

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АСУ ОПАСНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

А.В. Куликов (Секция прикладных проблем при президиуме РАН)

О.Г. Тюрин (ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова),

О.А. Корнелюк (ООО фирма «Пластик Энтерпрайз»)

Представлен опыт построения АСУ опасными технологическими процессами (ОТП) на примере производства нитроэфиров. Для разработки наиболее эффективного варианта АСУ ОТП использовалась методология технологического проектирования опасных систем, в рамках которой понятие «безопасность» рассматривается не как состояние объекта с фиксированным уровнем опасностей, а как процесс уменьшения всех составляющих опасности технологии.

Ключевые слова: АСУТП, нитроэфиры, противоаварийная автоматическая защита, безопасность.

Введение

Большинство известных промышленных и военных взрывчатых соединений, широко используемых в настоящее время, содержат нитроэфиры, нитраминны или соединения ароматического класса, которые производятся с использованием дешевых и доступных реагентов, подобных смесям кислот (смесь серной и азотной кислот).

Нитратные эфиры — органические эфиры азотной кислоты, их синтез из исходных спиртов является наиболее простым, но опасным. Водные стоки от таких процессов являются опасными и требуют обработки до сброса или регенерации кислот. Реально процесс усложняется, прежде всего, тем, что реакция нитрования является экзотермической, что требует систему отвода тепла. Кроме того, все низкомолекулярные нитратные эфиры, являются летучими и токсичными, что связано с их биологической активностью. В связи с этим, простой химический процесс

нитрования в производственных условиях требует создания и поддержания в рабочем состоянии достаточно сложной инженерной инфраструктуры. К настоящему времени изучены более безопасные методы нитрации, например, с использованием пятиоксида азота в хлорированных растворителях, который намного менее экзотермичен и более управляем, чем в случае применения нитрующей смеси. Реакции с пятиокисью азота являются также очень быстрыми и многие завершаются за секунды.

Наиболее известным представителем нитроэфиров является глицеринтринитрат, который обычно называют нитроглицерин (НГ). Чистый нитроглицерин — бледно-желтая маслянистая жидкость, которая замерзает при температуре ниже 13 °С. В чистом состоянии нитроглицерин проявляет чрезвычайно высокую чувствительность к удару и механическому воздействию, что в промышленном масштабе требует значительных затрат на обеспечение безопасности [1].

Проблемы, связанные с использованием нитрующих агентов, таких как абсолютная азотная кислота, серная кислота-азотная кислота, уксусный ангидрид-азотная кислота, нитрат аммония-уксусный ангидрид-азотная кислота и т.д., разнообразны, но наиболее важными среди них являются:

- управление с нитрующими агентами в крупном масштабе;
- низкие выходы наряду с образованием побочных продуктов;
- поддержание (регулирование) температуры из-за экзотермической природы реакций нитрации;
- значительные объемы опасных отходов отработанных кислот.

Система состоит из множества соединений сложными связями и взаимодействующих

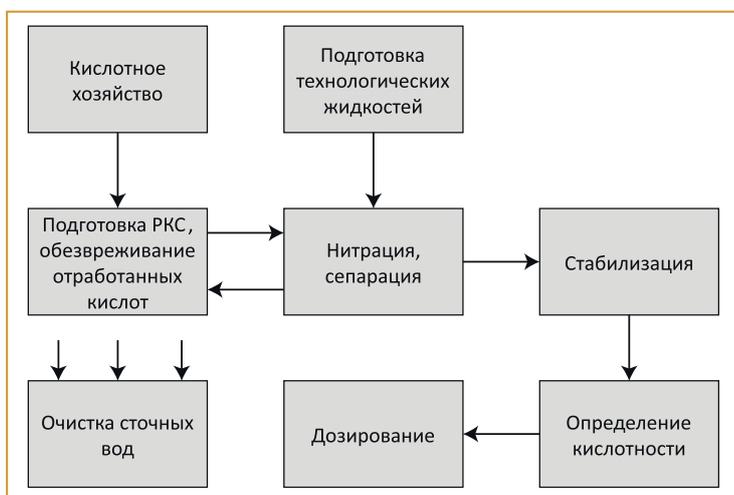


Рис. 1. Структурная схема производства нитроэфиров

аппаратов и представляет собой не простое суммирование, а особое их соединение, придающее технологической схеме производства в целом новые качества, отсутствующие у каждого аппарата в отдельности.

