

УДК 510.644.4

EDN [OAOQYP](#)

## Регулирование параметров расхода кислорода при изготовлении целлюлозы

Б.М. Шифрин<sup>1\*</sup>, О.Г. Матвеева<sup>2</sup>, В.А. Марков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, 194021, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, улица Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 198095, Россия

\*E-mail: shifrinb@mail.ru

**Аннотация.** Предлагается применять методологию функционального моделирования на основе процессного подхода IDEF для анализа производства сульфатной целлюлозы. Разработана информационная модель процесса ее производства, использующая методологию IDEF0. Это позволяет подробно ознакомиться с основными химико-технологическими процессами, конфигурацией оборудования, участием персонала, а также изучить системы нормативных документов и правил. Такой подход нацелен на своевременный реинжиниринг бизнес-процессов, чтобы обеспечить своевременные улучшения в аппаратном оснащении, технологических решениях и кадровых вопросах, отражая эти изменения в модели. Поскольку строго математически процесс варки целлюлозы удовлетворительно не формализовать из-за наличия большого количества случайных факторов, вызывающих динамические возмущения непрерывного процесса, выбран класс нечетких моделей, интуитивно понятных человеку и применению которых нетрудно обучить. Предлагается использовать упрощенную модель на основе нечеткой логики со следующей стратегией управления, направленной на попытку уменьшения химического потребления кислорода: при допустимом уровне ХПК увеличиваем до возможного уровня производительность варки (за счет увеличения загрузки щепы и щелока); при превышении ХПК уменьшаем производительность варки, если это возможно; если изменение производительности не влечет уменьшение ХПК, включается сигнал тревоги.

**Ключевые слова:** целлюлоза, сульфатная варка, функциональное моделирование, IDEF-методология; нечеткая логика.

## Oxygen consumption parameters for pulp production

B.M. Shifrin<sup>1\*</sup>, O.G. Matveeva<sup>2</sup>, V.A. Markov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forest University, Institutsky lane 5, St. Petersburg, 194021, Russia

<sup>2</sup>St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Higher School of Technology and Energy, st. Ivana Chernykh 4, St. Petersburg, 198095, Russia

\*E-mail: shifrinb@mail.ru

**Abstract.** It is proposed to apply the methodology of functional modeling based on the IDEF process approach to analyze the production of sulfate cellulose. An information model of its production process using the IDEF0 methodology has been developed. This allows you to get acquainted in detail with the main chemical and technological processes, the configuration of equipment, the participation of personnel, as well as to study the systems of regulatory documents and rules. This approach is aimed at timely reengineering of business processes to ensure timely improvements in hardware, technological solutions and personnel issues, reflecting these changes in the model. Since it is not satisfactory to formalize the pulp cooking process strictly mathematically due to the presence of a large number of random factors causing dynamic disturbances of the continuous process, a class of fuzzy models has been selected that are intuitive to humans and the use of which is not difficult to teach. The proposed approach is intuitive and easy to learn. It is suggested to employ a simplified model based on fuzzy logic, with a control strategy aimed at minimizing reduce chemical oxygen demand. When the chemical oxygen demand is within acceptable limits, we aim to maximize welding productivity by increasing the load of chips and liquor. However, if the chemical oxygen demand exceeds the acceptable limits, we reduce welding productivity to the extent possible. If the performance change does not entail a decrease in COD, the alarm is activated.

**Keywords:** cellulose, sulfate cooking, functional modeling, IDEF methodology, fuzzy logic.

## 1. Введение

Производство целлюлозы - сложный энергоемкий технологический процесс. В ходе данного процесса производится ряд механических, термических и химических операций, от качества которых будет напрямую зависеть качество получаемой продукции. Удаление лигнина способствует повышению эластичности сырья и снижает одревенелость целлюлозы, этот процесс происходит во время варки. Для отбеливания сырья применяют специальные реагенты и щелочную обработку [1].

В промышленности целлюлозу изготавливают двумя принципиально разными технологическими методами: сульфитной варки (кислотный) и сульфатной варки (щелочной). Сульфитная целлюлоза производится в периодических реакторах, тогда как сульфатная, нейтральная сульфитная и бисульфитная целлюлозы обрабатываются в установках с непрерывным рабочим циклом. На российских предприятиях используются в основном непрерывные варочные установки, в частности варочная установка «Камюр» с вертикальным котлом [2], удерживающая основные параметры варки в заданных диапазонах (выход продукта, температура, давление).

