

# Разработка распределенных систем управления на базе агрегатных интеллектуальных станций

С. В. Квашнин<sup>1</sup>, М. Ю. Шестопалов<sup>2</sup>, Д. Х. Имаев<sup>3</sup>, Р. И. Смирнов<sup>4</sup>

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

ikvaser@gmail.com<sup>1</sup>, shestopalov\_08@mail.ru<sup>2</sup>, damir.imaev@mail.ru<sup>3</sup>, ri.smirnov.spb@gmail.com<sup>4</sup>

УДК 681.5+519.854

**Аннотация.** Обсуждаются проблемы проектирования селективно инвариантных систем управления на базе агрегатных интеллектуальных станций. Практическое применение результатов относится к сфере проектирования распределенных систем управления газоперекачивающими агрегатами. Предложен метод оптимального размещения компонентов подсистем.

**Ключевые слова:** *распределенная система управления; селективная инвариантность; интеллектуальная станция; газоперекачивающая станция*

## I. ВВЕДЕНИЕ

Современные системы управления (СУ) территориально распределенными объектами – компрессорной станцией (КС), газоперекачивающим агрегатом (ГПА), газотурбинной электростанцией (ГТЭС) и др. – представляют собой сложные информационно-алгоритмические комплексы – совокупности взаимосвязанных подсистем, имеющих собственные и общесистемные функции и цели. Перед проектировщиками таких СУ ставятся разносторонние требования, удовлетворение которых возможно путем соответствующей организации информационного, программного, аппаратно-технического и энергетического обеспечения. В дополнение к задачам синтеза алгоритмов управления по требованиям динамики необходимо придать системам способность сохранять работоспособность в условиях, когда компоненты СУ оказываются под воздействием интенсивных физических воздействий механической, тепловой и электромагнитной природы, которые могут приводить к неисправностям системного характера и отказам оборудования [1]–[3].

Невозможно своевременно анализировать огромный объем текущей информации о состоянии больших систем и централизованно принимать решения в условиях неконтролируемых возмущений. Сложность самих технологических процессов, разнообразие воздействий среды функционирования и требований к системам естественно преодолеваются декомпозицией объектов на технологические узлы (агрегаты) и децентрализацией управления. Иерархическая организация систем и распределение функций управления резко уменьшает

число компонентов и объем обрабатываемых данных, несущих текущую информацию о состоянии подобъектов.

Управляющие комплексы распределенного типа состоят из равноправных подсистем управления технологическими узлами и не содержат центральных устройств управления. Автономность подсистем облегчает синтез алгоритмов управления по требованиям инвариантности и устойчивости, упрощает формирование схем автоматизации технологических узлов, размещение компонентов и трассировку соединений, а кроме того, дает возможность настройки и тестирования подсистем на заводе-изготовителе. Вместе с тем, относительная автономность подсистем требует интеллектуализации управления.

Примером СУ распределенной архитектуры являются инновационные разработки НПФ «Система-Сервис» на базе агрегатных интеллектуальных станций (АИС), интегрированных непосредственно в технологические узлы ГПА, ГТЭС, КС и других объектов управления. Из совокупности АИС, объединяемых в единое информационно-управляющее пространство, строятся СУ любой сложности.

В докладе рассматривается задача размещения АИС в ограниченном пространстве с запрещенными зонами по критерию максимального удаления от источников воздействий. По тематике размещения имеется множество публикаций (например, [4]–[7]).

## II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУ НА БАЗЕ АГРЕГАТНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

Проектирование предваряется системным анализом проблемы, изучением прототипов, выявлением особенностей технологического процесса как управляемого объекта, формализации требований к динамике, оценкой технических и программных средств реализации. Сложные технологические объекты подвергаются декомпозиции на узлы (агрегаты) с самостоятельными функциями. В результате появляется концептуальная модель системы контроля и управления (структурная схема автоматизации), отражающая состав технических средств и соединения между ними.

Системы управления, удовлетворяющие приоритетным требованиям устойчивости стационарных режимов и инвариантности управляемых переменных к возмущениям,

создаются на основе моделей динамики. Этапы моделирования и параметрической идентификации объекта и среды оказываются весьма трудоемкими. В ряде случаев допустимы типовые решения по выбору класса моделей, их структуры и приближенной оценки параметров.

