

УДК 004.94:62.523

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ И ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ**В. В. Найда, И. С. Конох, Л. В. Сухомлин**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kis_saue@mail.ru

Описан порядок проведения мероприятий по внедрению и вводу в эксплуатацию новых автоматизированных систем управления, и охарактеризована их сложность с организационной и технической точек зрения. Описаны свойства некоторых современных специализированных программных пакетов для отладки программного обеспечения промышленных систем управления. Приведена последовательность проверки функций систем автоматизированного управления, и выбраны способы внедрения новых средств информационной технологии для автоматизации процесса проверки и тестирования. Описан состав средств информационной технологии, включающей в себя средства идентификации многоканальных объектов управления и воспроизведения их сигналов с максимально возможной точностью. Приведен алгоритм работы информационной технологии, обеспечивающей автоматизацию тестирования систем управления сложными объектами управления, включающий проверку дискретных и непрерывных каналов.

Ключевые слова: пусконаладочные работы, АСУТП, идентификация, нечеткий контроллер.**ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПУСКОНАЛАГОДЖУВАЛЬНИХ РОБІТ І ВИПРОБУВАНЬ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ****В. В. Найда, И. С. Конох, Л. В. Сухомлин**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kis_saue@mail.ru

Описано порядок проведення заходів щодо впровадження та введення в експлуатацію нових автоматизованих систем управління та охарактеризована їх складність з організаційної та технічної точок зору. Описані властивості деяких сучасних спеціалізованих програмних пакетів для налагодження програмного забезпечення промислових систем управління. Наведено послідовність перевірки функцій систем автоматизованого управління та обрані способи впровадження нових засобів інформаційної технології для автоматизації процесу перевірки та тестування. Описано склад засобів інформаційної технології, що включає засоби ідентифікації багатоканальних об'єктів управління та відтворення їх сигналів із максимально можливою точністю. Наведено алгоритм роботи інформаційної технології, що забезпечує автоматизацію тестування систем управління складними об'єктами управління, включаючи перевірку дискретних і безперервних каналів.

Ключові слова: пусконалагоджувальні роботи, АСУТП, ідентифікація, нечіткий контролер.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Под автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП) понимается целостное решение, обеспечивающее автоматизацию основных операций технологического процесса на производстве в целом или каком-то его участке, выпускающем относительно завершённое изделие. Это комплекс технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на промышленных предприятиях.

В современных условиях промышленные предприятия вынуждены регулярно модернизировать производство, в том числе за счет комплексных решений по автоматизации технологических процессов, что позволяет, в итоге, снизить издержки, сократить долю ручного труда и повысить качество продукции. Вместе с тем, большие предприятия стараются сократить свою структуру, избавиться от вспомогательных цехов и служб или значительно уменьшить численность их персонала. Объем работ, которые они должны выполнять, передается на аутсорсинг специализированным сервисным компаниям, вынужденными конкурировать друг с другом. Эта тенденция характерна и для процессов реализации комплексных решений по автоматизации технологических процессов. Компании, работающие в

этой области, вынуждены соглашаться разрабатывать и реализовывать технические проекты в условиях ограниченного времени и финансирования.

Жизненный цикл автоматизированных систем управления (АСУ) технологическими процессами характеризуется высокой наукоёмкостью, использованием труда специально подготовленного научного и инженерно-технического персонала. Практически на всех этапах создания и ввода в эксплуатацию необходима высокая доля творческого труда инженеров, так как каждая система имеет индивидуальные особенности и при автоматизации очередной части технологического процесса имеющиеся типовые решения АСУТП применимы в ограниченном объеме.

Модернизация систем управления проводится на технологическом оборудовании, которое невозможно надолго исключить из техпроцесса. Соответственно, отладка аппаратных и программных частей внедряемой АСУТП затруднена и сильно растягивается по времени.

Технические проекты сложных систем содержат неточности и ошибки, первоначальные варианты управляющих алгоритмов и программ не в полной мере соответствуют требованиям техпроцесса, так как проектные инженеры сервисных компаний не знают особенностей данного производства.

Все вышеперечисленные факторы существенно

затягивают сроки внедрения новых систем, приводят к перерасходу денежных средств в виде оплаты труда инженерно-технического персонала, в том числе сверхурочных и командировочных, оплаты штрафов за невыполнение сроков договора, оплаты издержек за останов технологического оборудования. Также нельзя исключать повышенные риски аварий в пусконаладочный и испытательный период.

