

Опыт использования МРС-системы в процессах управления

В. Г. Никешин¹, В. И. Сидельников¹, А. В. Кокшаров²

¹ВШТЭ СПбГУИТД

²Филиал АО группы «ИЛИМ»

vladik-juk@yandex.ru

Аннотация. МРС-система является прогрессивным инструментом для оптимизации и управления сложными динамическими системами. Для обеспечения возможности прогнозирования конечного качества выпускаемой продукции применяется виртуальный датчик, который является одной из главных составляющих предиктивного управления с применением МРС-систем. В статье представлен опыт применения виртуального датчика на целлюлозно-бумажном производстве за 2022 и 2023 годы, приведена математическая модель, на основе которой был разработан виртуальный датчик, а также описан потенциал для оптимизации технологического процесса и повышения эффективности системы управления.

Ключевые слова: МРС-система, технологический процесс, виртуальный датчик, математическая модель, целлюлозно-бумажная промышленность, предиктивное управление, оптимизация, эффективность, индекс прочности.

I. ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 2010-го года в России наблюдается определённый ряд проблем целлюлозно-бумажной промышленности, который разрешается постепенно путём развития определённых отраслей науки [1–4].

К основным современным проблемам целлюлозно-бумажной промышленности можно отнести следующие:

- загрязнение окружающей среды (водных и лесных экосистем), которое возникает из-за чрезмерного использования древесины, воды и химических веществ для обработки;
- постепенно растущий спрос на бумагу, заключающийся в повышении давления на лесные ресурсы из-за увеличения мирового населения и экономического развития [5];
- низкая эффективность использования ресурсов, выражающаяся в неоптимизированном использовании древесины, воды, энергии и химических реагентов и приводящая к нежелательным потерям и повышенному загрязнению окружающей среды;
- сложность и динамичность технологического процесса производства бумаги, которая заключается в невозможности отслеживания некоторых важнейших параметров технологического процесса и их регулирования в режиме реального времени.

Как видно из перечня основных проблем целлюлозно-бумажной промышленности большую часть из них можно решить путём оптимизации производства бумаги с помощью развития существующих систем

управления, их комбинированного использования и усовершенствования существующих математических моделей технологического процесса.

В данной статье рассматривается применение МРС-системы и виртуальных датчиков как современное решение проблемы невозможности отслеживания важнейших технологических параметров производства бумаги.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ, СТРУКТУРА И ПРЕИМУЩЕСТВА МРС-СИСТЕМ

МРС-система (Model Predictive Control) – это система, которая использует специализированную технику управления технологическим процессом, основанную на математической модели процесса, и прогнозирует будущее поведение (состояние) процесса (переменных процесса) для определения и формирования оптимального управляющего сигнала.

В 21-ом веке МРС-системы занимают обширную область различных отраслей и сфер производственной деятельности и обычно применяются к линейным или кусочно-линейным процессам с известными параметрами. К наиболее известным областям можно отнести такие как:

- промышленная автоматизация, где МРС-система используется для оптимизации и управления производственными и промышленными процессами, что включает в себя контроль и управление потоками материалов и оптимизацию работы оборудования на производстве;
- энергетика, в которой МРС-система применяется для снижения энергопотребления и оптимизации работы электростанций, сетей передачи электричества и сетей распределения энергии;
- автомобилестроение, где МРС-система помогает управлять различными аспектами производства, такими как снабжение, производственные операции и контроль качества;
- химическая, нефтегазовая, фармацевтическая промышленность, в которых МРС-система предназначена для повышения качества конечного продукта, безопасности производственного процесса и эффективности производства.

В процессах управления МРС-система обеспечивает оптимальное управление на основе математической модели процесса и набора ограничений и целей. Она использует предсказание будущего поведения системы с помощью модели и оптимизирует управляющие переменные для достижения желаемых результатов. Как

правило, внедрение и использование MPC-систем требует определенной подготовки и экспертизы. Требуется разработка математической модели процесса, определение оптимальных параметров и ограничений. Кроме того, требуется наличие непрерывной обратной связи и мониторинга для обеспечения корректной работы и обновления настроек регулятора системы.

К основным преимуществам MPC-систем относят:

- повышение производительности за счёт способности системы предсказывать параметры технологического процесса, что в свою очередь приводит к минимизации отклонения важнейших параметров и более точному подбору управляющих переменных;
- управление ограничениями, что выражается в способности системы учитывать ограничения на управляющие переменные и выходные параметры конечного продукта и регулировать процесс в пределах безопасных и допустимых границ;
- учет динамики процесса, потому что MPC-система принимает во внимание и учитывает изменения параметров процесса во времени.

На рис. 1 представлена обобщённая структура MPC-системы.