Поэтому в промышленном масштабе технологии нитрации с обычными, основанными на азотной кислоте нитрующими агентами требуют строгого контроля, включая дистанционное управление, тщательно сконструированные реакторы и взрывозащищенные здания.

Россия, как и европейские и американские страны, медленно движется в направлении применения более безопасных методов нитрации, например, основанных на использовании пятиоксида азота (N_2O_5), применении флюидных методов синтеза или волновых технологий смешения [2, 3].

Как следствие, для управления морально устаревшим производством нитроэфира необходимо построение надежной АСУТП, позволяющей не только обеспечить необходимую безопасность процесса при сохранении заданной производительности, но и постепенно исключать источники опасности в производственной зоне.

Применение методологии технологического проектирования для построения АСУТП

Проектирование и создание АСУ для сложных взрывопожароопасных химико-технологических систем подразумевает наличие информации о количественных закономерностях, свойственных рассматриваемым объектам системы. Процессы производства нитроэфиров являются сложной совокупностью отдельных операций и элементарных стадий, а их рассмотрение с точки зрения безопасности и экономичности еще более увеличивает сложность взаимосвязей и размерность задачи в целом.

Поэтому для технологической схемы производства нитроэфиров (рис. 1) комплексный выбор оптимальных конструктивных и режимных параметров контроля и управления означает, с одной стороны, рассмотрение всех физико-химических, тепло-массообменных и экономических факторов, а с другой, полный учет многообразия опасностей, связанных со спецификой основных и вспомогательных производственных процессов.

Принимая во внимание сложность аппаратурного оформления технологических процессов производства нитроэфиров, число варьируемых параметров технологических операций и применяемого оборудования, возможные структурные соединения аппаратов, легко убедиться в том, что число вариантов исполнения АСУТП достаточно велико. Для поиска приемлемых по критериям экономичности и минимальной опасности вариантов необходимо проверить их техническую реализуемость, безопасность, экономическую целесообразность и, сравнивая их между собой, выбрать наилучший из вариантов.

Фактор опасности в таких химико-технологических системах обусловлен неполнотой исходных

данных и неопределенностью знаний о поведении химических соединений в условиях их переработки с использованием механических органов смешения, что не позволяет математически формализовать процессы, происходящие в реакторе.

Поэтому основные функции АСУТП не должны быть ограничены только задачами по контролю режимов работы аппаратов смешения, а включать функции управления процессом с предварительной выдачей сигнала оператору в случае превышения критического порога энергетической или температурной нагрузки.

Решение подобной задачи сопряжено с определенными трудностями. Поэтому для разработки наиболее эффективного варианта АСУТП использовалась методология технологического проектирования опасных систем [4], которая предусматривает обязательные процедуры:

- декомпозиции технологической схемы на составляющие ее элементы;
- количественной (а не вероятностной) оценки опасности каждой технологической операции;
- определение критических значений параметров процесса нитрации (температура, давление, газобразование и т. д.).

Методология технологического проектирования опасных технических систем существенно облегчает решение таких проблем, и на ее основе можно определять математические операторы для автоматизированного управления процессом на каждой технологической операции (хранение, транспортировка, переработка исходного сырья) и одновременно оптимизировать конструкцию аппаратов и технологические алгоритмы технологической схемы производства.

Соответственно проектирование технологической схемы производства нитроэфиров можно разделить на ряд задач.

1. Определение внутренней структуры исследуемой системы производства, пожаро- и взрывоопасности ее элементов и видов взаимосвязей между ними. Цель — выявление иерархии технологической схемы с точки зрения опасности ее стадий.

2. Формулирование состава задач с целью распределения по уровням иерархии всего многообразия конкретных задач оптимизации и выявления пожаро- и взрывоопасности стадий процесса изготовления.