Одним из ключевых показателей, характеризующих экологическое состояние водных ресурсов и степень их загрязнения органическими веществами, является параметр химического потребления кислорода (ХПК). Чем выше значение ХПК, тем больше в воде органических загрязнителей и тем серьезнее ее загрязнение [3, 4].

## 2. Постановка задачи

Предлагается применять методологию функционального моделирования на основе процессного подхода IDEF для анализа производства сульфатной целлюлозы. Эта методология представляет систему в целом как совокупность взаимосвязанных действий или функций, а также потоков информации и материальных объектов на уровне диаграмм [5].

Предложенная информационная модель процесса производства сульфатной целлюлозы, основанная на методологии IDEF0. Применение данной методологии для моделирования химико-технологических производств в настоящее время мало распространено [6].

Упрощенная схема технологического процесса верхнего уровня представлена на рисунке 1.

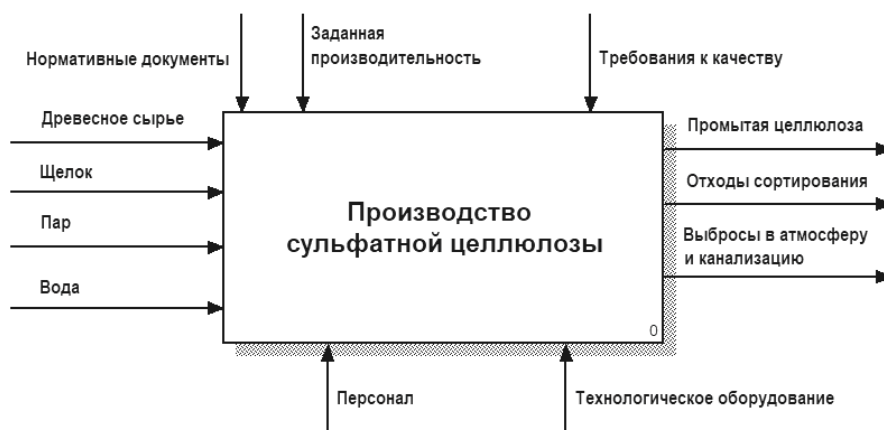


Рисунок 1. Контекстная диаграмма производства сульфатной целлюлозы.

### 3. Методы и материалы исследования

В статье предлагается использовать упрощенную модель на основе нечеткой логики [7] со следующей стратегией управления, направленной на попытку уменьшения ХПК (рисунок 2): при допустимом уровне ХПК увеличиваем до возможного уровня производительность варки (за счет увеличения загрузки щепы и щелока); при превышении ХПК уменьшаем производительность варки, если это возможно; если изменение производительности не влечет уменьшение ХПК, включается сигнал тревоги.



Рисунок 2. Принцип управления.

В качестве программного инструментария используем систему Matlab со встроенным пакетом Fuzzy Logic Designer – совокупностью прикладных программ, позволяющих конструировать нечеткие системы.

Созданная с помощью редактора системы нечеткого вывода модель с заданными входными лингвистическими переменными «Производительность», «ХПК» и

выходными лингвистическими переменными «Изменение производительности» «Тревога», представлена на рисунке 3.

#### 4. Полученные результаты

Один из графиков, построенных с помощью программы просмотра поверхности системы нечеткого вывода, приведен на рисунке 4. Видно, что при низком уровне ХПК и невысокой производительности можно пытаться наращивать объемы производства.

Один из соответствующих синтезируемой нечеткой системе графиков, построенных с помощью программы просмотра поверхности системы нечеткого вывода, представлен на рисунке 4. Отсюда видно, что при допустимом уровне ХПК и невысокой производительности можно пытаться наращивать объемы производства.

#### 5. Выводы

Используемый алгоритм управления на основе нечеткой логики позволяет простыми методами формализовать и объединять опыт операторов и разработчиков в настройке регулирования.

При этом постоянно накапливается опыт по управлению процессами данного типа, принимая во внимание исключения и особенности системы, учитываются и объединяются разнородные исходные данные.

