

ОТЗЫВ

официального оппонента Верёвкина Александра Павловича
на диссертационную работу Самотыловой Светланы Александровны по теме
«Разработка виртуальных анализаторов для системы управления
массообменными технологическими процессами производства
метил-трет-бутилового эфира», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и
управление технологическими процессами и производствами (в
промышленности)

Диссертация Самотыловой Светланы Александровны посвящена разработке методов и алгоритмов построения моделей виртуальных анализаторов (ВА), предназначенных для работы в системах усовершенствованного управления технологическим процессам (СУУ ТП). Более конкретно, работа направлена на получение моделей для оценки показателей качества (ПК) выходного продукта процесса производства метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ) в условиях неточного времени отбора пробы и малого объема обучающей выборки. Виртуальные анализаторы позволяют прогнозировать ПК продукции по измеряемым технологическим параметрам и в реальном времени управлять процессами с учетом этих показателей. ВА являются необходимым элементом СУУ ТП, предназначенными для управления по показателям технико-экономической эффективности: при минимизации энергозатрат, максимизации технологической прибыли. В связи с этим актуальность исследования Самотыловой С.А. не вызывает сомнений.

Общая характеристика диссертационной работы и ее соответствие критериям научно-квалификационной работы

Диссертационная работа Самотыловой Светланы Александровны состоит из введения, пяти глав, заключения, списка обозначений и сокращений, терминов и определений, списка цитируемой литературы, содержащего 148 наименований и 3 приложений. Диссертация изложена на 132 страницах, содержит 31 рисунок и 15 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации работы.

Первая глава «Обзор современных проблем построения систем управления технологическими процессами» представляет собой литературный обзор, в котором рассмотрены современные проблемы построения систем управления технологическими процессами, а также

рассмотрены проблемы построения моделей ВА входящих в СУУ ТП. Отмечается потребность разработки и распространения новых подходов и алгоритмов построения моделей ВА, которые должны работать при наличии неточного времени отбора пробы и малой выборкой данных.

Вторая глава «Описание объекта исследования и концепция разработки виртуальных анализаторов» посвящена описанию технологического процесса производства МТБЭ. Изучены особенности технологического процесса производства метил-трет-бутилового эфира, как объекта управления. Отмечено, что существенное влияние на качество выходного продукта оказывают спирты (метанол и 2-метилпропан-2-ола (трет-бутанол)). Отмечено, что процесс получения МТБЭ характеризуется множественностью стационарных состояний с сильно различающимися выходами целевых продуктов, что создает трудности при создании аналитической модели технологического объекта. При этом модель получается достаточно сложной как с точки зрения ее настройки, так и при использовании для оперативного управления.

Приведена концепция разработки алгоритмов и методов построения моделей виртуальных анализаторов для оценки показателей качества выходного продукта процесса производства МТБЭ в условиях неточного времени отбора пробы и малого объема обучающей выборки.

В третьей главе «Идентификация реакционно-ректификационного технологического объекта производства МТБЭ в условиях неточного времени отбора пробы» подробно описан алгоритм построения модели ВА при неточном времени отбора пробы, основанный на итерационной процедуре Expectation-maximization, (EM) - алгоритма. Эффективность алгоритма исследована на синтетическом примере и далее на данных промышленного объекта.

Показано, что результаты аппроксимации статистических данных, в том числе, попадание в глобальный оптимум значений коэффициентов модели при использовании EM-алгоритма, сильно зависят от выбора начального приближения значений параметров модели. В работе предложено решить эту проблему путем использования бутстреп-выборок, полученных с помощью бутстреп анализа.

Применение предлагаемого алгоритма для построения моделей ВА в условиях неточного времени отбора пробы позволяет улучшить точность оценки показателя качества метанола и трет-бутанола в нижнем (выходном) продукте до 17 % и 5,5 % *RMSE* на проверочной выборке в сравнении с методом без учета задержки, соответственно.

Показана возможность включения контура обратной связи в модель ВА, что приводит к повышению ее точности.

В четвертой главе «Разработка алгоритма построения модели виртуального анализатора с использованием аналитической модели технологического объекта» описан метод и алгоритм доформирования обучающего набора данных для разработки модели ВА в условиях ограниченного объема обучающей выборки. Доформирование происходит посредством добавления в исходную обучающую выборку данных вспомогательной выборки, полученных на откалиброванной аналитической модели технологического объекта. Использование аналитической модели в качестве ВА напрямую невозможно, т.к. ряд параметров, в т.ч. эффективность массопереноса по Мерффи, состав сырья, поступающий в колонну, ряд констант модели являются не определенными величинами.

В качестве критерия достаточности доформирования выборки предложено использовать площадь области пересечения кривых распределения доформированной обучающей и проверочной выборок (S). На стр. 81 приводится ее аналитический вид. Показана эффективность использования данного приема.

В пятой главе «Интеграция виртуальных анализаторов в составе систем усовершенствованного управления технологическими процессами» представлена в общем виде структурная схема интеграции СУУ ТП в составе ВА и MPC (Model Predictive Control) производства МТБЭ, изложены вопросы настройки локальных ПИД-регуляторов, обрабатывающих задания, формируемые СУУ ТП. Представлен пример переходных процессов при изменении задания температуры на контрольной тарелке (ТКС8) для ПИД-регуляторов, настроечные параметры которых рассчитаны различными методами. На рисунке 5.4 (стр. 101) приведены данные сравнительного анализа стабилизации качества МТБЭ до и после внедрения СУУ ТП. Достигнуто уменьшение изменчивости по содержанию МТБЭ в выходном продукте на 47,8 %.

