

УДК 681.518.5**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ НАСОСНОЙ
СТАНЦИИ ТРЕТЬЕГО ПОДЪЕМА**

Карманов Д.М., студент гр. ЭАм-251, I курс
Научный руководитель: Котляров Р.В., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Водоснабжение крупного химического предприятия, такого как КАО «Азот», является критически важным процессом, обеспечивающим не только хозяйственно-бытовые нужды, но и пожарную безопасность, а также стабильность технологических циклов. Одним из ключевых этапов подготовки воды является ее обеззараживание. На станции третьего подъема для этого используется гипохлорит натрия, который вводится в поток воды [1].

Существующая на момент начала проектирования система управления процессом хлорирования базировалась на ручном труде оператора. Машинист насосных установок периодически контролировал показатели остаточного хлора по лабораторным анализам и вручную корректировал подачу реагента с помощью насоса-дозатора. Такой подход обладал рядом недостатков: инерционность управления (задержка между анализом и коррекцией), высокая вероятность человеческой ошибки, отсутствие непрерывного контроля качества воды и оперативного реагирования на изменение расхода или исходного состава воды. Для устранения этих недостатков была разработана автоматизированная система управления (АСУ) подачей гипохлорита натрия.

Объектом автоматизации является станция хлорирования (корпус 314а) и прилегающие участки трубопроводов. Технологический процесс заключается в поддержании концентрации остаточного активного хлора (как свободного, так и связанного) в заданных санитарными нормами пределах (0,3–0,5 мг/дм³ для свободного хлора) после смешения воды с гипохлоритом натрия. Ключевой сложностью является наличие транспортного запаздывания: вода проходит расстояние от точки ввода реагента до точки контроля качества (резервуары). Это делает невозможным применение простых пороговых алгоритмов и требует использования систем автоматического регулирования, учитывающих динамику процесса.

На первом этапе был проведен анализ существующих патентных решений и промышленных подходов к автоматизации насосных станций. В качестве основы для проектирования была выбрана трехуровневая иерархическая структура АСУ, которая обеспечивает гибкость, масштабируемость и высокую надежность:

а) Верхний уровень (уровень оператора): автоматизированное рабочее место (АРМ) на базе сенсорной панели СПЗ10-Р. Здесь реализуется визуализация технологического процесса (мнемосхемы, графики изменения концентрации хлора), архивирование параметров, подача звуковых и световых сигналов при авариях, а также выдача команд оператором.

б) Средний уровень (уровень управления): программируемый логический контроллер (ПЛК) ОВЕН ПЛК160 [M02]. Контроллер выполняет сбор данных с датчиков, реализацию алгоритмов регулирования, логики защит и блокировок, а также обмен данными с сенсорной панелью.

в) Нижний уровень (полевой уровень): датчики и исполнительные механизмы. Включает в себя ультразвуковой расходомер ВЗЛЕТ МР для измерения поступающего объема воды, амперметрические датчики свободного и общего хлора, поплавковые датчики уровня гипохлорита в еврокубах, а также мембранные насосы-дозаторы ETATRON eONE PLUS в качестве исполнительных устройств.

Основой проекта является разработка математического и алгоритмического обеспечения для стабилизации концентрации хлора. Основная задача – поддерживать заданное значение (уставку) массовой концентрации хлора путем изменения производительности насоса-дозатора.

Первым шагом стало построение математической модели объекта управления (технологического трубопровода). Были рассчитаны скорость потока воды и, что наиболее важно, время транспортного запаздывания. Передаточная функция объекта была представлена в виде звена чистого запаздывания, что подтвердило необходимость использования регулятора с интегрирующей составляющей для компенсации накопленной ошибки.

Для управления насосом-дозатором был выбран ПИ-регулятор (пропорционально-интегральный). Первоначально расчет параметров (коэффициент передачи k_p , время интегрирования T_u) был выполнен по методу Циглера-Николса. Моделирование в среде MatLAB Simulink показало, что классический ПИД-закон вносит излишнюю колебательность в переходный процесс из-за большого запаздывания. Поэтому от дифференциальной составляющей отказались, а для повышения устойчивости скорректировали коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющих.

Помимо основного контура регулирования, были разработаны алгоритмы безопасности:

а) Аварийная сигнализация: при достижении минимального или максимального уровня гипохлорита натрия в еврокубе система генерирует красный мигающий световой и звуковой сигналы на пульте оператора, а также отображает текстовое сообщение.

б) Защита оборудования: реализована блокировка, автоматически останавливающая насос-дозатор при критическом снижении уровня реагента. Это предотвращает работу насоса «всухую» и выход его из строя.

в) Резервирование: схема предусматривает возможность автоматического ввода резервного насоса-дозатора при отказе основного, что критически важно для обеспечения непрерывности процесса обеззараживания.

Программная реализация разработанных алгоритмов была выполнена в среде программирования промышленных контроллеров CoDeSys на языке релейно-контактных диаграмм (LD). Это обеспечивает наглядность логики для обслуживающего персонала и упрощает возможную последующую модификацию.

Для подтверждения работоспособности системы был проведен расчет надежности. Структурная схема надежности представляет собой последовательное соединение элементов (датчики, линии связи, контроллер, исполнительное устройство), так как отказ любого из них ведет к отказу всей системы.

Экономический эффект от внедрения системы оценивался не только за счет прямой экономии электроэнергии (которая ввиду малой мощности насосов-дозаторов незначительна), но и за счет:

а) Оптимизации работы оборудования (плавный пуск, предотвращение гидроударов, равномерное распределение наработки между насосами), что продлевает срок службы дорогостоящих узлов.

б) Снижения трудозатрат обслуживающего персонала, освобождая его от рутинных операций по ручному управлению и частому лабораторному контролю.

в) Снижения риска выпуска воды, не соответствующей санитарным нормам.

Расчетный срок окупаемости капитальных вложений в автоматизацию составил 0,83 года (около 10 месяцев).

По итогу работы была разработана автоматизированная система управления подачей гипохлорита натрия на насосной станции третьего подъема КАО «Азот», которая позволяет полностью отказаться от ручного регулирования процесса хлорирования. Внедрение ПЛК, современных датчиков хлора и сенсорной панели оператора обеспечивает непрерывный контроль качества воды, высокую точность поддержания заданной концентрации реагента и оперативное реагирование на нештатные ситуации. Применение ПИ-регулятора с параметрами, адаптированными к объекту с большим транспортным запаздыванием, гарантирует устойчивость процесса. Расчетные показатели надежности и экономической эффективности подтверждают обоснованность проведенной модернизации. Данное решение способствует повышению промышленной и экологической безопасности предприятия, улучшению качества питьевой воды и оптимизации использования материальных и трудовых ресурсов.

Список литературы:

1. Карманов Д.М. Автоматизация насосной станции третьего подъема [Текст]: вып. квалиф. работа / Д.М. Карманов; Науч. Рук. Т.М. Черникова. – Кемерово, 2025.

Информация об авторах:

Карманов Данил Максимович, студент гр. ЭАм-251, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, danil-karmanov-2015@mail.ru

Котляров Роман Витальевич, к.т.н., доцент, КузГТУ, г. Кемерово, 650000, ул. Весенняя, д. 28, kotlyarovrv@kuzstu.ru