УДК 681.5

В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, С.Ф. Киселев, Е.И. Львова, А.А. Линков

Сибирский государственный индустриальный университет

ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА СРЕДСТВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ*

Опыт разработки, внедрения и эксплуатации сложных промышленных систем автоматизации показывает, что в силу ограничений технического, организационного и временного характера наибольшую работу по отладке системы – наладке аппаратных средств, алгоритмического, программного и информационного обеспечения, обучению производственного (технологического и обслуживающего) персонала необходимо выполнять в период, когда строительство объекта управления еще не закончено и технологические линии находятся в стадии монтажа [1].

Это предопределяет не просто целый ряд требований к функциональной структуре и математическому обеспечению, но и принципы, и методологию построения, проектирования и внедрения систем автоматизации управления, создания инструментального обеспечения исследований, испытаний и отладки системы в целом и отдельных ее компонентов в процессе проектирования, внедрения и эксплуатации. Одним из таких инструментов является специальный исследовательский и испытательно-наладочный комплекс – полигон. Его укрупненная структура представлена на рис. 1.

Испытательно-наладочный полигон выполнен в виде программно-технического стенда, оснащенного современным инструментальным обеспечением процессов разработки, исследования и наладки систем автоматизации, включая методические разработки, алгоритмы, программы и технические средства имитационного моделирования систем автоматизации производственных процессов, специальные пакеты программирования микропроцессорных контроллеров и интегрированные пакеты прикладного программирования систем автоматизации.

Испытательно-наладочный полигон позволяет выполнять следующие задачи:

– тестирование аппаратных средств и базового программного обеспечения, устройств информационной связи компонентов системы автоматизации управления;

– отработку основных технических решений по обмену информацией между компонентами системы автоматизации управления, включая интерфейс с оперативным технологическим персоналом;

– настройку и сравнительную оценку эффективности алгоритмов управления технологическим оборудованием и технологическими процессами;

– испытание, настройку и оптимизацию типовых, а также разного рода специализированных алгоритмов управления;

– обучение технологического персонала и отработку навыков взаимодействия с программно-аппаратными средствами системы.

Решение указанных задач возможно по пути развития и практического использования современных методов имитационного моделирования, представлений теории активных систем, поисковых оптимизационных процедур, планирования эксперимента.

С этих позиций постановка задачи испытания и наладки средств и систем автоматизации в общем виде сделана следующим образом.

Дано. 1. Варианты макетов информационного, программного и технического обеспечения управляющей подсистемы управления.

2. Генераторы модельных, натурно-модельных и натурных данных о функционировании действующих аналогов промышленных комплексов.

3. Объекты управления, реализованные в виде:

– физических объектов той же или другой природы, что и натурный объект управления;

– натурно-модельных комплексов, объединяющих натурные компоненты с пересчетными математическими моделями;

– математических моделей объектов управления.

* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки на выполнение СибГИУ научно-исследовательской работы № 2555.

