

МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ЕГО СТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКОЙ

И. Т. Кимяев

ООО «Норникель Спутник»

Россия, 125130, Москва, Старопетровский пр-зд., д. 11, корп. 2, комната 511

E-mail: igor95a@mail.ru

Ключевые слова: сложный объект, интегрированная система управления, управление структурной динамикой, управление сложностью, жизнеспособность, лицо, принимающее решение.

Аннотация: В статье рассматривается обобщенная концептуальная модель, положенная в основу подхода к решению проблемы создания интегрированных информационно-управляющих систем (ИУС) для принятия управленческих решений в общей структуре поддержания объектов хозяйственной деятельности (ОХД) в жизнеспособном состоянии. При этом, проблему синтеза обобщенной структуры рассматриваемого управляющего комплекса предлагается решать на базе системно-кибернетического подхода, позволяющего ее рассматривать как проблему управления его структурной динамикой. Управление структурной динамикой, в свою очередь, обеспечит требуемый уровень жизнеспособности ОХД на различных этапах его жизненного цикла.

1. Введение

Современная производственная организация – сложный объект хозяйственной детальности (ОХД), включает взаимосвязанные объекты управления (ОУ) в виде технологических агрегатов и линий, сгруппированные в домены по территориальным, технологическим и пр. признакам, которым управляют человеко-машинные комплексы.

Эксплуатация ОХД на различных этапах их жизненных циклов (ЖЦ) подвержена изменениям под воздействием внешних и внутренних деструктивных факторов, способных накапливаться в нем эволюционно, либо случаться одномоментно, и вызывать утерю функциональности вплоть до полной неспособности выполнять свои проектные бизнес- функции.

Настоящее исследование сосредоточено на исследовании последствий воздействий на ИУС и ОХД таких факторов как, например, производственно- технологические тренды и связанных с ними дрейфы технологических показателей, поломка оборудования и средств автоматизации, потеря квалифицированных кадров и пр. В подобных случаях способность ОХД сохранять свою функциональность как эффективной бизнес- единицы, обеспечивает административно- управленческий аппарат в виде коллективного т.н. лица, принимающего решения (ЛПР), путем целенаправленных и своевременных компенсаторных вмешательств. В помощь ЛПР, в рамках реализации его управленческих функций, проектируются и создаются (синтезируются, конфигурируются) многоуровневые человеко- машинные комплексы в виде информационных управляющих систем (ИУС).

Обобщенное свойство ОХД поддерживать в течение всего ЖЦ множество

ключевых производственных и бизнес – показателей в диапазонах, которые обеспечивают безопасную и эффективную, в части технико-экономических показателей (ТЭП), деятельность, будем называть жизнеспособностью (ЖС).

С. Бир [1] предлагает рассматривать иерархические ОХД как аналог живого организма, а процедуры организации его жизнедеятельности (фактически – управления им) – как аналоги функций живого организма. В этой связи, в качестве интегральной метрики обоснования целесообразности и/или эффективности модернизации человеко-машинной структуры ЛПР ↔ ИУС можно принять уровень ЖС ОХД [1, 2]. Данная метрика предполагает формирование (синтез) такого макросостояния ИУС, которое обеспечит поддержание требуемого уровня ЖС ОХД на ключевых этапах его ЖЦ.

С. Бир также подчеркивал, что исследование многоаспектных проблем сложности, типа проблемы обеспечения ЖС, должно базироваться на принципе необходимого разнообразия Р. Эшби, согласно которому ИУС по сложности должна соответствовать сложности управляемого объекта – ОХД [1]. Соответственно, привести в соответствие сложность комплекса из ИУС и управляемого сложного объекта (СЛО) можно сужением разнообразия внешней среды при одновременном расширении разнообразия управляющих воздействий, формируемых и реализуемых средствами ИУС.

На Рис. 1 представлена концептуальная модель методологии обеспечения ЖС ОХД на базе полимодального подхода, и модельно-алгоритмического обеспечения проактивного управления структурной динамикой его ИУС [2, 3].