Таким образом, цель работы – разработка и использование новых информационных технологий для повышения эффективности пусконаладочных работ и испытаний систем автоматизированного управления технологическими процессами.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Государственные стандарты [1] предусматривают следующие стадии и этапы создания автоматизированной системы:

1. Формирование требований к АСУ, обследование объекта, формирование требований пользователя к АСУ, оформление отчета о выполнении работ и заявки на разработку.

2. Разработка концепции АСУ, изучение объекта, проведение необходимых научно-исследовательских работ, разработка и выбор вариантов, удовлетворяющего требованиям пользователей.

3. Техническое задание, разработка и утверждение технического задания на создание АСУ.

4. Эскизный проект, разработка предварительных проектных решений по системе и ее частям, разработка документации на систему и ее части.

5. Технический проект, разработка проектных решений по системе, разработка технической документации, разработка и оформление документации на поставку комплектующих изделий, разработка заданий на проектирование в смежных частях проекта.

6. Разработка рабочей документации на систему и ее части, разработка и адаптация управляющих программ.

7. Ввод в действие, подготовка объекта автоматизации, обучение персонала, комплектация АСУ поставляемыми изделиями (программными и техническими средствами, программно-техническими комплексами, информационными изделиями).

К этому пункту относятся строительно-монтажные работы, пусконаладочные работы, проведение предварительных испытаний, проведение опытной эксплуатации, проведение приемочных испытаний.

8. Сопровождение АСУ, выполнение работ в соответствии с гарантийными обязательствами, послегарантийное обслуживание.

Данные стандарты не вполне подходят для текущей ситуации – многие процессы отражены недостаточно, а некоторые положения устарели.

На предприятиях действуют отраслевые стандарты и собственные положения, которые накладывают отпечаток на проведение проектных, пусконаладочных и испытательных работ.

Если рассмотреть фактическую ситуацию, то формулировка требований и концепции новой АСУ выполняется формально, особенно если на предприятии имело место внедрение какой-либо системы с аналогичными функциями.

Техническое задание содержит требования по обеспечению технологического процесса и требования по совместимости и интеграции создаваемой АСУ в структуру имеющихся средств автоматизации. Вопросы построения оптимальных систем или интеллектуализации управления, как правило, сформулированы в общем виде или не рассматриваются вообще.

Этап «Технический проект», несмотря на формальную полноту, содержит неточности, логические ошибки, неувязки между различными частями проекта. Также этап характерен недостаточной проработкой программной части, которая не учитывает многие режимы работы оборудования, защитные блокировки, принятые на предприятии протоколы запуска, выведения в номинальный режим и останова технологического оборудования. Это касается как программного обеспечения программируемых логических контроллеров (ПЛК), так и рабочих станций операторов и технологов.

Графические интерфейсы операторов и дополнительные функции программ разрабатываются, уточняются и меняются по мере реализации всего проекта, в том числе и по причине изменения требований заказчика.

Фактически, приходится объединять этапы подготовки технической и рабочей документации, параллельно выполнять различные виды работ, включать дополнительные и непредвиденные этапы.

При этом, в литературе процесс пусконаладки или испытаний описывается очень общей схемой, такой как на рис. 1. Диаграммы бизнес-процессов не раскрывают суть работ, а описывают только их документальное оформление начала и окончания.

В источнике [2] содержится подробное описание приемо-сдаточных испытаний в виде типовой программы, которая регламентирует состав предъявляемой документации и проверяемые технологические функции АСУТП. Хотя программа [2] относится к системам управления подстанциями, ее положения можно рассматривать как справедливые для АСУТП промышленных объектов подобных размеров.

Системы содержат цифровые и аналоговые каналы измерений, требуют управления коммутационной аппаратурой, автоматического регулирования непрерывных технологических параметров, компоненты объединены сетевыми средствами связи и интегрированы в единую SCADA.

Проверке подлежат срабатывание защит и блокировок, появление тревожных и аварийных сигналов при наступлении соответствующих условий.