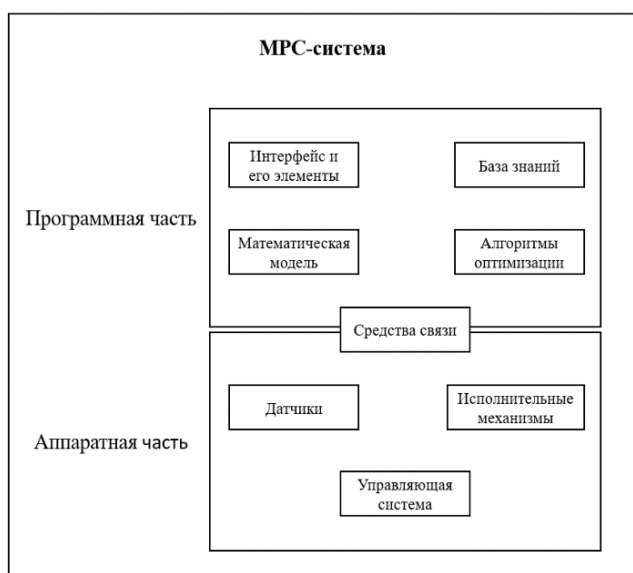


Рис. 1. Обобщённая структура MPC-системы

Как видно из рис. 1 MPC-система подразделяется на аппаратную и программную части. Связующим звеном между частями являются средства связи, которые включают в себя не только проводные и беспроводные сети передачи данных, но и протоколы обмена командами между различными компонентами MPC-системы.

Математические модели являются неотъемлемой частью прогностических (предиктивных) систем управления процессом и описывают динамику процесса и взаимосвязи между переменными состояниями.

Алгоритмы оптимизации предназначены для решения задач оптимального управления, то есть вычисляют оптимальные управляющие сигналы для минимизации заданных целевых функций.

Пользовательский интерфейс и его элементы предоставляют оператору возможность не только контролировать процесс управления, но и настраивать систему, выбирать и отображать нужные данные технологического процесса и результаты оптимизации.

В базах знаний MPC-системы хранят перечень и историю параметров процесса, и оптимальные управляющие сигналы для использования в последующих итерациях оптимизации.

Без датчиков (физических и/или виртуальных) невозможно функционирование MPC-системы. Измерительное оборудование предназначено для измерения параметров протекающего процесса для передачи величин в управляющую систему с целью их обработки и принятия решения о необходимости оптимизации.

Управляющая система представляет собой компьютер или электронную плату (контроллер), который на основании полученных данных от алгоритмов оптимизации реализует управляющие сигналы для исполнительных механизмов.

Исполнительные механизмы предназначены для воздействия на технологический процесс с целью изменения его параметров.

В целом, MPC-система является комплексной системой, объединяющей моделирование, оптимизацию, контроль и коммуникацию между компонентами системы для достижения оптимального управления процессом.

III. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ MPC-СИСТЕМЫ С ВИРТУАЛЬНЫМИ ДАТЧИКАМИ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Целлюлозно-бумажное производство представляет собой отрасль промышленности, которая занимается производством целлюлозы и бумаги. Данная промышленность является сложной и динамичной, а также включает в себя несколько этапов процесса, начиная с заготовки древесины или других растительных материалов, и заканчивая производством готовой продукции в виде бумаги или картона [6]. В целлюлозно-бумажной промышленности используются различные технологии и оборудование для переработки сырья, включая механическое и химическое воздействие, отбеливание и формование бумаги. Продукция целлюлозно-бумажной промышленности широко используется в различных отраслях, включая печать, упаковку, письменные принадлежности, поэтому необходимо наращивать темпы производства [5].

Варианты применения MPC-системы на целлюлозно-бумажном комбинате многообразны. Система с применением предиктивной модели может использоваться для оптимального управления параметрами процесса, такими как скорость движения бумаги, температура и влажность, с целью достижения оптимальных результатов качества и производительности, путём автоматической коррекции параметров процесса на основе обратной связи и прогнозирования будущих изменений в процессе.

Для реализации возможностей MPC-системы может использоваться виртуальный датчик, который представляет собой программное или алгоритмическое решение для эмуляции работы реального датчика или

измерительного устройства. Виртуальный датчик использует имеющиеся данные или модели для создания выходных значений, которые могут быть использованы вместо физического датчика.

Виртуальные датчики могут быть полезны в различных ситуациях. Например, если реальный датчик не доступен или его установка слишком сложна или дорогостояща, виртуальный датчик может быть использован для получения аналогичных данных. Также они могут быть использованы для моделирования и симуляции процессов или систем, где требуется имитация работы датчиков.

Для построения МРС-системы был разработан и внедрён виртуальный датчик по индексу прочности при растяжении для беленой лиственной целлюлозы. Необходимость в разработке такого датчика возникла в связи с тем, что данный показатель в лабораторных условиях возможно измерять только несколько раз за смену, что может снижать конечное качество готовой продукции.