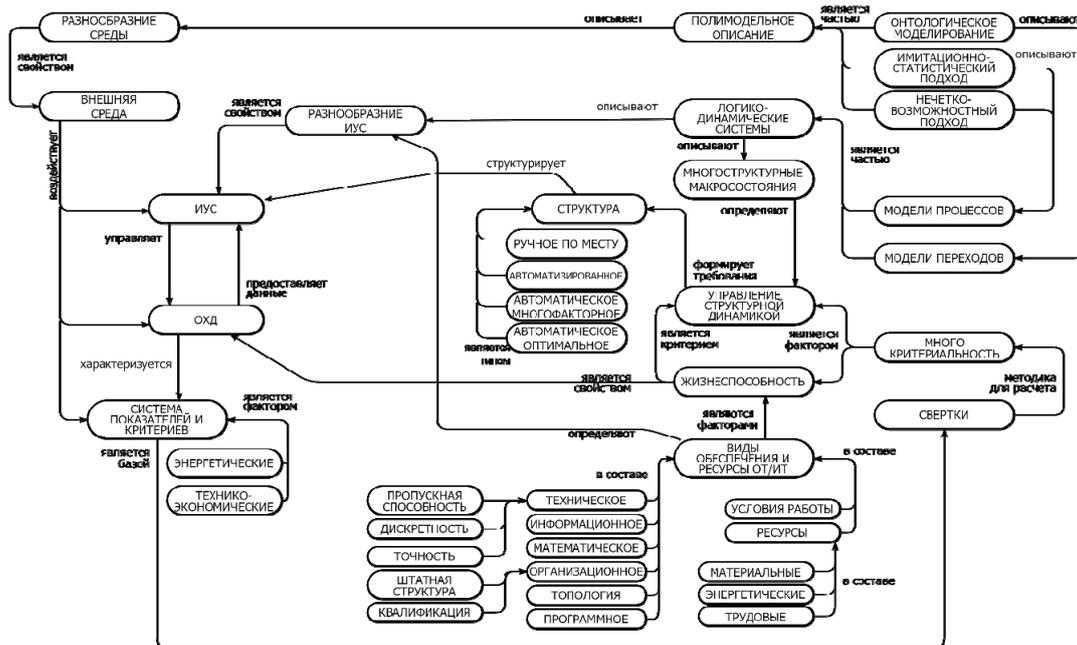


Рис. 1. Концептуальная модель методологии управлению сложностью ИУС.

В сложившейся инженерной практике, из всего многообразия структурных разновидностей ИУС, можно выделить несколько концепций и соответствующие им технологии управления [1]:

- «Автоматическое оптимальное» – наиболее совершенный класс систем управления, построен на принципах т.н. системы глобальной динамической оптимизации (СГДО), с применением мультимодельного подхода, выполняет оптимальное многокритериальное управления несколькими ОУ в едином технологическом домене;
- «Автоматическое многофакторное» – предполагает реализацию т.н. улучшенного

управления (СУУТП) для отдельных ОУ. Верхне-уровневое управление выполняет коллектив ЛПР, посредством многофакторных контроллеров (регуляторов) обеспечивает работу ОУ в наиболее эффективных режимах;

- «Автоматизированное» – с помощью систем базового контроля и регулирования (АСУТП), обрабатывающих сравнительно несложные законы автоматического управления, сигнализации, блокировок, ЛПР поддерживает работу ОУ в эффективных режимах;
- «Ручное по месту» (РМ) – посредством базового приборного парка (в настоящее время распределенного и взаимосвязанного комплекса кибер-физических систем (КФС)), достаточного для прямого ручного управления материальными, энергетическими и информационными потоками, ЛПР реализует требования технологических регламентов и поддерживает работу ОУ в безопасных режимах с наибольшим запасом устойчивости.

Структурно- технологическое решение ИУС можно представить как множество из нескольких типов структур $G \in \{G_\chi, \chi = NS\}$, где χ – индекс, характеризующий тип структуры ИУС, $\chi \in NS = \{\text{Топ, Фун, ИО, МО, ПО, ТО, ОО}\}$ – множество индексов, соответствующих топологической и функциональной структурам, структурам информационного, математического, программного, технического и организационного обеспечений.

Тогда, согласно [3, 4], множество макросостояний ИУС \leftrightarrow ЛПР можно записать как:

$$S_\delta \subseteq X'_{\text{Топ}} \times X'_{\text{Фун}} \times X'_{\text{ИО}} \times X'_{\text{МО}} \times X'_{\text{ПО}} \times X'_{\text{ТО}}, \delta = 1, \dots, k\Delta,$$

где $X_\chi = \{x_{(\chi,l)}, l \in L_\chi\}$ – множество элементов, входящих в состав структуры G_χ .

