

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

Санкт-Петербургского
государственного университета
технологии и дизайна



Серия 1

Естественные
и технические науки

№ 1/2023

УДК 2.3.3.

DOI 10.46418/2079–8199_2023_1_12

В. И. Сидельников¹, А. В. Кокшаров²¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики 198095 РФ, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4²Филиал АО «Группа «Илим» 165651 Архангельская обл., г. Коряжма, Дыбцына, 42**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВАРКИ СУЛЬФАТНОЙ ЛИСТВЕННОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

© В. И. Сидельников, А. В. Кокшаров, 2023

*Статья посвящена вопросу получения и использования математической модели варки сульфатной лиственной целлюлозы. Получены зависимости основных выходных показателей от режимов проведения процесса варки и свойств исходного сырья. Математическая модель может быть использована при создании и оптимизации систем автоматического регулирования.***Ключевые слова:** варочный котел, целлюлоза, математическая модель, система управления, контролируемые параметры, производительность, жесткость.

Математическое моделирование является важным инструментом исследования технологических процессов, а также дает возможность разработки автоматизированных систем управления, обеспечивающих оптимальные режимы их протекания. Варка сульфатной целлюлозы из лиственных пород древесины в котлах непрерывного действия представляет из себя сложный физико-химический процесс с большим числом взаимосвязанных факторов, влияющих на скорость процесса и качественные показатели целлюлозы. Изменения состава щепы, концентрации активного варочного щелока и температуры определяют как механические свойства целлюлозы, так и производительность котла в целом.

Большое транспортное запаздывание и длительность лабораторных анализов не дает должного эффекта при управлении процессом непрерывной варки по отклонениям параметров от заданного значения и приводит к тому, что варщик вынужден управлять процессом, опираясь на свой опыт и интуицию [1]. Таким образом, обеспечение качественных показателей целлюлозы, повышение производительности котла и снижение затрат производства требуют разработки такой системы управления, которая по состоянию входных параметров процесса предсказывала бы значения выходных показателей и определяла бы требуемое регулирующее воздействие.

Для реализации такой системы управления требуется прежде выявить и выразить количественные связи между входными и выходными параметрами, т. е. разработать математическую модель процесса [2].

Моделирование процессов варки сульфатной целлюлозы в производственных условиях является очень сложной задачей, с учетом множества контролируемых и неконтролируемых параметров. В то время как при построении модели на основании лабораторных экспериментов существует возможность жестко зафиксировать входящие параметры варки, расходы сырья и химикатов с немедленной фиксацией выходных значений.

В реальных производственных условиях все входящие параметры и расходы получаются с достаточно большой вариативностью, которая зависит от культуры производства на предприятии. В настоящей работе на основании проведенных лабораторных экспериментов, количественных характеристик оборудования и входящего сырья приводится математическая модель варочного котла непрерывного действия для варки лиственной целлюлозы из смеси березы и осины. Данная модель позволяет оценить качественные характеристики сваренной целлюлозы (жесткость, выход, разрывную длину), а также на основании заданных параметров варки расходы щепы березы и осины, расход белого щелока, производительность варочного котла в реальных условиях производственного варочного процесса при условии низкой вариативности входных параметров варки, что вполне осуществимо на современных целлюлозно-бумажных предприятиях [3].

В данной работе представлены результаты построения матмодели варочного процесса на основании лабораторных экспериментов [4].

Задаются следующие входные параметры варочного процесса:

- Сырье — процентное содержание березы и осины на варку.
- Удельная плотность древесины березы и осины в кг а. с. вещества на кубический метр.
- Насыпная плотность древесины березы и осины в кг а. с. вещества на кубический метр.
- Объем дозатора щепы, скорость дозатора щепы.
- Расход белого щелока в процентах на тонну абсолютно сухой древесины.
- Степень заполнения дозатора щепы.
- Необходимая жесткость после варки в единицах Каппа.
- Объем варочного котла в кубических метрах.
- Содержание активной щелочи в белом щелоке.