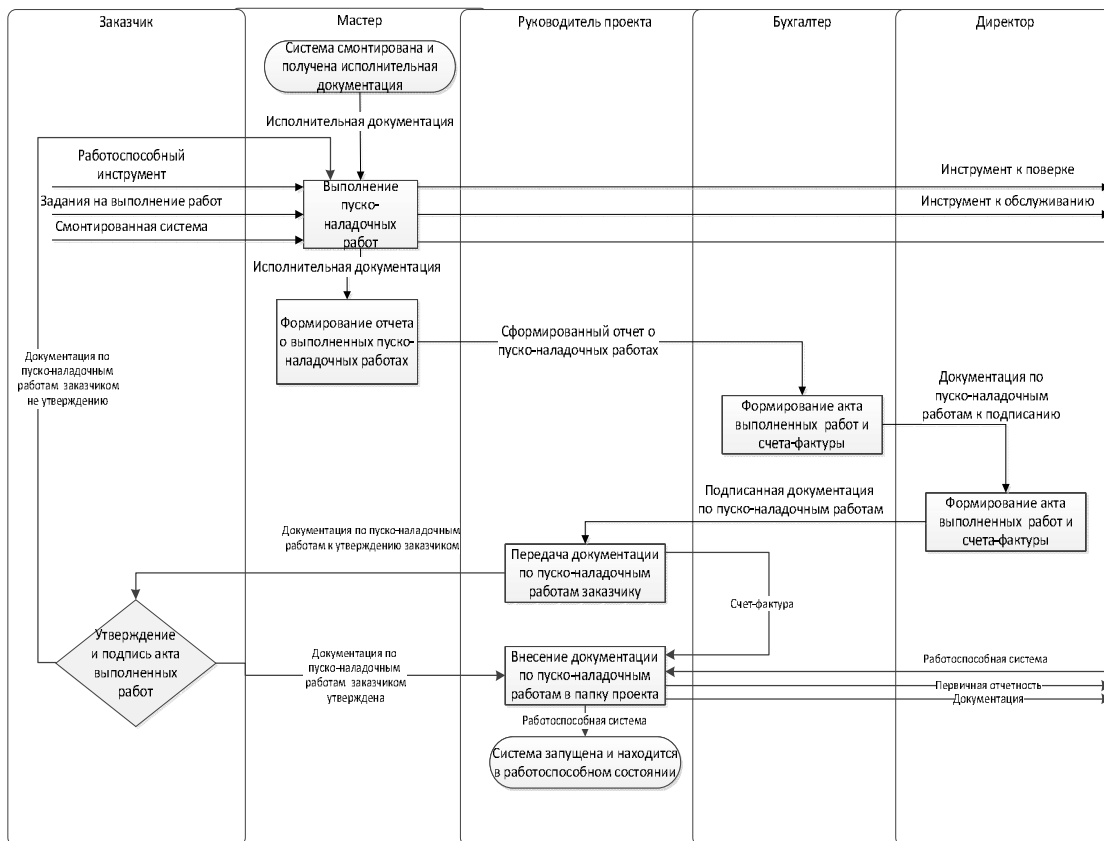


Рисунок 1 – Диаграмма бизнес-процесса пусконаладочных работ

Следует отметить, что процессы разработки рабочего проекта, управляющих программ, пусконаладочные работы на всех этапах и приемо-сдаточные испытания требуют проведения одних и тех же действий, связанных с перепрограммированием контроллерных компонент, выполнения процедур управления технологическим оборудованием во всех вариантах. Необходимо контролировать управляющие воздействия и сигналы обратной связи, фиксировать ошибки и неудовлетворительные результаты автоматической работы, отлаживать взаимодействие аппаратных и программных составляющих системы [3].

Можно сформулировать ряд проблем, решение которых лежит в области разработки специализированных информационных технологий:

- использование нового технологического оборудования или средств автоматизации требуют непредусмотренных корректировок проектных решений и оперативного изменения управляющих алгоритмов и программ;
- изменяемые требования к функциональным возможностям системы приводят к дополнительным затратам времени, пусконаладочным работам и испытаниям;
- любое изменение, вносимое в рабочий проект, требует повторного проведения цикла наладки и предварительных испытаний, влечет временные и трудовые затраты, особенно, если большую часть времени нельзя останавливать технологический процесс;
- несмотря на повторяемость действий, связан-

ных с формированием тестовых режимов для систем управления, процесс слабо автоматизирован, требует много времени и высокой квалификации разработчиков;

- в аутсорсинговых предприятиях отсутствует полигонное оборудование, на котором можно в любой момент протестировать управляющие программы хотя бы в отдельных режимах;
- использование программных симуляторов для целей отладки программного обеспечения промышленных контроллеров или SCADA-систем не позволяют в минимально достаточной мере воспроизвести реакцию объекта управления или требуют трудовых, временных и денежных затрат, сравнимых с затратами на основное программное обеспечение;
- сложность формирования тестовых режимов, связанная с большим числом комбинаций сигналов, времени их поступления и действий управляющего персонала;
- взаимное влияние параметров технологического процесса друг на друга и непредсказуемость возмущающих воздействий, неопределенность некоторых параметров затрудняет отладку алгоритмов автоматического регулирования.