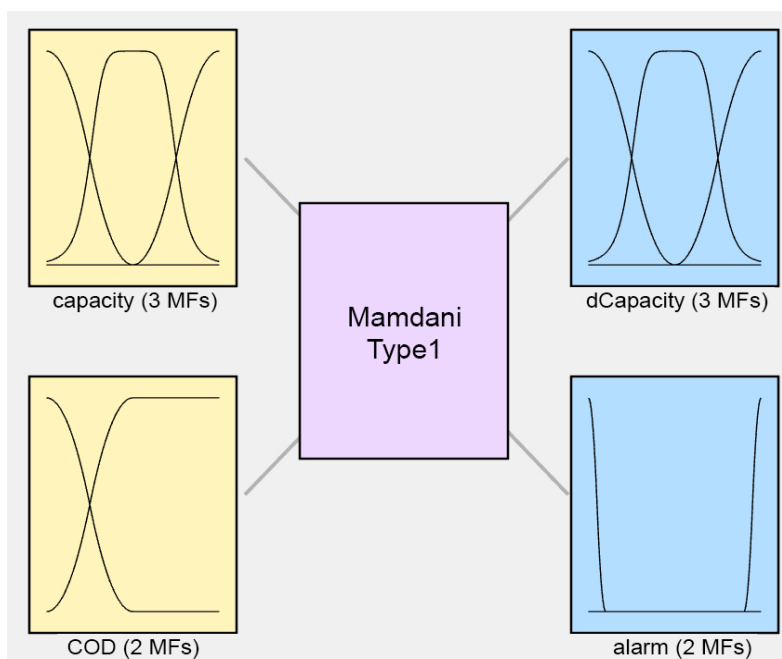
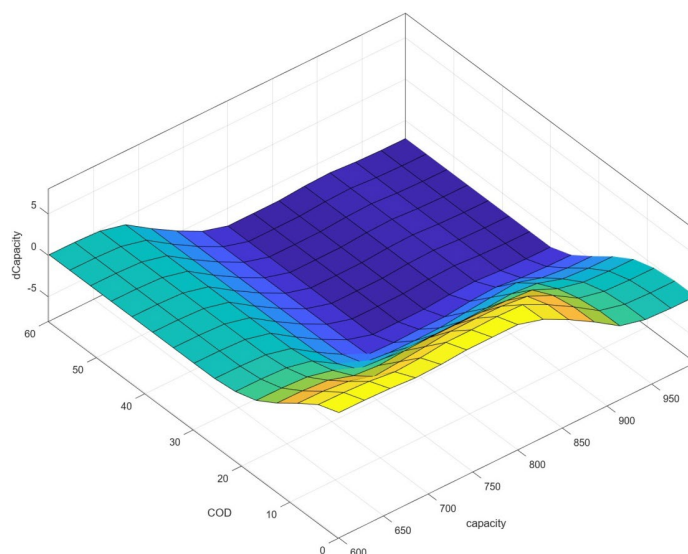


Рисунок 3. Упрощенная модель контроля ХПК.



**Рисунок. 4.** Зависимость выходной переменной «dCapacity» от входных переменных «COD» и «capacity».

### Список литературы

1. Кряжев А.М. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона / А.М. Кряжев, О.В. Голуб, А.Ю. Санжаровский // Энциклопедия технологий 2.0: Производство неметаллов. – Москва; Санкт-Петербург: Научно-исследовательский институт "Центр экологической промышленной политики", 2022. – 319-463 с.
2. Александров А.В. Оборудование ЦБП. Часть I. Основное оборудование для производства целлюлозы / А.В. Александров, А.А. Гаузе, В.Н. Гончаров // СПбГТУРП. – СПб., 2014. – 90 с.
3. Иванов Ю.С. Производство сульфатной целлюлозы. Часть 1: учебное пособие / Ю.С. Иванов // ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2010. – 76 с.
4. Pulp and paper industry-based pollutants, their health hazards and environmental risks / Mandeep G.K. Gupta, P. Shukla, H. Liu // Current Opinion in Environmental Science and Health. – 2019. – Vol. 12. – P. 48-56.
5. Шифрин Б.М. Использование IDEF-моделей для анализа процессов контроля качества / Б.М. Шифрин, Д.А. Попова // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 11. – С. 165-168.
6. Барболина Л.В. Разработка информационной модели варочно-промывного цеха при производстве сульфатной целлюлозы / Л.В. Барболина // НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

- и ОТКРЫТИЯ 2021: сборник статей XVIII Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 20 февраля 2021 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2021.– С. 76-80.
7. Современное состояние применения и развития методов искусственного интеллекта в промышленных регуляторах и интеллектуальных системах управления / С.Л. Горобченко, Б.М. Шифрин, С.В. Алексеева [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 106-112.