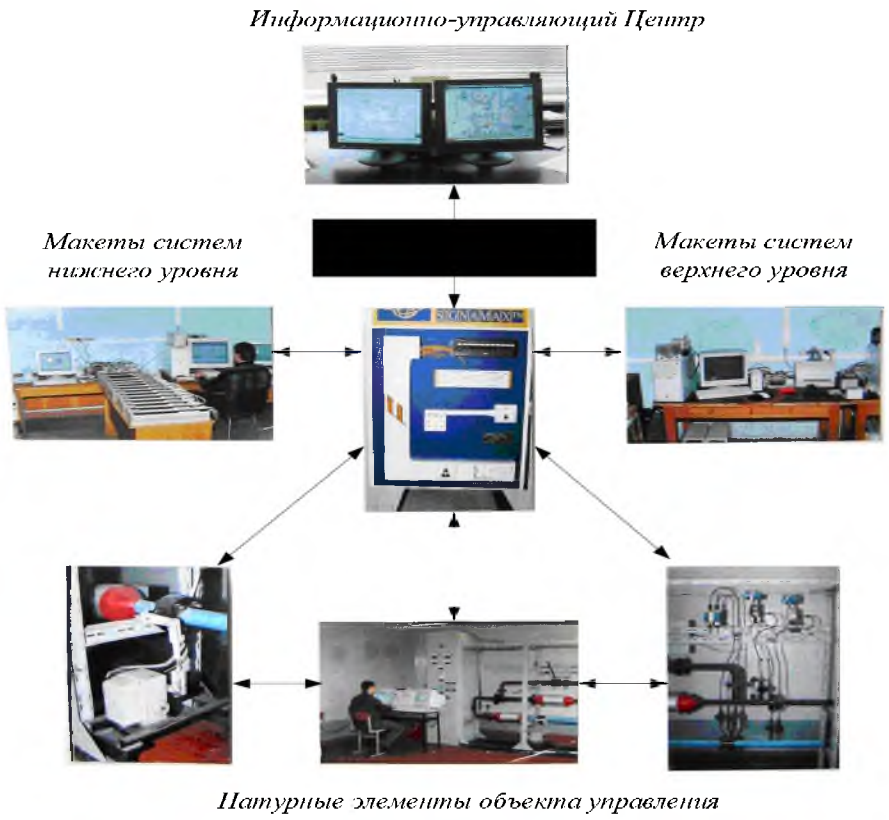


Рис. 1. Укрупненная структура испытательно-наладочного полигона

4. Технические и математические модули интеграции объекта управления и управляющей подсистемы.

5. Модуль управления испытанием и оптимизацией систем управления, обеспечивающий планирование экспериментов, имитационное натурно-математическое моделирование, расчет показателей эффективности, реализацию поисковых процедур, формирование отчетных документов.

Требуется. 1. Оценить показатели эффективности вариантов информационного, программного и технического обеспечения управляющих подсистем.

2. Выявить и устранить недостатки вариантов в обеспечении управляющих подсистем.

3. Провести структурную и параметрическую оптимизацию системы управления.

Для адекватного воспроизведения технологических процессов создана физическая (натурная) модель, отражающая практически все особенности производственных объектов. Схема этой модели представлена на рис. 2.

Физическая модель в общем виде представлена математической зависимостью в пространстве состояний:

$$\begin{cases} \dot{X}_j(t) = A_j(t)X_j(t-\tau_{X,j}) + B_j(t)U_j(t-\tau_{U,j}) + \\ + C_j(t)W_j(t-\tau_{W,j}); \\ Y_j(t) = D_j(t)X_j(t-\tau_{Y,j}); Y(t) = Y_j(t) \text{ при } j = J, \end{cases} \quad (1)$$

где $j = \overline{1,J}$, J – количество относительно автономных модулей установки; $A_j(t)$, $B_j(t)$, $C_j(t)$, $D_j(t)$ – матрицы соответствующих размерностей; $X_j(t)$, $U_j(t)$, $W_j(t)$ и $Y_j(t)$ – векторы переменных состояний, управляющих, внешних и выходных воздействий; τ_X, τ_U, τ_W, τ_Y – времена запаздывания по соответствующим каналам.

На физической модели можно реализовать следующие частные объекты:

– объект с управляемым рециклом (с положительной обратной связью), в который входят нагреватель *2*, управляемые заслонки *2*, *3*;