Ускорить и удешевить первичную отладку систем управления, создаваемых на основе программируемых логических контроллеров, помогают программные пакеты от производителей, такие как Siemens – S7-PLSIM, Mitsubishi – GX Simulator и т.д. Такие средства позволяют выполнять программы для ПЛК в среде эмуляции на доступной платформе персональных компьютеров. Однако они частично устраняют

проблему фізичного відсутності полігонних екземплярів ПЛК, але вирішують проблеми відсутності сигналів від об'єкта. Інженери змушені спеціально писати великі програмні модулі для моделювання і емуляції об'єктів.

В даний час розробники складних систем АСУТП використовують спеціалізовані засоби емуляції об'єктів управління FAT – Factory Asserptance Test simulator (симулятор для заводської приймки), які мають різні властивості з точки зору ступеня достовірності симуляції. В основному використовують розробки на основі програмних пакетів Matlab + Simulink, LabView або реалізують симуляцію всередині ПЛК. Є спеціальні засоби розробки – WinMOD, Mynah MiMiC, Siemens SIMIT [4], APROS, Process Simulator [5].

Сучасні емулятори ПЛК, такі як S7-PLCSIM [6], імітують взаємодію центрального процесора SIMATIC S7 з областю відображення процесу. По аналогії з процедурами в реальному апаратному тестуванні програма завантажується в емульований центральний процесор. S7-PLCSIM підтримує інтерфейс для обміну даними з різними програмами Windows. Зв'язок базується на використанні елементів управління ActiveX Control. Крім того, програми симуляції можуть виступати як OPC-сервери, надаючи доступ до всіх змінних процесу.

Так, програмний пакет Process Simulator надає можливість створення з'єдинень (Connection) і елементів даних (Item). Доступні наступні комунікаційні модулі:

- OPC клієнт;
- Modbus (RTU/ASCII, Serial/TCP) клієнт;
- Siemens S7-PLCSim;
- Siemens S7-300, S7-400 через TCP/IP.

В цілому, такі програми мають можливість як найпростішої імітації входних сигналів, так і побудови повного симулятора технологічного обладнання.

Конвертери (Converter) призначені для попередньої обробки даних, наприклад, нормалізації аналогового сигналу або інверсії дискретного. Вся конфігурація виробляється через

Communication Manager (рис. 2).

Створення симуляційних об'єктів ілюструється рис. 3. Вони є основними блоками, реалізують роботу симулятора [5]. Зв'язок об'єктів з системою автоматизації здійснюється через елементи даних. Реалізована можливість складати управляючі скрипти на мові C# або просто змінювати значення елементів даних через проміжки часу.

Інтерфейс користувача (рис. 4) складається з сторінок (Page) і панелей (Panel). Сторінки, аналогічні закладкам в Web-браузері, на яких за допомогою панелей можна відобразити будь-який симуляційний об'єкт або елемент даних.

Однак такі засоби по-ранішньому вимагають великої частини праці інженерів по вивченню об'єкта управління і програмування його властивостей в середовищі налагодки управляючих програм.

Можливість змінити складну ситуацію в кращу сторону кроється в створенні систем і технологій, які на основі наявних засобів налагодки допоможуть автоматизувати поведінку об'єкта, виконання тестових сценаріїв, фіксацію помилок і знизити витрати проведення пусконаладочних робіт і випробувань. Слід прагнути до такого рівня автоматизації процесу і такого якості виробництва властивостей об'єкта управління, які дозволять протестувати систему або управляючі програми без змін включення в реальний контур управління.

В джерелі [7] описано спосіб автоматизованого побудови моделі об'єкта управління, який базується на аналізі часових звітів, отриманих експериментально і інтерполяції результатів нечіткої експертної системи. Особливістю методу є збереження частотних характеристик і форми вихідного сигналу, ідентичних експериментальним даним. На прикладі реальних електромеханічних об'єктів показано можливість побудови автоматичних систем емуляції і ідентифікації для налаштування реальних пристроїв управління поза технологічними налаштуваннями.

