

**РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ
МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА
ФОРМАЛИНА ПОД ВЛИЯНИЕМ ОТКЛОНЕНИЙ**

Арифжанов Абдулла Шамхатович

Кафедра автоматизации и управления технологическим процессом и
производством, Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и
механизации сельского хозяйства»,
Ташкент, Узбекистан.

arifjanov@yandex.ru

Пулотова Мохира Рахматилловна

Кафедра автоматизации и управления производственными процессами,
Бухарский институт управления природными ресурсами национального
исследовательского университета Ташкентского института инженеров
ирригации и механизации сельского хозяйства,
Бухара, Узбекистан.

mohirapr@gmail.com , moxi7676@mail.ru

Аннотация. В настоящее время качество выходного продукта при производстве формалина определяется в лабораторных условиях, что является дорогостоящим, сложным процессом и занимает длительный период времени. В статье рассмотрен анализ методов построения прогнозных моделей промышленного технологического объекта. с использованием метода наименьших квадратов (МНК) и регрессий с целью повышения эффективности безопасного управления технологическими процессами. Представлен подход к построению прогнозных моделей качества выпускаемой продукции на основе регрессионных моделей. Показано, что полученные результаты не противоречат существующие методы выбора методов регрессионного моделирования для

построения прогнозных моделей . Описан подход к построению прогнозной модели для принятия решений по оперативному управлению многостадийными и многомерными непрерывными технологическими процессами формалина.

Ключевые слова: автоматизированное управление , технологические процессы , многопараметрическая модель , виртуальный анализатор, методы наименьших квадратов, системы управления

Annotation: Currently, the quality of the output product in the production of formalin is determined in laboratory conditions, which is an expensive, complex process and takes a long period of time. The article discusses the analysis of methods for constructing predictive models of an industrial technological facility. using ordinary least squares (OLS) and regressions to improve the efficiency of safe process control. An approach to constructing predictive models of product quality based on regression models is presented. It is shown that the results obtained do not contradict existing methods for selecting regression modeling methods for constructing predictive models. An approach to constructing a predictive model for making decisions on the operational management of multi-stage and multi-dimensional continuous formaldehyde processes is described.

Keywords. automated control, technological processes, multi-parameter model, virtual analyzer, least squares methods, control systems

ВВЕДЕНИЕ: В настоящее время экономика стремится к инновационному развитию на основе реструктуризации нефтегазовой отрасли, развития нефтехимического и химического производства, а также использования сложных и энергоемких технологических процессов . Управление такими производственными объектами, характеризующимися многостадийными и сложными процессами, требует математических моделей, соответствующих реальным условиям, а также эффективных автоматизированных систем управления . большое количество параметров и изменчивость условий [1,2]. К категории таких многостадийных и сложных процессов относятся технологические процессы производства формалина [3,5].

В целях совершенствования системы управления многопараметрическими технологическими процессами в многостадийном производстве предложено и реализовано в некоторых системах управления контроль состояния технологического процесса по ряду параметров и добавление функций прогнозирования, позволяющих прогнозировать возможные отклонения [7,8].

Диспетчерского управления используются методы прогнозирования и моделирования. Возможность отслеживать результаты прогнозных расчетов производственного режима позволяет диспетчеру своевременно принимать меры по их корректировке, оценивая при этом тенденции текущего режима и минимизируя возможные ошибки управления.

ПОСТАВИТЬ ПРОБЛЕМУ И ВОПРОС, КОТОРЫЙ НЕОБХОДИМО РЕШИТЬ: Для многопараметрического технологического процесса производства формалина целесообразно будет прогнозировать концентрацию формалина и использовать конкретный математический модель разработки моделей оптимального управления по этому показателю.

При выборе этого математический модель проводится анализ на разных стадиях процесса производства формалина, а также моделирование механизмов различных по совместительству технологических процессов. По нашему мнению, в этом случае можно сделать оптимальный выбор, используя разделение производственного процесса на определенные этапы, синтез механизмов моделирования по этим этапам.

