирования и модернизации одна из основных её подсистем, а именно ее информационной систем (ИС). Модернизированный вариант будем называть унаследованной ИС (УИС), при создании которой используется эволюционный путь развития, т.е. переход от «старой» архитектуры к «новой» осуществляется в течение определенных промежутков времени и состоит в плановой замене отдельных подсистем и элементов функционирующей ИС, в целях повышения производительности и снижения затрат на эксплуатацию. Для существующих и создаваемых РПКФС фактор времени становится весьма существенным. Рассматриваемый подход базируется на динамической интерпретации процессов модернизации ИС РПКФС, как процессов многокритериального структурно-функционального синтеза облика УИС РПКФС, а также одновременного синтеза технологии ее модернизации и планов (программ) проведения модернизации. Необходимо разработать принципы, подходы, модели, методы, алгоритмы, позволяющие находить такие $\langle U^t, S_\delta^{*tf} \rangle$ при которых выполняются следующие условия:

$$(1) \quad J_\theta(X_\chi^t, \Gamma_\chi^t, Z_\chi^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t, t \in (t_0, t_f]) \rightarrow \underset{\langle U^t, S_\delta^{*tf} \rangle \in \Delta g}{extr},$$

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

$$U^t = \Pi_{\langle \delta_1, \delta_2 \rangle}^{t_1} \circ \Pi_{\langle \delta_2, \delta_3 \rangle}^{t_2} \circ \Pi_{\langle \delta, \delta \rangle}^{t_2}; \beta \in \mathbf{B},$$

где χ — индекс, характеризующий различные типы структур модернизируемой ИС, $\chi \in \{\text{Топ, Фун, Тех, ПМО, ИО, Оп}\}$ – множество индексов, соответствующих топологической, функциональной и технической структурам, структурам программно-математического и информационного обеспечения (ПМО, ИО), организационной структуре, $t \in T$ множество моментов времени; $X_\chi^t = \{x_{\chi l}^t, l \in L_\chi\}$ – множество элементов, входящих в состав структуры динамического альтернативного системного графа (ДАСГ) G_χ^t или множество вершин ДАСГ, помощью которого задается управляемая структурная динамика ИС в момент времени t ; $\Gamma_\chi^t = \{\gamma_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_\chi\}$ – множество дуг ДАСГ типа G_χ^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 ИС 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 . U^t – управляющие (программные и в реальном масштабе времени) воздействия, позволяющие синтезиро-

вать структуры модернизируемой ИС; J_0 – стоимостные, временные, ресурсные показатели, характеризующие качество функционирования ИС; $q \in Q = \{1, \dots, l\}$ множество номеров показателей; Δ_g – множество динамических альтернатив (множество структур и параметров ИС, множество программ их функционирования); \mathbf{V} – множество номеров пространственно-временных, технических и технологических ограничений, определяющих процессы реализации программ модернизации ИС для различных сценариев возмущающих воздействий; \tilde{R}_g – заданные величины; $T = (t_0, t_f]$ – интервал времени, на котором синтезируются и модернизируются ИС.

На первой фазе должно осуществляться формирование допустимых вариантов многоструктурных макросостояний ИС или проводится структурно-функциональный синтез нового облика ИС, соответствующего прогнозируемой обстановке. На данном этапе на основе многомерного ортогонального проектирования на множество достижимости, сформированного в результате комплексного моделирования структурной динамики ИС, множества, с помощью которого задаются требования, предъявляемые к частным показателям эффективности ИС (новому облику ИС) происходит формирование множества неокончательных решений (множества недоминируемых, эффективных альтернатив, множества В. Парето). Окончательный выбор эффективных системотехнических решений должен осуществляться из указанного множества. На второй фазе проводится выбор и реализация конкретного варианта многоструктурного макросостояния ИС с одновременным синтезом адаптивных планов и программ управления переходом ИС из текущего в выбранное макросостояние. Рассматриваемые планы должны обеспечивать такое эволюционное развитие ИС, при котором наряду с реализацией программ перехода из соответствующих макросостояний предусматривается одновременно и реализация программ устойчивого управления ИС в промежуточных макросостояниях.

Предложенный подход позволяет с единых позиций одновременно решить основные задачи комплексного планирования функционирования и модернизации ИС. Во-первых, удастся синтезировать конечный облик соответствующих модернизируемых ИС. Во-вторых, определить сроки работ. В-третьих, определить технологии модернизации ИС (обеспечить возможность одновременного функционировать элементов «старой» и «новой» подсистемы ИС РПКФС, и устойчивость функционирования в целом). В-четвертых, определить программу перехода от «старой» и «новой» ИС РПКФС. В-пятых, удастся сформировать программы перепланирования, либо коррекции исходной программы модернизации ИС РПКФС, если возникают непредусмотренные возмущающие воздействия.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№№ 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 17-20-01214, 17-29-07073-офи-м, 18-07-01272, 18-08-01505, 19-08-00989), Госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6, в рамках бюджетной темы №№0073–2019–0004, и Международного проекта ERASMUS+, Capacity building in higher education, №73751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP.

Список литературы

1. Россия в цифрах 2018: Крат. стат. сб. / Росстат-М., Р76 2018. 522 с.
2. Гурьянов А.В., Заколдаев Д.А., Шукалов А.В., Жаринов И.О., Костишин М.О. Организация цифровых производств Индустрии 4.0 на основе киберфизических систем и онтологий // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18, № 2. С. 268-277.
3. Tetsuo Tomiyama, Florioan Moyen Resilient architecture for cyber-physical production systems. CIRP Annals. 2018. Vol, 67, No. 1. P. 161-164.
4. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
5. Микони С.В., Соколов Б.В. Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с.
6. Юсупов Р.М., Мусаев А.А. Проблема оценивания эффективности информационных технологий. Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2018). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2018. С. 74-85 с.
7. Потрясаев С. А. Комплексное моделирование сложных процессов на основе нотации BPMN // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 11. С. 913-920.