Независимость от возмущений среды функционирования, другими словами – инвариантность переменных, достигается несколькими способами: системными, информационно-алгоритмическими и геометрическими.

Системные способы направлены на синтез топологии, структур алгоритмов и параметров СУ из условия компенсации возмущений известных спектров или ослабления их последствий. Для синтеза используются методы теории автоматического управления и инструментальные средства расчета и компьютерной имитации, оперирующие причинно-следственными моделями динамики.

Информационно-алгоритмические способы ослабления влияния возмущений среды на СУ связаны со специальным распределением средств вычислений и коммуникации. В случае СУ ГПА каждый технологический узел оснащается АИС в зависимости от количества измеряемых параметров и исполнительных механизмов, а также конструктивных особенностей узла. Параметры разделяются между АИС по принципу функциональной неделимости таким образом, чтобы в каждую группу входило необходимое и достаточное количество параметров для выполнения функции управления.

Возмущения и их точки приложения к СУ зависят от размещения компонентов, включая элементы соединений. Перспективны исследования по обеспечению инвариантности и пассивной отказоустойчивости сложных СУ путем ослабления причин неисправностей – распределения вычислительных и коммутационных ресурсов, размещения компонентов и трассировки соединений таким образом, чтобы минимизировать интенсивность физических воздействий среды, потенциально способных вызывать неисправности компонента или влиять на качество процессов управления. Геометрические способы сводятся к выбору пространственной топологии – размещению компонентов системы и трассировке соединений в достаточном удалении от источников возмущений.

Из-за дефицита априорной информации этапы моделирования и синтеза алгоритмов управления оказываются только началом многошаговой итерационной процедуры, включающей комплекс мероприятий по распределению коммуникационных и вычислительных средств, а также размещения компонентов и трассировки соединений [1]. Если анализ динамической модели показывает недопустимое влияние возмущений на процессы управления, то следует принять решение о: 1 – повторном выполнении этапа геометрического проектирования; 2 – возвращении к этапу формирования схемы автоматизации технологического узла; 3 –

возвращении к этапу синтеза по требованиям динамики. Изменение динамической модели может привести к появлению новых компонентов, необходимости перепроектирования информационно-алгоритмической структуры, размещения и т.д.

### III. ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ АГРЕГАТНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

Предполагается, что рабочая область и запретные зоны аппроксимируются призмами, проекции которых параллельны осям декартовой системы координат (по терминологии вычислительной геометрии – так называемые изотетичные прямоугольники). Источник излучения и размещаемые компоненты рассматриваются как точки в пространстве. Расстояние между размещаемыми объектами и источниками излучений измеряется в прямоугольной метрике. Характеристиками источника воздействий являются пространственные координаты, спектр и интенсивность. Принимается гипотеза изотропности среды и монотонном характере ослабления интенсивности поля с удалением от источника. Также предполагается, что запретные зоны не экранируют поле. Задача размещения компонентов СУ формулируется следующим образом: требуется поместить очередной элемент в допустимой области так, чтобы воздействие на него со стороны источника излучения было минимально. Принятые допущения позволяют сформулировать равносильную постановку задачи минимизации воздействий среды на компонент – максимизации расстояния объекта от источника.

Визуальное решение задачи размещения возможно при небольшом числе компонентов и запретных зон. С ростом числа компонентов и препятствий, а также в случае нескольких излучателей и экранирования полей, процедуру размещения необходимо автоматизировать, для чего требуется разработать алгоритм оптимального размещения. Допущения позволяют сводить задачи геометрического моделирования к математическим задачам, являющимся моделями задачи размещения. Это позволяет решать их без поиска с помощью алгоритмов, основанных на свойствах локальных оптимумов.

Пусть требуется поместить очередной элемент в допустимой области на максимальном удалении от излучателя. Математическая постановка имеет следующий вид:

$$D(M_0, M_1) = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \rightarrow \max,$$

где:  $D$  – расстояние между источником  $M_0(x_0, y_0)$  и размещаемым компонентом  $M_1(x, y)$  в прямоугольной метрике.

Легко показать, что решения следует искать на границах запрещенных зон, необходимо только уточнить, на каких именно.