МАТЕМАТИКА (РУКОВОДСТВО ПЕРВОГО УРОВНЯ): При разработке модели прогнозирования процесса производства формалина, прежде всего, мы ориентируемся на процесс в спиртоблокаторе С-2– как основной технологический процесс и связанные с ним основные технологические параметры (осевые переменные). Здесь расход метанола $MС$, расход свежего воздуха (кислорода) $АС$, концентрация спирто-воздушной смеси $AAMC$, температура спиртовоздушной смеси - $AAMT$ (температура спиртовоздушной смеси). На основе значений этих технологических параметров, полученных

(измеренных) и упорядоченных в хронологическом порядке с помощью SCADA-системы, непосредственно управляющей производственным комплексом в реальных процессах (эти данные не были представлены в статье из-за большого объема), построена модель прогнозирования процесс производства формалина под влиянием беспорядков получил развитие. .

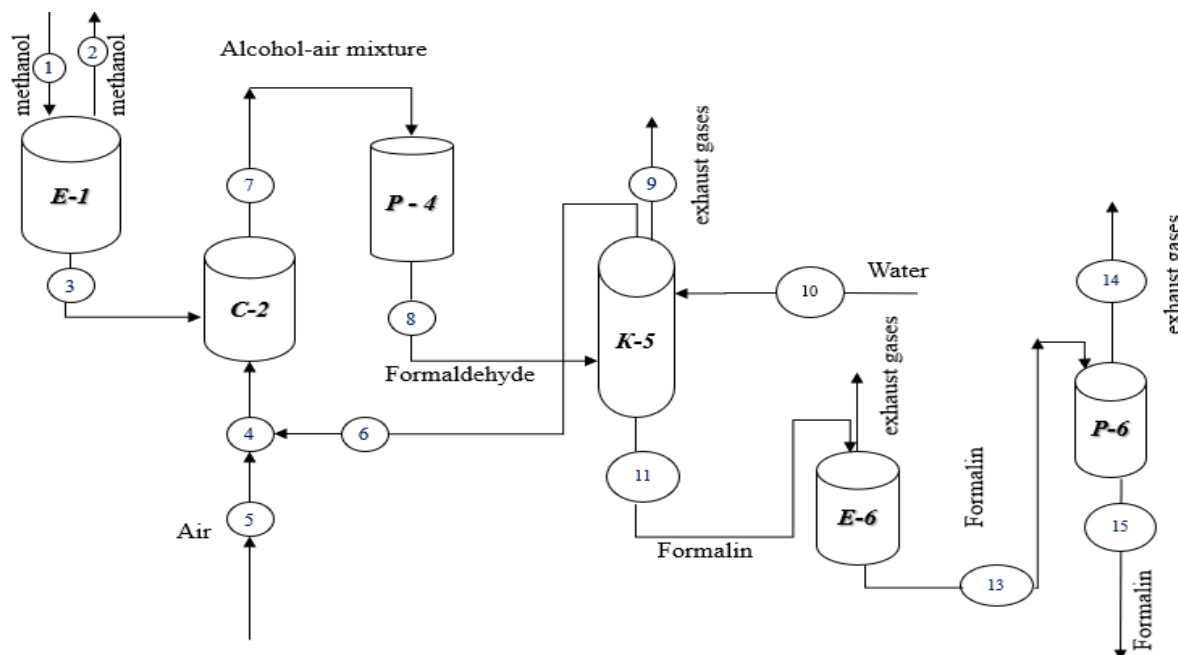


РИСУНОК 1. 1-приемка сырья для производства метанола;2-выпуск возвратного метанола;3-передача метанола в спиртовой испаритель путем фильтрации;4,6 - продувка воздухом,5-продувка воздухом,7-спирт-воздушная смесь;8-Формальдегид;9,12,14 - нейтрализованные выхлопные газы;11,13-слабый формалин;15-готовый формалин;Е -1 - емкость для сбора метанола ;С -2- испаритель спирта; П-4 – контактный аппарат (реактор); К-5 - колонна насыщения формальдегида и воды (абсорбционная колонна); Е-6 – сборочная емкость формалина; П-6- реактор стандартизации качества формалина;