3. Формулирование иерархии технико-экономической информации с целью определения состава тех показателей, которые необходимы для минимизации пожаро- и взрывоопасности системы.

4. Использование комплекса математических моделей физико-химических взаимодействий, который служит инструментом для решения задач минимизации пожаро- и взрывоопасности основного и вспомогательного аппаратурного оформления стадий производства.

Перечисленные процедуры методологии технологического проектирования позволяют преодолеть

первую трудность проблемы минимизации пожаро- и взрывоопасности процесса изготовления — высокую размерность задачи.

Структура АСУТП производства нитроэфиров

Многоуровневая декомпозиция сложной исходной задачи минимизации пожаро- и взрывоопасности процесса изготовления нитроэфиров достигается путем согласования частных решений, при этом задача перестает быть принципиально неразрешимой и сводится к упорядоченному перебору меньшего числа вариантов по принятым критериям оптимальности.

На первом уровне декомпозиции были определены подготовительные, основные и дополнительные стадии технологического процесса производства нитроэфиров.

1. Подготовительные операции:

- прием, хранение кислот и подготовка крепкой нитрующей смеси азотной и серной кислот заданного состава;
- подготовка рабочей кислотной смеси (РКС);
- подготовка технологических жидкостей (спиртов, холодной и теплой воды).

2. Базовые операции:

- нитрование спиртов смесями азотной и серной кислот;
- разделение в сепараторах полученной нитроэмульсии на две фазы (кислый нитроэфир и крепкая отработанная кислота);
- промывка кислого нитроэфира водой и растворами соды с целью удаления из него растворенных кислот (в основном это азотная кислота);
- определение кислотности;
- дозирование;

3. Дополнительные операции:

- прием отработанной кислоты, удаление растворенного нитроэфира;
- абсорбция оксидов азота, выделяющихся при разложении нитроэфира в отработанной кислоте;
- обезвреживание отработанных кислот с целью удаления из них нерастворившихся капель нитроэфира;
- нейтрализация сточных вод.

В связи с высокой взрывоопасностью технологического процесса все его стадии размещены в отдельных сооружениях, которые отдалены друг от друга на значительные расстояния (до 1000 м). Для сокращения уровня транспортных затрат используется трубопроводы и дополнительные емкости.

С учетом инженерной инфраструктуры промышленного объекта на первом этапе проектирования АСУТП были созданы (локальные) системы управления процессом нейтрализации сточных вод, а также фазами подготовки крепкой нитрующей смеси (КНС) и рабочей нитрующей смеси. Локальные рабочие места операторов, выполнены на базе промышленных панелей SIMATIC HMI TP1500 Comfort фирмы Siemens, специально предназначенных для работы в жестких промышленных условиях.

Все четыре отдельных АСУТП, объединены единым верхним уровнем (рис. 2).

По предлагаемой схеме разработки АСУ ОТП переход на каждый следующий этап проектирования должен быть зависимым от результата предыдущего, что требует включения в программно-технический комплекс подсистемы сбора и анализа информации¹.

Разработанная на основе принципа «итеративности» автоматизированная система управления производства нитроэфиров имеет трехуровневую структуру с системой распределенного ввода/вывода сигналов.

Компьютерный уровень представлен четырьмя рабочими местами оператора, выполненными на базе промышленных компьютеров SIMATIC IPC547G.

Оборудование верхнего уровня обеспечивает отображение хода технологического процесса, архивацию накопленной информации, ведение информационной базы данных, возможность дистанционного управления оборудованием и задание целевых значений параметров технологического процесса. Прикладное программное обеспечение разработано на базе современной SCADA-системы WinCC.