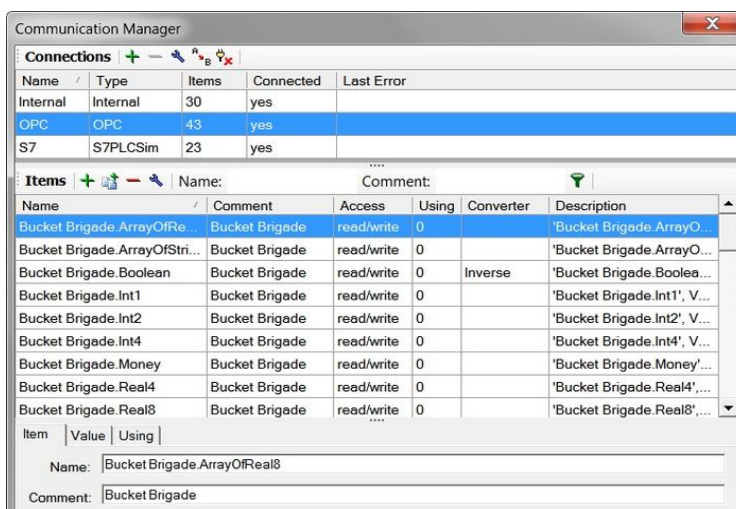


Рисунок 2 – Графічна форма «Communication Manager» для конфігурації змінних і з'єдинень пакету Process Simulator

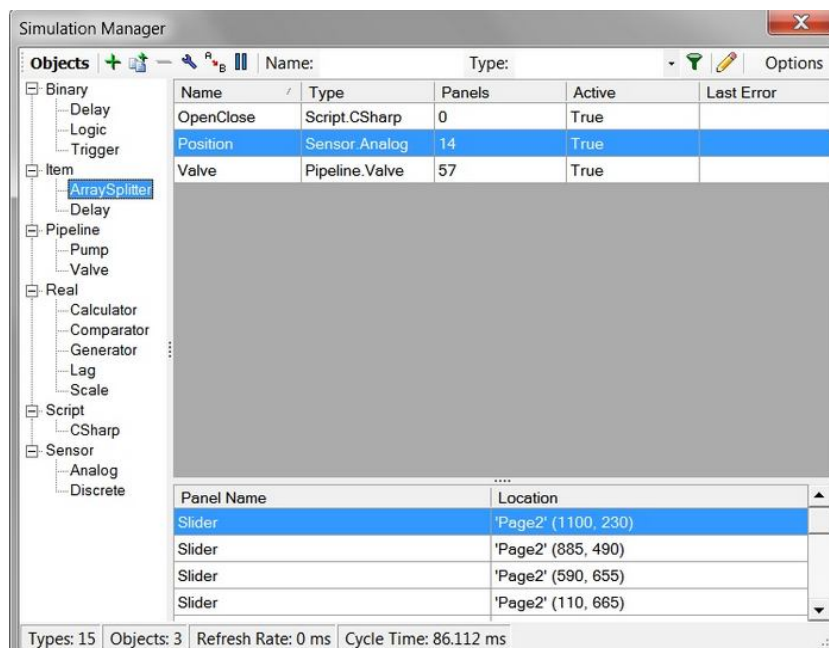


Рисунок 3 – Графическая форма «Simulation Manager» для создания симуляционных объектов пакета Process Simulator