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ: Математическая модель технического объекта – это совокупность математических объектов и связей между ними, адекватно отражающая свойства изучаемого объекта, интересующие исследователя (инженера). Построение моделей в виде черного ящика предполагает интенсивное использование экспериментальных данных. Формализованное описание технологических систем осуществляется на основе

модельных аппроксимирующих предположений. Метод наименьших квадратов используется как инструмент математической аппроксимации.

Учитывая все перечисленные факторы процесса производства формалина и влияние потрясений, влияющих на ход технологических процессов, представим следующую математическую модель процесса производства формалина, имеющую необходимое качество (концентрацию):

$$FC_k = \widehat{FC}(I_k, U_k, \varepsilon(\varphi)) + e(1)$$

Здесь в качестве элементов обобщенной математической модели описываются следующие переменные: k – совокупность ключевых технологических факторов, непосредственно связанных с технологическими процессами в I_k – k -такт, ε – совокупность управляющих воздействий в U_k – k -такт, ε – функция возмущений φ , Факторы, имеющие наибольшую долю в синергии факторов влияния (основных возмущений), являются ошибкой модели.

(1) подкладывая в эмпирическую модель значения факторов (параметров), участвующих в технологическом процессе и входящих в структуру концептуальной модели, записываем эту модель следующим образом:

$$\widehat{FC}_k = 41801,6 + 0,5242 \cdot \varepsilon_1(\varphi) + 0,111 \cdot MC_k - 0,014 \cdot AC_k + \\ - 0,1578 \cdot WC_k + 1,3088 \cdot TK_k - 21355 \cdot U_{1k} - 591,348 \cdot U_{2k} (2)$$

Результаты регрессионного анализа параметров этой модели представлены в Таблице 1 ниже.

Из данных таблицы (2) видно, что условия адекватности модели соблюдены. Действительно, коэффициент детерминированности точности модели составляет 0,795, а 80-процентная дисперсия результирующей величины следует из уравнения регрессии. Учитывая, что табличное значение z -статистики равно 1,986 при числе степеней свободы на уровне значимости $\alpha=0,05$ $\nu=99$, при анализе значимости (значений) коэффициентов модели на основе гипотезы их незначительного отклонения от нуля в зависимости от характера случайности факторов, концентрации спиртовоздушной смеси ААМС, средней температуры

в зоне реактора RT (средняя температура в зоне реактора), температуры газа-реагента, выделяющегося в реакторе PGT (температура газа-реагента, выделяющегося в реакторе) и значения коэффициентов перед переменными водопотребления WC (водопотребление) становятся незначимыми по критерию сравнения их значений со случайной ошибкой.

(1) мы повторно проводим регрессионный анализ, исключая долю синергии из состава модели. Подставив соответствующие коэффициенты в табл. 2 переменных в эмпирическую модель представления (1), получим модель с другими параметрами, отличными от следующего представления, т.е. (1)

$$FC_k = 11911,6 + 0,5492 \cdot \varepsilon_2(\varphi) + 0,0632 \cdot MC_k - 0,0056 \cdot AC_k + \\ - 0,0718 \cdot WC_k + 0,4774 \cdot TK_k - 6074,26 \cdot U_{1k} - 371,553 \cdot U_{2k} \quad (3)$$

Эта вновь построенная (3) Модель (1) полностью удовлетворяет требованиям монандности (адекватности) к модели. Фактически, если обратить внимание на сумму отклонений, рассчитанную для обеих моделей, представленную в таблице 3, то среднеквадратическая ошибка - Тест RMSE (среднеквадратическая ошибка) составляет -0,79, а средняя абсолютная ошибка - тест MAE (средняя абсолютная ошибка) - 0,64, средняя относительная ошибка - тест MPE (средняя процентная ошибка) -0,05, средняя абсолютная относительная ошибка - Тест MAPE (средняя абсолютная процентная ошибка) составляет 1,63, тест (U Тейла) составляет 1,15. Здесь важно, чтобы погрешность аппроксимации для обеих моделей не превышала 1,7, т.е. $\sigma_1 \approx 1,63$, $\sigma_2 \approx 1,64$.