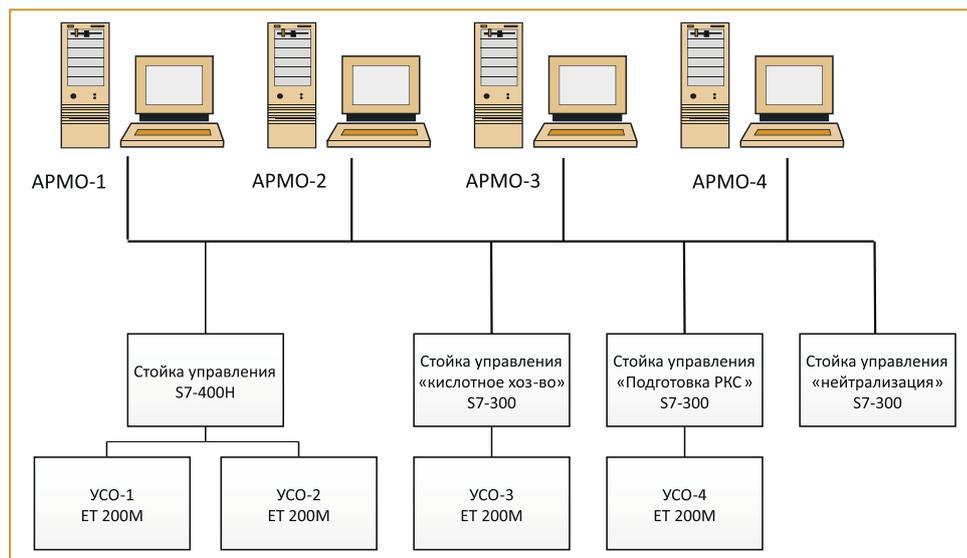


Рис. 2. Структура программно-технического комплекса производства нитроэфиров

¹ Автоматизированные системы управления технологическими процессами производства взрывчатых веществ и изделий военной техники на их основе. Порядок создания и модернизации АСУТП. Нормы и требования. Методические указания. РД 84-37-2013.

Контроллерный уровень базовых операций технологического процесса (подготовка технологических жидкостей, нитрация, сепарация, стабилизация, определение кислотности, дозирование) строится на базе высоконадежного резервированного центрального процессора CPU 414-5H фирмы Siemens, состоящего из двух идентичных подсистем, работающих по принципу «ведущий-ведомый». Обе системы связаны оптическими кабелями синхронизации и выполняют одну и ту же программу. Управление процессом осуществляет ведущая подсистема. В случае отказа функции управления безударно переводятся на ведомую подсистему.

Система ввода/вывода сигналов выполнена с помощью многофункциональной станции SIMATIC ET 200M, позволяющей использовать в своем составе сигнальные, функциональные и коммуникационные модули программируемого контроллера SIMATIC S7-300. Монтаж станции выполнен с использованием активных шинных соединителей. Данная конфигурация обеспечивает возможность подключения станции к резервированным каналам сети PROFIBUS DP, а также выполнение «горячей» замены модулей станции.

Локальные системы подготовительных и дополнительных операций строятся на базе процессоров CPU 315-2 PN/DP серии S7-300 фирмы SIEMENS и станций ввода/вывода SIMATIC ET 200M. Все системы соединены между собой локальной сетью с применением топологии «кольцо». Для построения сети были использованы управляемые промышленные коммутаторы фирмы MOXA.

Для обеспечения бесперебойной работы АСУТП предусмотрена возможность питания оборудования от двух независимых источников. Кроме этого, в шкафах технических средств компьютерного и контроллерного уровней установлены источники бесперебойного питания, обеспечивающие работу комплекса в течение времени, необходимого для приведения технологического процесса в безопасное состояние.

Полевой уровень состоит из датчиков и исполнительных устройств. В процессе производства нитроэфиров используется ряд специализированных средств измерений и исполнительных механизмов. Например, важное значение имеет измерение кислотности нитроэфира после стабилизации, выполняемое с помощью специального измерительного комплекса ПОИСК.

Взрывобезопасность в основных технологических помещениях, имеющих категорию В-1а и В-1б, обеспечивается применением средств автоматизации с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» и «взрывонепроницаемая оболочка».

Методология технологического проектирования опасного процесса предусматривает процедуры определения критических значений параметров каждой технологической операции методами модельных испытаний, имитирующих поведение смеси при переработке на каждой технологической операции с учетом конструкции технологических аппаратов, фазового состояния, времени операции и т. п.