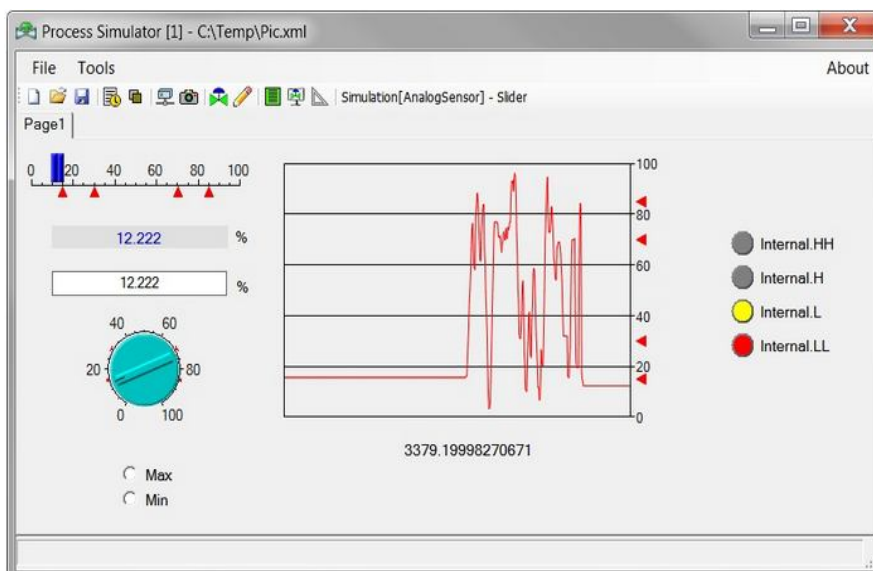


Рисунок 4 – Создание пользовательского интерфейса в пакете Process Simulator

Информационная технология поддержки пусконаладочных работ и испытаний систем автоматизированного управления может обеспечить следующие функции:

- фиксация и обработка входных и выходных сигналов объекта управления;
- протоколирование и формирование базы данных входных воздействий и реакций объекта;
- задание априорной информации об объекте управления для качественного воспроизведения основных свойств объекта;
- идентификация объекта управления, определение взаимосвязей между входами и выходами, взаимовлияние параметров технологического процесса друг на друга;
- задание основных сценариев работы для формирования испытательных режимов;

- генерация наборов аналоговых и дискретных тестовых сигналов, которые позволяют оценить корректность работы управляющего программного обеспечения;

- формирование в реальном времени тестовых входных воздействий для системы управления в соответствии с выбранным сценарием;
- формирование реакций объекта для тестируемой системы управления;
- оценка корректности работы управляющих программ по выходным сигналам системы управления.

Логика функционирования информационной технологии описывают диаграммы на рис. 5 и 6. Они согласуются с данными и требованиями, приведенными выше.

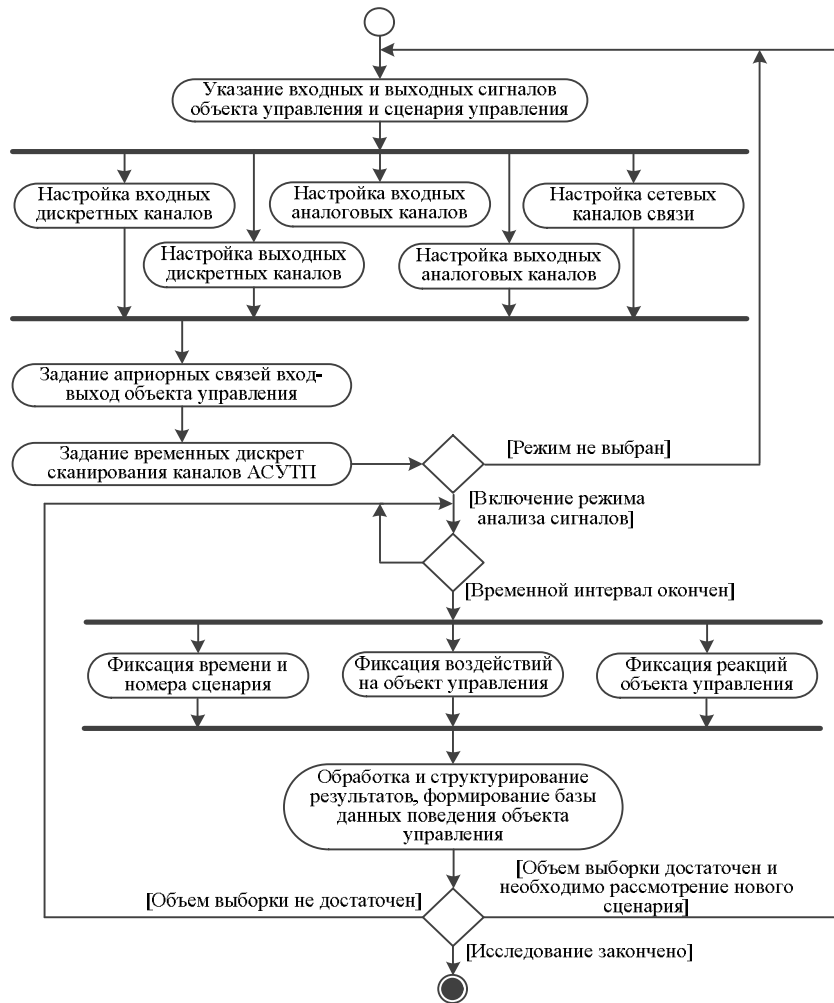


Рисунок 5 – UML-диаграмма активности процесса автоматизированного исследования систем управления