Рассмотрим некоторую окрестность точки  $M_1(x, y)$ . По определению локального максимума можно записать:

$$D(M_0, (x, y, z)) \geq D(M_0, (x + \delta x, y + \delta y, z + \delta z)),$$

где  $\delta x$  и  $\delta y$  – малые отклонения от точки  $M_0$ . Квадрат расстояния равен

$$\begin{aligned} D^2(M_0, (x + \delta x, y + \delta y)) &= (x + \delta x - x_0)^2 + (y + \delta y - y_0)^2 + (z + \delta z - z_0)^2 = \\ &= (\Delta x)^2 + 2\Delta x\delta x + (\delta x)^2 + (\Delta y)^2 + 2\Delta y\delta y + (\delta y)^2 + (\Delta z)^2 + 2\Delta z\delta z + (\delta z)^2 = \\ &= (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + 2\Delta x\delta x + (\delta x)^2 + 2\Delta y\delta y + (\delta y)^2 + 2\Delta z\delta z + (\delta z)^2. \end{aligned}$$

Учтем, что квадраты малых отклонений  $(\delta x)^2$ ,  $(\delta y)^2$ ,  $(\delta z)^2$  являются малыми второго порядка. Отсюда следует: для существования локального максимума в точке  $M_1(x, y, z)$  необходимо, чтобы для любых, сколь угодно малых  $\delta x, \delta y, \delta z$  таких, что существует точка  $M(x + \delta x, y + \delta y, z + \delta z)$ , принадлежащая окрестности  $\theta(M_1)$ , выполнялось неравенство:

$$\Delta x\delta x + \Delta y\delta y + \Delta z\delta z \leq 0 \quad (1)$$

Легко показать, что множество локальных максимумов конечно.

Тактика определения координат оптимальной точки размещения состоит из: 1 – перечисления локальных максимумов, удовлетворяющих условию (1); 2 – перебора на этом множестве.

Разработана диалоговая программа размещения на плоскости. Процедура размещения складывается из этапов: 1 – формирование рабочей области; 2 – добавление препятствий; 3 – добавление источника излучения; 4 – вычисление координат локальных максимумов и их ранжирование; 5 – фиксирование координат глобального оптимума.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирование систем управления территориально распределенными техническими объектами в условиях дефицита информации встречается с рядом проблем, решение которых следует искать в интеллектуализации подсистем. Синтез и проектирование должны интегрировать этапы моделирования и идентификации

объектов, расчеты не только по моделям динамики, а также по схемам контроля и управления, а также геометрическим моделям размещения. Актуальны постановки задач синтеза селективно инвариантных систем произвольной причинно-следственной топологии. Применительно к СУ ГПА требуется формализовать описание информационно-алгоритмической топологии и разработать методы распределения вычислительных и коммуникационных ресурсов. Необходимо дальнейшее развитие методов и алгоритмов оптимального размещения компонентов распределенных систем управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Шестопалов М.Ю., Имаев Д.Х., Кораблев Ю.А., Квашнин С.В. Проектирование систем управления территориально распределенными объектами // Инновации, № 10, 2018. С.100–107.
- [2] Имаев Д.Х., С.В. Квашнин, А.В. Черников, М.Ю. Шестопалов. Проектирование систем отказоустойчивого управления сложными техническими объектами // XXI Межд. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). Санкт-Петербург. 25–27 мая 2018 г. СПб.: СПб ГЭТУ «ЛЭТИ». Том 1. С. 295–297.
- [3] Авторское свидетельство №4475093/06. Авторы: С.Д. Альтшуль и др. Отказоустойчивая система управления газоперекачивающим агрегатом. Оpubл. 23.02.1991, Бюл.№7. <http://www.findpatent.ru/patent/162/1629580.html>
- [4] Ханан М., Дж. Курцберг. Методы размещения/ В кн. Теория и методы автоматизации проектирования вычислительных систем. М.: Мир, 1977. С. 147–225.
- [5] Фокс А., Пратта М. Вычислительная геометрия. Применение в производстве и проектировании. М.: Мир, 1982. С. 304.
- [6] Забудский Г.Г. Алгоритм решения минимаксной задачи размещения объекта на плоскости с запрещенными зонами // Автомат. и телемех. Вып. 2, 2004. С. 93–100.
- [7] Кутузов О.И., Татарникова Т.М. Подход к оптимизации структуры межсетевое устройства с привлечением генетических алгоритмов // Известия СПб ГЭТУ ЛЭТИ, №11. 2006. С. 61–67.