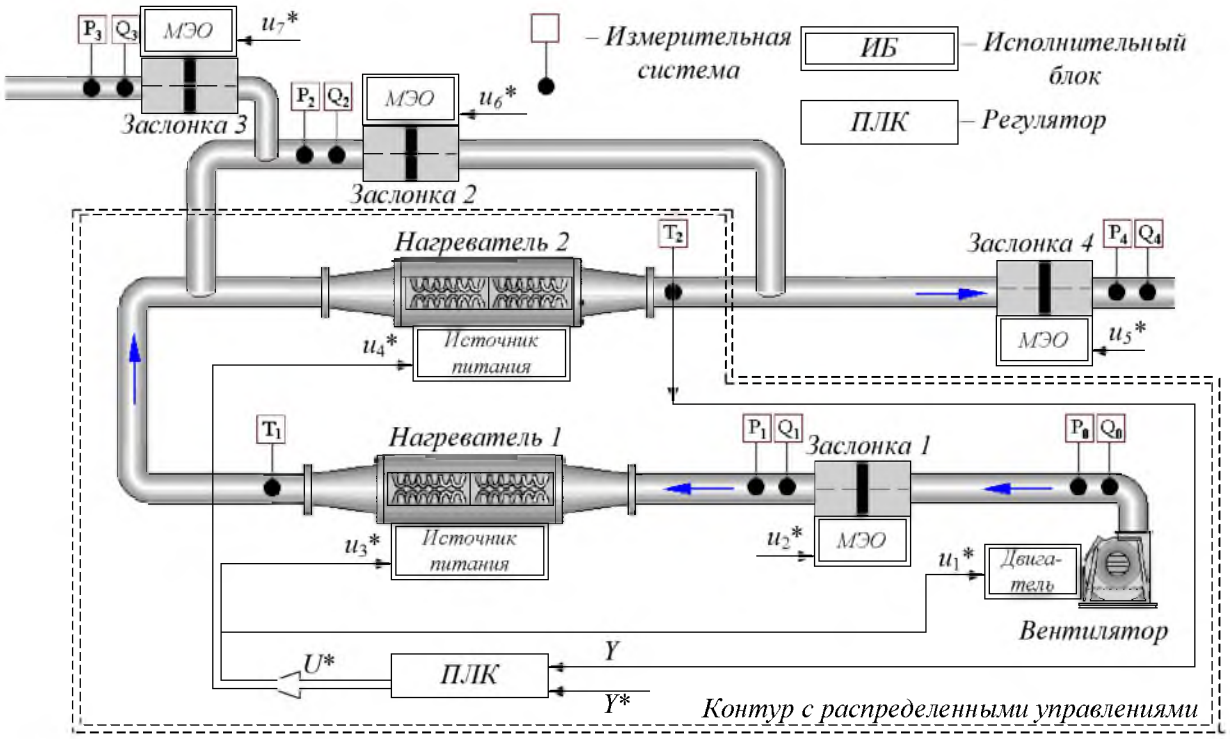
– объект с пятью распределенными управлениями $\overline{u_1^*; u_5^*}$;

– последовательно соединенные инерционные объекты, включающие вентилятор, нагреватель *1* и нагреватель *2*;

– объекты с запаздыванием в управлении и измерении в каждом частном объекте.

Изменением положения заслонок *1*, *2*, *3*, *4* моделируются различного рода режимы управления и возмущения.

Для примера рассмотрим контур физической модели с распределенными управлениями, выделенный на рис. 2 двойной штриховой линией.



U^*={u_1^*, u_2^*, u_3^*, u_4^*, u_5^*, u_6^*, u_7^*} – вектор задания управляющих воздействий; {Q_0, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, T_1, T_2, P_0, P_1, P_2, P_3, P_4} – вектор измерений; Q_i и P_i – расход и давление воздуха после i-ой заслонки; T_i – температура после i-го нагревателя; МЭО – механизм электрический однооборотный

Рис. 2. Структурная схема физической модели

Испытания и исследования локального контура с распределенными управлениями проводились на объекте управления, состоящем из трех элементов физической модели – вентилятора и нагревателей *1*, *2*. Таким образом, рассматривался объект с тремя управляющими входами $U^* = \{u_1^*, u_3^*, u_4^*\}$ и одним выходом – Y.

Целью управления в таком контуре является реализация задания на температуру воздуха на выходе трубопровода (после нагревателя *2*) – Y^* при равномерной нагрузке на вентилятор и нагреватели *1*, *2*. Реализация алгоритма управления осуществляется в программируемом логическом контроллере (ПЛК) на основании задания на температуру на выходе трубопровода Y^* и текущих данных о температуре Y с датчика T_2.

На основе натурной установки проведены испытания и оптимизация структур и коэффициентов алгоритмов регулирования технологическими процессами:

– нагрева воздуха вентилятора главного проветривания угольной шахты;

– обогащения в отсадочных машинах и тяжелосредных сепараторов обогатительной фабрики;

– управления плотностью рабочей суспензии тяжелосредного сепаратора обогатительной фабрики.