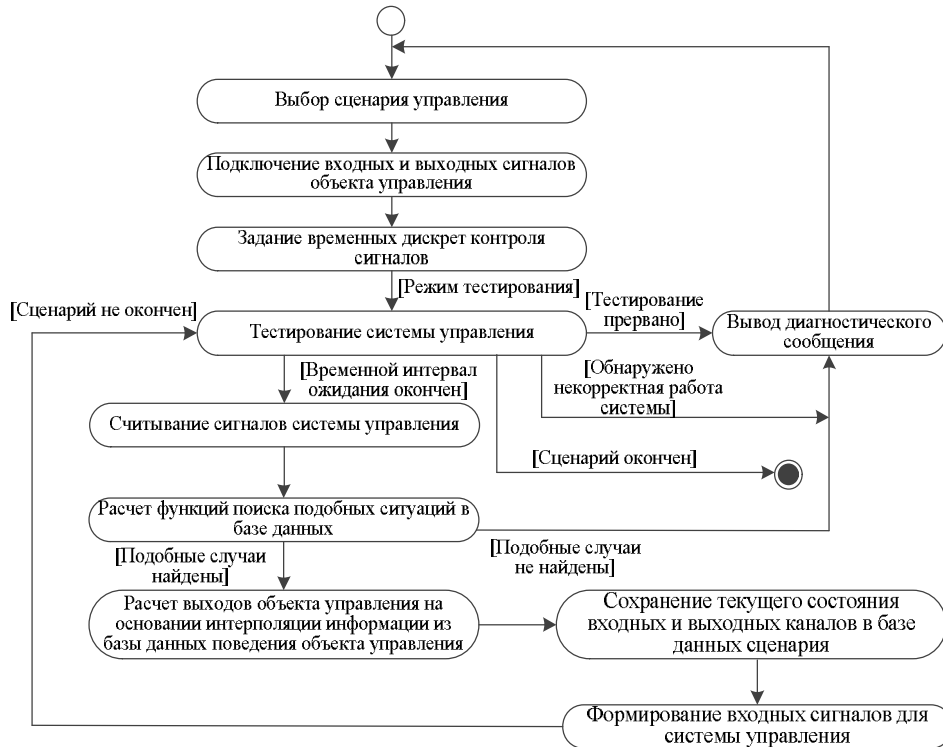


Рисунок 6 – UML-диаграмма состояний программного обеспечения специализированной информационной технологии автоматизированного тестирования систем управления

Под сценарием подразумевается определенный по длительности период работы технологического оборудования, для которого можно определить основные команды оператора и процедуру перевода технологического оборудования в заданный режим (например, вентиляция топочного агрегата, розжиг, вывод агрегата на рабочий режим, стабилизация температуры при подаче материала, останов топочного агрегата и т. д.). Кроме того, тестирование предполагает для указанных сигналов объекта управления стохастическое изменение для проверки действий системы управления в нештатных режимах.

Некорректность работы управляющих программ определяется по факту отличия сигналов, выдаваемых системой управления, от заданных сценарием. Второй вариант предусматривает превышение времени реакции системы относительно заданного тайм-аута.

Если объект управления больше одного взаимовлияющих каналов управления, то принципы одноканальной идентификации, описанные в [7], можно расширить и на несколько дискретных и аналоговых каналов.

ВЫВОДЫ. Развитие технологий тестирования управляющего программного обеспечения АСУТП и испытаний промышленных систем управления на базе ПЛК по-прежнему остается актуальной задачей. Современные средства отладки требуют большого объема труда квалифицированных инженеров для разработки моделей объектов управления и проведения тестов. Затраты на создание тестовых моделей «с нуля» имеют сравнимый объем с затратами на разработку управляющих программ – порядка 15–25 %.

Процесс тестирования, отладки и испытаний систем управления и программного обеспечения непосредственно на промышленном объекте приводит к неконтролируемому росту финансовых издержек и временных затрат предприятий-разработчиков. В итоге, процесс пусконаладки может затягиваться на несколько рабочих недель по сравнению с утвержденным планом работ.

Имеющиеся программные средства отладки не обеспечивают автоматизированной идентификации объекта управления и автоматизированного проведения тестов с фиксацией логических ошибок.

Построение моделей поведения многоканального

объекта управления на основе интерполяции временных отчетов выходных сигналов и идентификации ситуаций по массиву входных и выходных предыдущих сигналов позволяет уменьшить объем исследовательских работ и внедрить модель объекта в программные пакеты тестирования управляющих программ.