Используя системно-кибернетическую интерпретацию решаемой проблемы синтеза структуры ИУС можно ее формально описать как проблему управления ее структурной динамикой. В этом случае проблема синтеза структуры ИУС сводится к поиску такого многоструктурного макросостояния $S_\delta^* \in \{S_1, S_2, \dots, S_{k\Delta}\}$, а также выбору такой оптимальной программы управления структурной динамикой комплекса ИУС \leftrightarrow ЛПР, которая обеспечит поддержание/достижение требуемого уровня ЖС ОХД и обеспечивает переход данного комплекса из заданного многоструктурного состояния в требуемое [6].

2. Управляемая структурная динамика как способ управления сложностью ИУС

Условия перехода между заявленными технологиями управления формируются интерактивно с учетом текущего многоструктурного макросостояния ИУС и показателей качества решения следующих информационно- кибернетических задач: C – задача наблюдения; B – задача анализа; A – задача моделирования; D – задача управления/выбора. Решение данных задач целесообразно проводить циклично, а сам переход предполагает перераспределение ответственности и масштабов участия ЛПР в принятии управленческих решений.

Две из перечисленных выше задач опишем более подробно.

Задача “ A ” – проактивное моделирование (синтез) модели (структуры) целевой ИУС, жизнеспособности, например, ЖС_{РМ} и ЖС_{СУУТП}.

Задача “ D ” – выбор структуры ИУС, сводится к поиску экстремума целевой функции \bar{S} [5, 6]:

$$\bar{S}\{\{\bar{f} \in \bar{F}(\bar{\pi})\} \bar{R}\{\bar{m} \in \bar{M}\}\} \rightarrow \text{extr} \\ \bar{\pi} \in \bar{P},$$

$$\begin{aligned} \bar{f} &\subset \bar{F}(\bar{\pi}), \\ \bar{m} &\subset \bar{M}^- \end{aligned}$$

где \bar{P} – множество возможных алгоритмов управления $\bar{\pi} \subset \bar{P}$; \bar{F} – множество выполняемых ОХД функций; \bar{M} – множество элементов комплекса ИУС \leftrightarrow ЛПР; \bar{R} – операция отображения элементов \bar{F} на элементы \bar{M} .

Для реального ОХД интегральная ЖС включает экономические показатели типа стоимости / сроков окупаемости перевода ИУС из одной категории в смежную и пр.

Формальная постановка и описание проблемы многокритериального структурно-функционального синтеза и управления развитием (модернизацией) ИУС в условиях влияния внешней среды на управляемый ОХД будет заключаться в реализации программы по переводу ИУС из одного многоструктурного (целевого) состояния в другое $\langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle$, при которых выполняются следующие условия и ограничения:

$$(1) \quad J_{\Theta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \text{extr}_{\langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle \in \Delta_g},$$

$$\Delta_g = \left\{ \langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle \mid R_{\beta} \left(X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t \right) \leq \tilde{R}_g; U^t = \Pi_{\langle \delta_1, \delta_2 \rangle}^{t_1} \circ \Pi_{\langle \delta_2, \delta_3 \rangle}^{t_2} \Pi_{\langle \delta, \delta \rangle}^{t_2}; \chi \in \mathbf{B} \right\},$$