За счет оптимизации структуры и параметров алгоритмов повышена точность регулирования на 10 – 20 % по среднемодульному критерию.

Для исследования и оптимизации в целом промышленных комплексов только таких установок не достаточно. В этом случае необходимо применение имитационного натурно-математического моделирования, сущность которого описана в работах [2, 3]. Натурные данные для такого имитационного моделирования и пересчетные математические модели брали с аналогов – уже реализованных промышленных комплексов с выделением типопредставительных (наиболее характерных) участков функционирования этих комплексов.

Физическая модель и натурно-математическое моделирование служат наиболее важными компонентами испытательно-наладочного полигона, на котором реализуется макет промышленного комплекса с элементами информационных связей, технических средств и программного обеспечения.

В процессе испытаний и пуско-наладочных работ выявлялись ошибки и возможные недоработки алгоритмов управления функционированием отдельных агрегатов, системные и случайные ошибки программирования алгоритмов, ошибки в реализации обмена данными

Временные затраты и статистика обнаруженных ошибок при испытании и пуско-наладке средств и систем автоматизации на полигоне и на промышленной площадке

Показатели при испытании и пуско-наладке на полигоне	***Значение показателя***
Ошибки в локальных системах управления (количество ошибок / количество алгоритмов)	55/324
Ошибки при комплексной пуско-наладке системы автоматизации управления (количество ошибок / количество инструкций)	18/4520
Ошибки при комплексной пуско-наладке диспетчерской системы (количество ошибок / количество точек базы данных)	45/7540
Время испытания и пуско-наладки, ч	1000
Количество ошибок, %	75
Показатели при испытании и пуско-наладке на промышленной площадке	
Ошибки подключения электрических цепей (количество ошибок / количество сигнальных подключений)	20/2500
Ошибки, выявленные при тестировании программ управления локальных агрегатов (количество ошибок / количество алгоритмов)	10/324
Ошибки, выявленные при проверке работы технологического комплекса (количество ошибок / количество алгоритмов)	9/118
Время испытания и пуско-наладки, ч	20
Количество ошибок, %	25

между удаленными частями системы автоматизации управления. Последующая наладка систем уже осуществлялась на промышленной площадке после реализации средств и систем автоматизации.

Пример показателей при испытании и пуско-наладке средств и систем автоматизации управления обогатительной фабрики на полигоне и на промышленной площадке приведен в таблице.

Выводы. Проведение испытаний и наладки средств и систем автоматизации на полигонном комплексе позволило практически на порядок минимизировать трудозатраты и сроки выполнения пуско-наладочных работ на промышленном объекте (на промышленной площадке). Отладка систем автоматизации на полигоне позволяет осуществить их опережающую реализацию еще до проведения пуско-наладочных работ на технологических агрегатах. Эта опережающая реализация систем, по крайней мере, их информационной части с обеспечением основных технологических блокировок дает возможность уменьшить время наладки основного и вспомогательного технологического оборудования не менее чем на 15 – 20 %. Применение технологических блокировок обеспечивает сохранность оборудования и повышает безопасность выполняемых пуско-наладочных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грачев В.В. Методы и алгоритмы планирования, разработки и внедрения автоматизированных технологических комплексов (на примере углеобогатительных фабрик): Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новокузнецк, СибГИУ, 2009. – 17 с.
2. Натурно-математическое моделирование в системах управления. Учебное пособие / В.П. Авдеев, С.Р. Зельцер, В.Я. Карташов и др.– Кемерово: изд. КемГУ, 1987. – 84 с.
3. Системы автоматизации на основе натурно-модельного подхода: Монография в 3-х томах. Т. 2. Системы автоматизации производственного назначения / Под ред. Л.П. Мышляева. – Новосибирск: Наука, 2006. – 483 с.

© 2014 г. В.В. Грачев, Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, С.Ф. Киселев, Е.И. Львова, А.А. Линков

Поступила 20 февраля 2014 г.