Чтобы получить общее представление о качестве модели по относительным отклонениям каждого наблюдения, средняя ошибка аппроксимации определяется как простая средняя арифметическая ошибка следующим образом:

$$A = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%$$

Ошибка аппроксимации в диапазоне 5-7% свидетельствует о том, что модель хорошо подходит (подбирается) к исходным данным. Обычно

погрешность аппроксимации, т. е. допустимый предел значений a_i , не превышает 8–10 % (допускается 8–15 %) [9].

Разница между этими ошибками составляла 5-7 процентов, хотя модель считается хорошей, а при ее величине 8-10 процентов ее считают удовлетворительной. Иногда, в зависимости от характера сложности исследуемого объекта, расширяют эту разницу. наблюдаются также до 15 процентов [9].

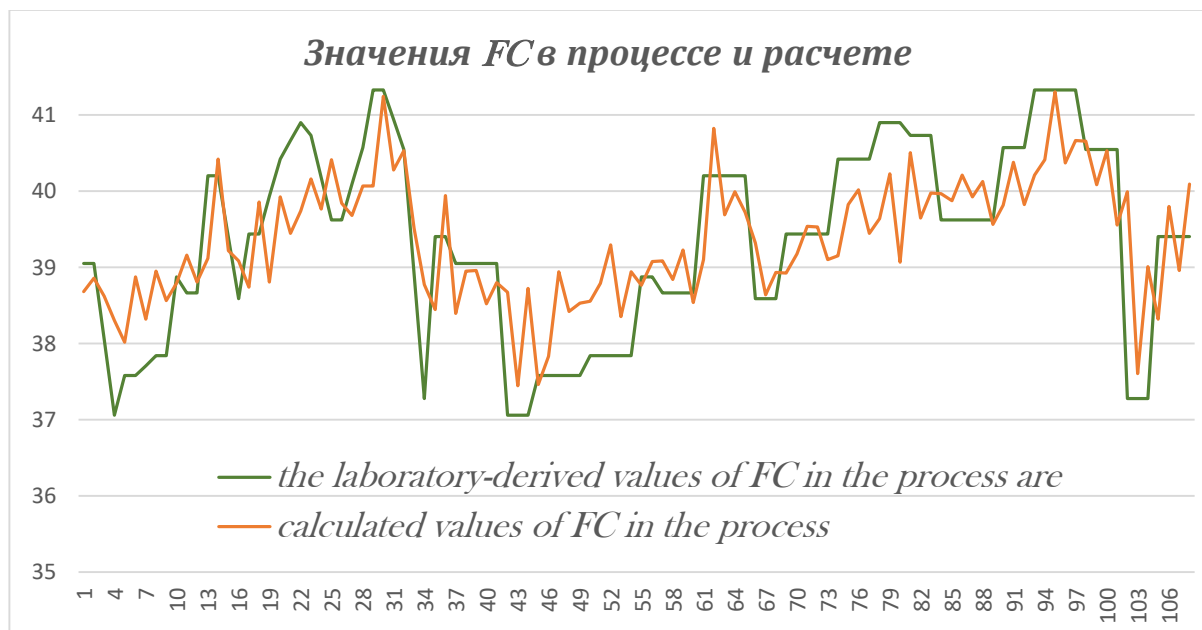


Рисунок 1а. (2)-график значений модели

На наш взгляд, моделирование оправдывает тот факт, что вероятность того, что каждый параметр обладает свойством решающего фактора при его проведении для многопараметрического технологического процесса, является узкопредельным методом исследования указанного подхода. Шаг за объектом, осуществляемый при праве выбора каждого параметра, остается совершенно нерелевантным для идентификации модели -Цион. Это может привести к тому, что описанный выше подход будет принят в том же контексте, что и вопрос идентификации, который строится для модели. и возражение неопытного исследователя. Эти аксиоматические соображения подчеркивают важность использования широкого спектра критериев адекватности в процессе моделирования.