Научная новизна данной диссертационной работы связана с двумя основными результатами.

1. В работе предложен метод и разработан алгоритм построения модели ВА при неточном времени отбора пробы, поскольку в реальных условиях при наличии динамики процессов всегда существует не соответствие времени отбора пробы и значений технологических параметров. Идея метода основана на построении итерационной процедуры, использующей модель расчета выхода в виде свертки входного сигнала и импульсной характеристики системы (в дискретном варианте моделей), что позволило учесть данные динамического режима в обучающей выборке. На этой основе предложена модификация EM-алгоритма.

2. Вторым результатом связано с применением аналитической модели технологического объекта для оценки показателей качества выходного продукта в сочетании со статистическими данными в условиях малой обучающей выборки. На этой основе предложены методические основы, определены условия применения предложенного алгоритма при неопределенности фактора эффективности массопереноса по Мерффи и алгоритм построения ВА.

Обоснованность и достоверность основных результатов исследования подтверждается использованием современных теоретических и методологических разработок. В рамках достижения цели и решения поставленных в работе задач автор применял ряд продуктивных методов и инструментов: численные методы и комплексы программ математического моделирования ректификационной колонны процесса производства МТБЭ. Решение каждой последующей задачи логично опирается на результаты предыдущих этапов исследования, что обуславливает их взаимосвязанность и комплексность осмысления предмета исследования.

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 статьях в научных изданиях по профилю исследования, рекомендованных ВАК РФ. Основные результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на международных научных конференциях.

По результатам диссертационной работы и ее оформлению имеются замечания:

1. Научная новизна по п.п 1,2 представлена *алгоритмами*. В паспорте специальности 05.13.06, как в формуле специальности, так и при перечислении областей исследований, основным научным результатом выступают методы, методологии, модели, а алгоритмы в большей степени являются их реализацией. С этой точки зрения представление алгоритмов в качестве основного научного результата не корректно. Вместе с тем, при рассмотрении результатов работы по существу выявлено, что на самом деле то, что в работе называется алгоритмами, представляет собой упомянутые методы, методологии, модели, которые автор назвал алгоритмами.

2. Не понятно, каким образом был выбран режим для построения аналитической модели ректификационной зоны реакционно-ректификационной колонны для получения вспомогательной выборки (таблица 4.2, стр. 77) и насколько представительны результаты сопоставления моделей?

3. Имеются спорные утверждения: с. 18 – « в большинстве случаев применяются ...методы построения регрессионных моделей...». Это противоречит практике и подходу, развиваемому, в том числе, и в данной

работе, т.е. идее «серого ящика». В работе при задании структуры моделей ВА, при выборе вида переменных, глубины ретроспективных данных, при оценке полноты данных использовалась когнитивная и эвристическая информация, а не корреляционный анализ.

4. Имеются редакционные «ляпы»: повторы текста, например, с.с. 50, 53, 55, орфографические ошибки (с. 97 – «настроичного критерия», с. 15 – табл. 1.1: «верификация контрль-измерительной аппаратурь»), в (5.1) матрица А названа «динамической матрицей», хотя общепринятое название – «матрица коэффициентов». Есть не согласованность информации: на рисунке 3.3 на оси абсцисс представлена глубина модели в интервале [1...5] часов, а по тексту приводится интервал [1...6] часов, на рисунке 3.6 на оси абсцисс представлена глубина модели в интервале [1...7] часов, а по тексту приводится интервал [1...6] часов..

5. В пятой главе процедуры и результаты формирования СУУ ТП представлены достаточно поверхностно. Известно, что по методикам известных производителей МРС- контроллеров их настройка проводится с использованием ряда слабо формализованных процедур. Поэтому результат работы СУУ ТП оценивается по работе на реальном объекте, либо на имитационной модели. В пятой главе не представлено описание того, как получены результаты сравнительного анализа на рис. 5.4.

Заключение

В целом, диссертантом выполнена значительная аналитическая и расчетная работа, результаты содержат существенную научную новизну и практическую значимость. Отмеченные замечания и недостатки не влияют на положительную в целом оценку диссертации. Результаты диссертационной работы Самотыловой С.А. могут быть использованы на нефтехимических производствах и в учебном процессе при подготовке специалистов в ВУЗах.

В диссертационной работе решены научные задачи, соответствующие следующим пунктам области исследований специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности)»:

п.3. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.

п.6. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления.

Публикации и автореферат диссертации отражают содержание диссертационной работы Самотыловой С.А. По актуальности, научной новизне и практической значимости диссертационная работа соответствует критериям п.п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Самотылова Светлана Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности).

Официальный оппонент, доктор технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств, профессор, профессор кафедры автоматизации технологических процессов и производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
Тел./факс (347) 242 -07-32
e-mail: apverevkin@mail.ru, ugntu-atpp@mail.ru

Александр Павлович
Веревкин

17.03.2020

Подпись Веревкина А.П. заверяю,
проректор по научной и инновационной
работе УГНТУ



Руслан Уралович
Рабаев

17.03.2020