Автоматизация тестирования, увеличение эффективности и безопасности испытаний систем управления может быть достигнута за счет внедрения сценариев управления моделью объекта с сохранением форм и характеристик реальных сигналов и автоматическим контролем корректности работы управляющих алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированные системы. Стадии создания: ГОСТ 34.601–90. – [Введ. 1992–01–01]. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
2. Типовая программа приемно-сдаточных испытаний АСУ ТП законченных строительства подстанций ОАО «ФСК ЕЭС»: приложение к приказу ОАО «ФСК ЕЭС» от 30.04.2008. – № 168. – М.: 2008. – 38 с.
3. Пособие по составлению сметных расчетов (смет) на пусконаладочные работы по автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУ ТП) / Горячкин П.В., Жуков А.Н., Милов П.С. – М.: ООО «Тандем», 2004. – 104 с.
4. Siemens SIMIT – Simulation & Testing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://w3.siemens.com/mcms/process-control/systems/en/distributed-control-systemsimatic-pcs-7/simulation_training_systems/pages/default.aspx
5. Platform Process Simulator [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://plc4good.org.ua/view_post.php?id=255
6. Системы автоматизации: S7-PLCSIM V5.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dfpd.siemens.ru/infocenter/543/638/>
7. Эмуляция сигналов объектов управления в электромеханических системах с использованием нечетких логических контроллеров / И.С. Конох, В.В. Найда // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 4/2013 (24). – С. 70–83.

THE USE OF INFORMATIONAL TECHNOLOGIES FOR ENHANCEMENT THE EFFECTIVENESS OF PRE-COMMISSIONING AND TESTING OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

V. Nayda, I. Konokh, L. Sukhomlyn

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: kis_saue@mail.ru

In the paper it is described the sequence of measures for deployment and commissioning novel automatic control systems and also it is characterized their complexity from the organizational and technical points of view. It is characterized features of some modern specialized software packages used for program debugging of industrial control systems' software. It is presented the sequence of testing the functions of automatic control system and it is chosen the ways for deployment novel informational technology means for automation the verification and testing process. It is described structure of informational technology means, which includes both means for identification multi-channel control objects and their signal reproduction with maximum possible precision. It is described an algorithm of the work of informational technology, which ensures testing automation for control system of complex object, and includes testing of digital

and continuous channels.

Key words: pre-commissioning, automated control system of technological process, identification, fuzzy controller.

REFERENCES

1. State Standard GOST 34.601–90 (1992), *Avtomatizirovannye sistemy. Stadii sozdaniya* [Automated systems. Developmental stage], appl. 01.01.1992, Izdatel'stvo standartov, Moscow, Russia.
2. (2008), *Tipovaya programma priemno-sdatochnykh ispytaniy ASU TP zakonchennykh stroitel'stvom podstantsiy OAO «FSK EES»* [Sample program of acceptance tests of automated control systems of technological processes on OAO «FSK EES» substations finished by construction], Appendix to Order of OAO «FSK EES», no. 168, appl. 30.04.2008.
3. Goryachkin, P.V., Zhukov, A.N. and Milov, P.S. (2004), *Posobie po sostavleniyu smetnykh raschetov (smet) na puskonaladochnye raboty po avtomatizirovannym sistemam upravleniya tekhnologicheskimi protsessami (ASU TP)* [Manual of starting-up cost evaluations of automated control systems of technological processes], OOO «Tandem», Moscow, Russia.
4. Siemens SIMIT – Simulation & Testing, available at: http://w3.siemens.com/mcms/process-control-systems/en/distributed-control-system-simatic-pcs-7/simulation_training_systems/pages/default.aspx (accessed April 10, 2015).
5. Platform Process Simulator, available at: http://plc4good.org.ua/view_post.php?id=255 (accessed April 10, 2015).
6. *Sistemy avtomatizatsii: S7-PLCSIM V5.0* [Automation system: S7-PLCSIM V5.0], available at: <http://dfpd.siemens.ru/infocenter/543/638/> (accessed April 11, 2015).
7. Konoh, I.S. and Nayda, V.V. (2013), "Emulation of the object control signals for electromechanical systems by using fuzzy logical controllers", *Elektromehanichni i energozberigayuchi systemy*, vol. 4, no. 24, pp. 70–83.

Стаття надійшла 11.05.2015.