

Блинов Александр Дмитриевич,
Аспирант, МГТУ «СТАНКИН»
Blinov Aleksandr Dmitrievich,
MSUT «STANKIN»

**ПРЕДИКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ
СВАРОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ
PREDICTIVE CONTROL APPROACHES FOR VENTILATION SYSTEMS
IN WELDING PRODUCTION UNDER VARIABLE LOAD CONDITIONS**

Аннотация. Рассматривается применение предиктивного управления в системах вентиляции сварочных производств при переменной нагрузке. Показано, что ПИД-регуляторы не обеспечивают требуемой точности при динамическом изменении состава аэрозоля. Предложен подход на основе прогнозирования концентрации вредных веществ и адаптивного регулирования расхода воздуха.

Abstract. The application of predictive control in ventilation systems of welding production under variable load conditions is considered. It is shown that PID controllers do not provide sufficient accuracy under dynamic changes in aerosol composition. An approach based on forecasting harmful substance concentrations and adaptive airflow regulation is proposed.

Ключевые слова: Предиктивное управление, системы вентиляции, сварочный аэрозоль, регулирование расхода воздуха, энергоэффективность.

Keywords: Predictive control, ventilation systems, welding aerosol, airflow control, energy efficiency.

Сварочные процессы сопровождаются образованием многокомпонентного аэрозоля, содержащего оксиды металлов и газообразные соединения, оказывающие вредное воздействие на организм человека. Концентрация таких веществ в воздухе рабочей зоны существенно изменяется в зависимости от режима сварки, используемых материалов и технологических параметров. Это приводит к необходимости применения эффективных систем вентиляции, способных поддерживать допустимые параметры воздушной среды. Традиционные системы вентиляции, работающие с постоянным расходом воздуха, ориентированы на максимальные значения загрязнений и не учитывают динамику изменения концентраций. Это приводит к избыточному энергопотреблению и недостаточной эффективности очистки воздуха при переменных нагрузках. Современные системы с переменным расходом воздуха (VAV) позволяют адаптировать режим работы вентиляции, однако их эффективность напрямую зависит от алгоритма управления. Наиболее распространённые системы управления основаны на ПИД-регуляторах, которые обеспечивают регулирование по отклонению текущих параметров от заданных значений. Однако при наличии запаздываний, нелинейностей и быстро изменяющихся возмущений такие регуляторы не обеспечивают требуемой точности. В этих условиях актуальным является применение предиктивных методов управления, в частности Model Predictive Control (MPC).

В системах вентиляции сварочных цехов регулирование расхода воздуха осуществляется за счёт изменения скорости вращения вентилятора и положения регулирующих заслонок. Основной задачей управления является поддержание концентрации вредных веществ на уровне, не превышающем допустимые значения. ПИД-регуляторы формируют управляющее воздействие на основе текущей ошибки регулирования. Такой подход эффективен при стационарных условиях, однако в реальных производственных процессах концентрация сварочного аэрозоля изменяется во времени. При переходе между



режимами сварки или изменении технологических параметров наблюдаются резкие скачки концентраций, на которые система реагирует с запаздыванием. Запаздывание в системе обусловлено инерционностью вентиляционного оборудования, временем распространения воздушных потоков и задержками измерения параметров среды. В результате система управления не успевает своевременно компенсировать возмущения, что приводит к кратковременному превышению допустимых концентраций вредных веществ. Кроме того, ПИД-регуляторы не учитывают ограничения системы, такие как максимальная производительность вентилятора или диапазон изменения положения заслонок. Это снижает эффективность регулирования и может приводить к нерациональному расходу энергии.

Предиктивное управление (Model Predictive Control) основано на использовании математической модели объекта управления и прогнозировании его поведения на заданный интервал времени. В отличие от классических регуляторов, MPC формирует управляющее воздействие не только на основе текущего состояния системы, но и с учётом прогнозируемых изменений. Алгоритм MPC включает следующие этапы:

- измерение текущих параметров системы (концентрации аэрозоля, расхода воздуха);
- прогноз изменения параметров на основе модели;
- решение задачи оптимизации с учётом ограничений;
- формирование управляющего воздействия на исполнительные механизмы.

В системах вентиляции сварочных цехов в качестве управляемых параметров выступают расход воздуха и положение заслонок. Входными данными являются показания датчиков, фиксирующих концентрацию вредных веществ. На основе этих данных MPC-алгоритм прогнозирует изменение концентрации и заранее корректирует режим работы вентиляции.

В условиях сварочного производства концентрация аэрозоля может изменяться в широких пределах в течение короткого времени. Это требует применения систем управления, способных оперативно реагировать на изменения и предотвращать превышение допустимых значений. Использование MPC позволяет учитывать динамику изменения концентрации вредных веществ и формировать управляющее воздействие с опережением. Например, при увеличении интенсивности сварки система прогнозирует рост концентрации аэрозоля и заранее увеличивает расход воздуха за счёт открытия заслонок или повышения производительности вентилятора. В качестве датчиков могут использоваться оптические измерители концентрации аэрозоля, обеспечивающие непрерывный контроль параметров среды. Полученные данные передаются в контроллер, реализующий MPC-алгоритм, который рассчитывает оптимальное значение расхода воздуха. Исполнительными элементами системы являются регулирующие заслонки с электроприводами, обеспечивающие плавное изменение расхода воздуха. Их положение определяется управляющим сигналом, формируемым контроллером на основе результатов прогнозирования.

Применение MPC в системах вентиляции сварочных цехов обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами управления. Во-первых, повышается точность регулирования за счёт учёта динамики изменения параметров среды. Система способна предотвращать превышение допустимых концентраций, а не реагировать на них постфактум. Во-вторых, обеспечивается снижение энергопотребления. MPC позволяет поддерживать минимально необходимый расход воздуха, адаптируя работу системы к текущим условиям, что особенно важно для промышленных предприятий. В-третьих, учитываются ограничения системы управления, что повышает надёжность работы оборудования и предотвращает его перегрузку. Кроме того, предиктивное управление позволяет интегрировать различные параметры среды и учитывать их совместное влияние, что повышает эффективность функционирования вентиляционной системы в целом.



Таким образом, применение предиктивного управления (МРС) в системах вентиляции сварочных цехов является эффективным решением для обеспечения безопасных условий труда и повышения энергоэффективности. В отличие от традиционных методов, МРС позволяет учитывать динамику изменения концентрации вредных веществ и формировать управляющее воздействие с опережением. Использование данного подхода обеспечивает повышение точности регулирования, снижение энергозатрат и более устойчивую работу вентиляционных систем в условиях переменных нагрузок. Это делает МРС перспективным направлением развития автоматизированных систем управления вентиляцией в промышленности.

Список литературы:

1. Юшков, Б. Ю. Промышленная вентиляция / Б. Ю. Юшков. – М.: АСВ, 2018. – 320 с.
 2. Богословский, В. Н. Отопление и вентиляция / В. Н. Богословский, А. Н. Сканави. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
 3. Рязанцев, В. А. Промышленная вентиляция / В. А. Рязанцев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
 4. Кундиев, Ю. И. Сварочные аэрозоли и их влияние на организм человека / Ю. И. Кундиев. – Киев: Наукова думка, 1981. – 224 с.
- Camacho, E. F. Model Predictive Control / E. F. Camacho, C. Bordons. – London: Springer, 2007. – 405 p.