Полученные математические операторы для каждой технологической операции являются основой для проектирования противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ), в структуру которой включается минимальный набор технологических защит, которые срабатывают при отказе автоматизированной системы управления. В связи с этим основное значение приобретает правильный выбор параметров для построения ПАЗ.

Например, основными критическими параметрами для процесса производства нитроэфиров были определены:

- температура в инжекторе-нитраторе;
- давление рабочей нитросмеси в спиральном холодильнике;
- температура рассола перед спиральным холодильником;
- температура кислоты в контрольном статическом сепараторе;
- достижение верхнего аварийного уровня в кислотных емкостях.

При превышении одного из параметров система автоматически переходит к безопасному прекращению процесса. При превышении температуры в статическом сепараторе открывается клапан сброса кислотной нитросмеси в приемный бункер, при этом включается подача воды и уже разбавленная смесь подается на фазу нейтрализации сточных вод. При превышении критических значений других параметров система ПАЗ включает клапан прекращения подачи спирта в инжектор, что является безопасным завершением процесса.

Для измерения критических параметров система ПАЗ снабжается отдельными, независимыми от АСУТП, датчиками измерения температуры, давления, а также сигнализаторами уровня и концентрации опасных компонентов смеси.

Заключение

Применение современных технических решений позволяет обеспечить надежную и безаварийную работу технологического комплекса по производству нитроэфиров.

Помимо обеспечения высокой надежности технических средств исключительное значение для снижения уровня опасности процесса имеет так называемый «человеческий фактор». Существенно сократить степень его влияние на безопасность технологии позволяют тренажерные системы с реальными сценарными вариантами развития процесса. Внедрение подобных компьютерных тренажеров позволяет развить у операторов достаточный уровень специальных знаний и навыки управления технологическим процессом. Сбор и анализ статистических данных о процессах нитрации позволяет создавать тренажерные комплексы с самообучаемыми системами предиктивной аналитики, функционирующие в режиме советчика. Анализ корреляции различных технологи-

Если недостаток знаний опасен, то где тот человек, у которого знаний так много, что он в полной безопасности?

Томас Гексли

ческих параметров можно проводить, например, при помощи специализированного программного обеспечения Smart Scada от SIEMENS.

В случае возникновения предаварийной ситуации подобные системы на основании анализа архивных данных могут достоверно предсказывать направления развития технологического процесса и подсказывать оператору все возможные варианты и алгоритмы его действий для принятия оптимального решения.

В функции АСУ могут быть также включены задачи идентификации предаварийного состояния исходных компонентов, находящихся еще в транспортном контейнере или на складе. В этом случае в АСУ ОТП включается система непрерывно-циклического контроля с функцией анализа параметров теплового состояния смеси и систем стабилизации их неустойчивого поведения.

В этой связи на систему управления возлагается задача удержания целевых параметров в установленных безопасных пределах с функциями анализа, синхронизации и координации действий в производствен-

ной зоне по множеству параметров для минимизации производственных издержек и исключения непроездных затрат. При наличии в системе блоков синхронизации информации по материальным, сырьевым, технологическим, транспортно-логистическим потокам в производственной зоне АСУ приобретает статус интеллектуальной системы управления [5].

Список литературы

1. Пштеркин Р.Н., Просвирнин Р.Ш., Петров Е.А. Технология нитроэфиров и нитроэфирсодержащих промышленных взрывчатых веществ: монография. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2012. 268 с.
2. Куликов А.В., Сунырев А.В. Современные безопасные методы получения высококачественных нитратов и эфиров целлюлозы // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17. № 24. С.36-41.
3. Куликов А.В., Хрячков В.А., Ярулин Р.Н., Сунырев А.В. Исследования процесса химической очистки нитроцеллюлозных осадков // Российский химический журнал (РЖХО им. Д.И. Менделеева). 2016. Т. LX. №4. с.94-101.
4. Куликов А.В. Основные направления трансформации технологий переработки энергетических материалов // Сборник тр. 12-й всероссийской научной конф. «Технологии и материалы для экстремальных условий». МЦАИ РАН. Туапсе. 2017.
5. Тюрин О.Г., Кальницкий В.С., Жегров Е.Ф. Управление потенциально опасными технологиями. М: Инфра-Инженерия. 2011. 288 с.