График значений эмпирической модели, построенной для технологического процесса производства формалина под воздействием возмущений, представлен на рисунках 1а,б ниже.

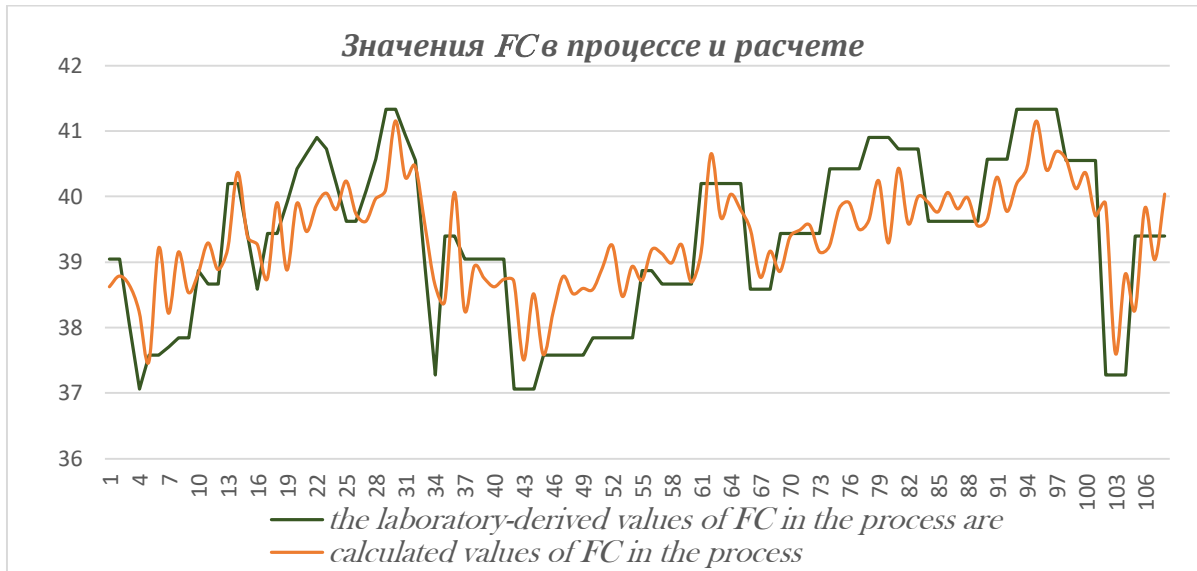


Рисунок 16. (3)-график значений модели

Совершенно очевидно, что практика использования приведенных выше адекватных моделей требует построения функций реагирования, позволяющих оценить влияние бунта, где это является одной из основных задач. По этой причине оценить скрытые колебания в системе по факторам проводим анализ следующим образом. Для этого сначала строим график трансформации фактора бунта (скрытых колебаний в системе) (рисунок 2).