Ниже представлена математическая модель, которая лежит в основе виртуального датчика для индекса разрушающего усилия. В модели участвуют следующие обозначения: I_R – индекс разрушающего усилия, $F_{б.щ.}$ – расход белого щелока на варку (куб. м / час), $Q_{час}$ – производительность по варке (т вщ / час).

$$I_R = \left(-0,3629 * F_{б.щ.} * \frac{Q_{час}}{60} + 150,45 \right) - 21, \frac{H * M}{r} \quad (1)$$

Визуализация показаний виртуального датчика имеет упрощённый вид, который представлен на рис. 2 (за 2022 год) и 3 (за 2023 год).

Индекс прочности	65.7	23.08.2022 16:23:23
Индекс разрушающего усилия (тест)	70.36	23.08.2022 17:48:03

Рис. 2. Визуализация показаний виртуального датчика за 2022 год

Индекс прочности	71.2	28.03.2023 13:35:58
Индекс разрушающего усилия	73.26	28.03.2023 18:53:11

Рис. 3. Визуализация показаний виртуального датчика за 2023 год

Показатель «Индекс прочности» получен при измерениях в лабораторных условиях, а показатель «Индекс разрушающего усилия» рассчитан на основании математической модели.

На рис. 4 изображён тренд с панели оператора АСУТП.

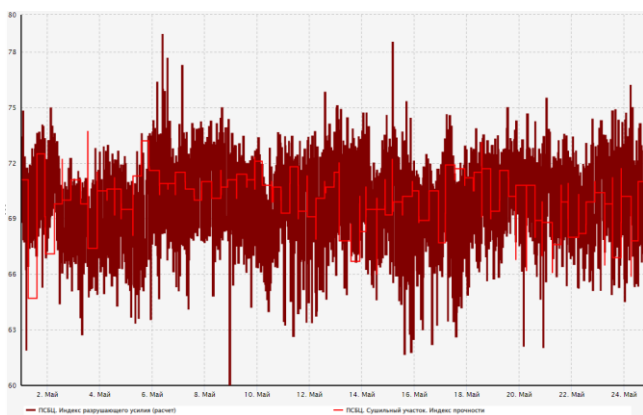


Рис. 4. Тренд на панели оператора АСУТП

Сплошная линия на рис. 4 отображает показания виртуального датчика, а ступенчатая линия – показания, полученные в лабораторных условиях.

Кроме отображения значений в режиме реального времени виртуальный датчик может хранить спектр показаний за предыдущие года и в случае отклонения от лабораторных измерений позволяет заметить закономерности отклонения и, примерно, определить их причину, например, поломка оборудования (сильный разброс показаний), неисправности расходомеров, изменения технологии, нарушения в лабораторном контроле.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог об опыте использования МРС-систем с применением виртуальных датчиков можно утверждать, что на данный момент параллельное измерение индекса разрушающего усилия в режиме реального времени позволяет более точно контролировать технологический процесс и дальнейшее развитие данной системы существенно повысит качество производимой продукции на целлюлозно-бумажном комбинате за счёт более точного измерения, оптимизации производственного процесса и снижения возникновения брака из-за невозможности измерения наиболее важных параметров в режиме реального времени.

Однако не стоит забывать о сложности настройки виртуальных датчиков, определённых ограничениях в точности измерения параметров, необходимости наличия квалифицированных сотрудников, понимающих устройство и принцип работы виртуальных датчиков, а также о возможности возникновения ошибок в измерениях, связанных с наличием неадекватной математической модели или изменением поведения технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Миронов А.В. Проблемы развития целлюлозно-бумажной промышленности в России / А.В. Миронов. – Текст: электронный // Проблемы развития территории. 2015. вып. 6 (80). с 63-69. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-razvitiya-sellyulozno-bumazhnoy-promyshlennosti-v-rossii/viewer> (Дата обращения: 09.07.2023).
- [2] Викторова А.П. Влияние внедрения инновационных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности // Молодой ученый. 2022 № 47.1 (442.1). С. 42-44. – URL: <https://moluch.ru/archive/442/96733/> (дата обращения: 09.07.2023).
- [3] Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С. Современное состояние, тенденции и перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности Российской Федерации // Лесной вестник. 2022 Т.26. №6. с. 148-160. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49798826/> (дата обращения: 09.07.2023). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
- [4] Хромченкова Д.С. Анализ состояния и перспективы развития целлюлозно-бумажной промышленности в России // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Серия: Экономика и управление. 2021 № 18 с. 105-108. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47652693/> (дата обращения: 10.07.2023). – Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
- [5] Рунк В.Р. Проблемы и перспективы развития отрасли целлюлозно-бумажной промышленности / В.Р. Рунк. – Текст: электронный // XV Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ». 2023. URL: <https://clck.ru/354R6j> (дата обращения: 11.03.2023).
- [6] Технология целлюлозно-бумажного производства : в 3 т / Всерос. НИИ целлюлоз.-бумаж. пром-сти (ВНИИБ); [редкол.: П.С. Осипов – акад. Междунар. акад. наук экологии, безопасности человека и природы (гл. ред.) и др.]. Санкт-Петербург : Политехника, 2005.