Куликов Александр Вениаминович — д-р техн. наук, секция прикладных проблем при президиуме РАН,

Тюрин Олег Георгиевич — д-р техн. наук, проф. кафедры МиГПА ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова,

Корнелиук Олег Александрович — главный инженер ООО фирма «Пластик Энтерпрайз».

Контактный телефон 8-(8635) 22-41-50.

Keysight Technologies помогает производителям автомобилей обеспечивать безопасность транспортных средств благодаря проактивным мерам защиты от кибератак

Компания Keysight Technologies, Inc. анонсировала новую программу автомобильной кибербезопасности.

Данная программа позволяет специалистам в области безопасности на заводах-изготовителях автомобилей и у их поставщиков гарантировать высокий уровень безопасности транспортных средств (ТС) при помощи проактивной защиты от кибератак в течение всего процесса исследований, разработок и изготовления, а также в послепродажный период.

В настоящее время в производстве и на дорогах находится больше "умных" автомобилей, чем когда-либо, что дает хакерам благодатную почву для изучения потенциальных уязвимостей изнутри или снаружи транспортных средств. Множественные бортовые системы — информационно-развлекательная система, телематика, блоки управления двигателем — являются потенциально опасными точками для злонамеренных действий.

"Умные" автомобили также используют все более сложное ПО для обеспечения высокой функциональности, создавая возможности для внедрения вирусов и взлома, например, тормозной системы или системы рулевого управления, что может привести к повреждениям ТС и даже гибели людей.

Программа автомобильной кибербезопасности Keysight состоит из комплекса программно-аппаратных средств и сервисов, необходимых производителям автомобилей и предприятиям-поставщикам комплектующих для оперативного реагирования на масштаб и сложность стремительно меняющихся технологий, ускорения срока внедрения инноваций и обеспечения кибербезопасности внутренней деятельности автопроизводителей.

Компания Keysight признает, что автомобильная безопасность должна быть частью разработки продукта с самого начала и на всем протяжении цикла производства, а также в послепродажный период. Для решения данной задачи Keysight предлагает комплексное решение, включающее:

— аппаратные средства, подключаемые к тестируемому устройству (ТУ) посредством всех соответствующих интерфейсов, например, Wi-Fi, сотовая связь, Bluetooth, USB, CAN, и автомобильная ЛС;

— программное обеспечение, моделирующее атаки, отчеты по уязвимостям (и степени опасности) и предлагающее рекомендуемые корректировки;

— регрессивное тестирование, адаптированное под конкретное тестируемое устройство, упрощающее и ускоряющее проверку корректировок;

— управление тестированием на уровне предприятия, в том числе полную интеграцию с широко используемыми корпоративными платформами головного изготовителя и предприятий-поставщиков.

Для обеспечения проактивной защиты Keysight также предлагает услугу подписки на постоянно дорабатываемую базу данных по угрозам безопасности. Данная подписка обеспечивает частые обновления данных по последним попыткам несанкционированного доступа, тактике уклонения и примерам действующего вредоносного ПО, а также включает частые выпуски протоколов приложений и постоянные обновления и доработки ПО.

Программа автомобильной кибербезопасности Keysight позволяет производителям автомобилей и их поставщикам:

— внедрять и обеспечивать выполнение стандартов безопасности на корпоративном уровне;

— вводить на корпоративном уровне методику тестирования для сертификации и аудита поставщиков;

— добиваться воспроизводимости за счет активного регрессивного тестирования и документирования рабочего процесса и результатов;

— выявлять потенциальные уязвимости, начиная от физического уровня и заканчивая прикладным, в том числе в беспроводных и проводных соединениях;

— быстро проверять и внедрять корректировки ПО;

— опережать намерения злоумышленников, оценивая риски для безопасности перед возможными атаками.

Новая программа позволяет заводам-производителям и предприятиям-поставщикам повысить безопасность ТС посредством определения, внедрения и развертывания согласованного корпоративного подхода к тестированию потенциальных уязвимостей.

[Http://www.keysight.com](http://www.keysight.com)