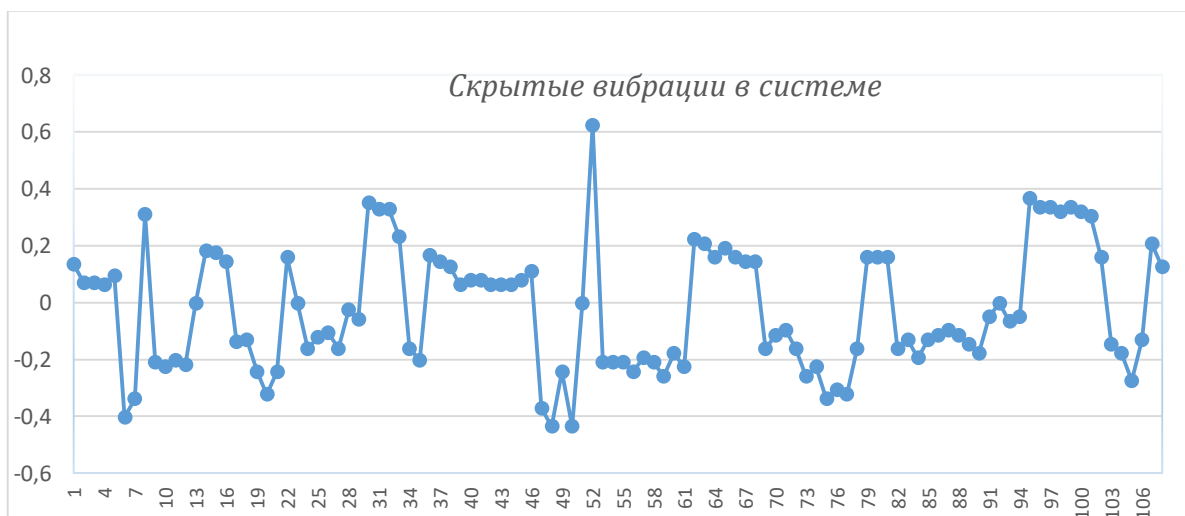


Рисунок 2. Значения изменения в выбранном регламенте управления бунтовым компонентом

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: В настоящее время качество выходного продукта при производстве формальдегида определяется в лабораторных условиях, что является дорогостоящим, сложным процессом и занимает длительный период времени. С целью повышения эффективности безопасного управления технологическими процессами реализована установка с использованием методов наименьших квадратов (МНК) и регрессионных методов. Применен подход к построению прогнозных моделей качества выпускаемой продукции на основе регрессионных моделей. Описан подход к построению прогнозной модели для принятия решений по оперативному управлению многостадийными и многомерными непрерывными технологическими процессами формалина.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Арифжанов А.Ш., Набиев О.М. Особенности контроля и управления динамическими объектами в условиях неопределенности. Коллекция. Вопросы кибернетики. Выпуск 166, Ташкент, 2003, стр.28-34. 2. Арифжанов А.Ш., Набиев О.М. Особенности контроля и управления в условиях неопределенности. Материалы третьей Всемирной конференции по интеллектуальным системам промышленной автоматизации (WCIS-2004), Кауферинг (Германия, b-Quadrat Verlag, 2004, стр.

170-174. 3. Временный технологический регламент опытного производства по производству технического формалина.

4. Мусаев А.А. Виртуальные анализаторы: концепция построения и применение в задачах непрерывного управления технологическими процессами // Автоматизация в промышленности. - 2003. – № 8. – С. 1-2.

5. Снегирев О.Ю. _ Методы и алгоритмы построения адаптивных виртуальных анализаторов для современных систем управления ректификационными колоннами. Владивосток, 2023 год.

6. Кондрашов С.Н. Разработка и исследование алгоритмов управления производством формалина. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пермь: - 1994. 210 с.

7. Черешко А.А. Методы управления технологическими процессами на основе ассоциативно-прогностических моделей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2022.

8. Торгашов А.Ю. , Гончаров А.А., Самотылова С.А. Современные методы построения систем опережающего управления технологическими процессами // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2016. № 4. С.102-107.

9. Эконометрика. Лекции, 2011 Электрон. манба :
<https://studfile.net/nngu/145/folder:7986/#2559150>, Средняя ошибка аппроксимации, <https://studfile.net/preview/2559155/page:4/>

10. Чжаолян Чен и др. Ядро соответствует рекомендательным системам: многоядерная интерполяция для завершения матрицы. Экспертные системы с приложениями. Том 168, 15 апреля 2021 г., 114436 / <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114436>

11. Юин Вэй и др. Вероятностно-оптимальная интерполяция для ассимиляции данных между прогнозами модели машинного обучения и наблюдениями в реальном времени. Журнал вычислительной науки. Том 67, март 2023 г., 101977 / <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2023.101977>

/ <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2023.101977>.