где χ – индекс, характеризующий различные типы структур ИУС, $\chi \in \{\text{Топ, ПО, МО, ИО, ТО}\}$ – множество индексов, соответствующих топологической, программной, математической, информационной и технической структурам видов обеспечения для конкретного момента времени t , $t \in T$; $X_{\chi}^t = \{x_{\chi l}^t, l \in L_{\chi}\}$ – множество элементов динамического альтернативного мультиграфа G_{χ}^t , описывающего управляемую структурную динамику ИУС; $\Gamma_{\chi}^t = \{v_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$ – множество дуг мультиграфа типа G_{χ}^t , отражающих взаимосвязи между 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 мультиграфа; $F_{\langle \chi, \chi' \rangle}^t$ – отображения различных структур ИУС 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 воздействия, способствующие решению задачи синтеза как целевой структуры ИУС, так и процессы их функционирования; $S_{\delta}^* \in \{S_1, S_2, \dots, S_{k\Delta}\}$ – многоструктурное состояние ИУС; J_{Θ} – временные, технико-экономические, материально-энергетические и пр. ресурсные показатели эффективности работы комплекса ИУС \leftrightarrow ОХД, $q \in Q = \{1, \dots, l\}$ – множество номеров показателей, которые являются компонентами обобщенного показателя жизнеспособности ИУС; Δ_g – множество динамических альтернатив (множество структур и параметров ИУС, множество сценариев его функционирования); \mathbf{B} – множество номеров пространственно-временных, технических, технологических ограничений, определяющих реализацию вычислительных процессов; \tilde{R}_g – заданные величины для поддержания в рамках ОХД; $T = (t_0, t_f]$ – интервал времени, на котором синтезируются технологии и планы реализации информационных процессов структурной динамики.

Предложенное обобщенное формальное описание (5) позволяет с единых методологических позиций подойти к решению проблемы управления сложностью комплекса ИУС \leftrightarrow ЛПР, обеспечивающему требуемый уровень ЖС комплекса ИУС-ОХД.

Одним из ключевых видов обеспечения ИУС, который определяет возможность его перевода в иное многоструктурное состояние из множества S_{δ}^* , является его модельно-алгоритмическое обеспечение. В частности, для реализации технологий «Автоматическое многофакторное» и «Автоматическое оптимальное» должны быть

созданы как комплекты т.н. цифровых двойников как ОУ, так и соответствующие управляющие методы, и алгоритмы.

В работах [7, 8] в качестве базовых подходов для решения перечисленных выше четырех информационно-кибернетических задач было предложено использовать комбинацию имитационно-статистического и нечетко-возможностного подходов.

3. Заключение

В статье показано, что для организации эффективной работы сложного ОХД, компенсации внутренних и внешних воздействий, целесообразно обеспечить возможность проактивных параметрических и структурных изменений его управляющего комплекса, в т.ч. с привлечением различной теоретико-методологической базы.

Проблему синтеза структуры ИУС предлагается решать на базе проактивного (упреждающего) управления ее структурной динамикой, ее целенаправленная реализация обеспечивает требуемый уровень жизнеспособности в течение ЖЦ.

Как пример привлечения разносторонней теоретической базы приведена обобщенная концептуальная схема. Единым, интегральным показателем успешности решения задачи управления разнообразием выбрана жизнеспособность ОХД.

Поэтапное конфигурирование ИУС предполагает целенаправленное изменение степени участия «коллективного ЛПР» в управлении, что позволяет гибко адаптироваться к изменениям внутренних и внешних условий.

В качестве примера применения прикладных подходов к перераспределению роли ЛПР в принятии решений в контуре взаимодействий ИУС и ОХД предложена комбинация имитационно-статистического и нечетко-возможностного подходов к решению соответствующих задач многокритериального синтеза организационно-функциональных структур как ИУС, так и ОХД.

Список литературы

1. Бир С. Кибернетика и менеджмент / Пер. с англ. М.: КомКнига, 2010. 280 с.
2. Кимяев И.Т., Соколов Б.В. Проблемы и методические подходы к повышению жизнеспособности производственных объектов на основе концепции эволюционного управления // Информационные технологии. 2023. Т. 29, № 1. С. 23-32.
3. Павлов А.Н., Павлов Д.А., Умаров А.Б., Гордеев А.В. Метод структурно-параметрического синтеза конфигураций многорежимного объекта // Информатика и автоматизация. 2022. № 4 (21). С. 812-845.
4. Потрясаев С.А. Синтез технологий и комплексных планов управления информационными процессами в промышленном интернете. С-Пб.: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. 2020.
5. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с
6. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Полимодельное описание и анализ структурной динамики систем управления космическими средствами // Труды СПИИРАН. 2010. Вып. 4 (15). С. 7-52.
7. Спесивцев А.В. Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов. С-Пб.: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. 2019.
8. Кимяев, И.Т. Интеллектуальная система управления процессом обжига сульфидного никелевого концентрата в кипящем слое (На примере печи Обжигового цеха Никелевого завода ОАО «Норильская горная компания»). Диссертация на соискание ученой степени канд-та техн. наук. М.: МГИСиС, 2001.