В результате были получены эмпирические зависимости, которые позволяют рассчитать выход

Таблица 1. Формулы расчета показателей работы варочного котла

Параметр	Условные обозначения	Параметры варки	Ед. измерения
Жесткость	Н	задается	ед. Каппа
Береза	Б	задается	%
Осина	О	$O = 100 - Б$	%
Баз. плотность лист. древесины	Дбаз	$Дбаз = \frac{1000}{\frac{Б \cdot 10}{500} + \frac{О \cdot 10}{360}}$	кг/м ³
Выход целлюлозы	Out	$Out = (0,0993 \cdot Н \cdot 5 + 47,511) \cdot (0,0015 \cdot О + 0,8999)$	%
Удельный расход древесины	Fd	$Fd = \frac{880}{Дбаз \cdot \frac{Out}{100}}$	пл. м ³ /т в. с. ц.
Производительность в сутки	Асутки	$Асутки = N_{доз} \cdot K_{калибр} \cdot 60 \cdot \frac{24}{1000} \cdot K_{заполн} \cdot \frac{Out}{\frac{100}{0,88}}$	в. с. т/сутки
Производительность в смену	Асмена	$Асмена = \frac{Асутки}{3}$	в. с. т/смену
Производительность в час	Ачас	$Ачас = \frac{Асмена}{8}$	в. с. т/час
Насыпная плотность щепы	Днасып	$Днасып = -0,2618 \cdot О + 181,96$	кг/м ³
Расход белого щелока	Fбщ	18	%
Концентрация акт. щелочи	Сщ	105	г Na ₂ O/куб. м
Расход белого щелока	Fбшо	$Fбшо = \frac{Fбщ \cdot 10}{\frac{0,88}{100}} \cdot 0,88$	кг Na ₂ O/т в. с. ц.
Расход древесины	Fдо	$Fдо = Асутки \cdot Fд$	куб. м/сутки
Объем варочного котла	Vвк	1100	куб. м
Время варки	Tв	$Tв(смена А) = \frac{Vвк}{N_{доз} \cdot V_{кд} \cdot K_{уплотн}}$	мин.
Обороты дозатора	Nдоз	18,3	об/мин
Объем карманов дозатора	Vкд	0,511	м ³
Кэф-т калировки дозаторов	Kкалибр	$Kкалибр = Днасып \cdot Vкд$	кг/об
Степень уплотнения щепы	Kуплотн	1	
Коэффициент заполнения карманов	Kзаполн	0,97 (определяется опытным путем)	

целлюлозы после варки в зависимости от жесткости целлюлозы и содержания березы и осины на варку [4].

Такие данные позволяют определить следующие выходные параметры работы варочного котла: производительность котла по варке в тоннах воздушно-сухой целлюлозы, расход белого щелока в кубических метрах в единицу времени, расход слабого черного щелока на гидромодуль в единицу времени, расход березовой и осиновой щепы на варку в тоннах, плотных и насыпных кубических метрах в единицу времени, удельный расход древесины на варку — это в дальнейшем позволяет рассчитать нагрузку на другие производства целлюлозно-бумажного предприятия, связанных с варочным цехом. Модель строится в программе Excel, где задаются входные параметры, а выходные рассчитываются на основании полученных эмпирических зависимостей и математических расчетов. В табл. 1 приведены используемые формулы расчета показателей работы котла.

В табл. 2 приведен пример применения данной модели для расчетов параметров варки сульфатной лиственной целлюлозы. При этом данная модель легко масштабируется на другие виды варок, необходимо только изменить входные параметры и получить ла-

Таблица 2. Пример расчета параметров варки сульфатной лиственной целлюлозы.

Параметр	Параметры котла	Ед. измерения
Жесткость	16	ед. Каппа
Береза	32	%
Осина	68	%
Баз. плотность лист. древесины	395,4	кг/м ³
Выход	55,6	%
Удельный расход древесины	4,0	пл. м ³ /т в. с. ц.
Производительность в сутки	1353,8	в. с. т/сутки
Производительность в смену	451,3	в. с. т/смену
Производительность в час	56,4	в. с. т/час
Насыпная плотность щепы	164,2	кг/м ³
Расход белого щелока	18	%
Концентрация акт. щелочи	105	г Na ₂ O/куб. м
Расход белого щелока	285,1	кг Na ₂ O/т в. с. ц.
Расход древесины	5422,5	куб. м/сутки
Объем варочного котла	1100	куб. м
Время варки	121,3	мин.
Обороты дозатора	18,3	об/мин
Объем карманов дозатора	0,51	м ³
Кэф-т калировки дозаторов	83,9	кг/об
Степень уплотнения щепы	1,0	
Коэффициент заполнения карманов	0,97	

бораторные зависимости для выбранного вида сырья и условий варки.

Следует отметить, что данная модель позволяет получить результаты, которые будут хорошо коррелировать с производственными данными только в случае низкой вариативности входных параметров варки, что достигается только на предприятиях с высокой культурой производства [6].

Модель может быть использована для тренировки и обучения персонала. Меняя входные параметры варочного процесса, можно оценить их влияние на конечные показатели варки, изменение расходов сырья и химикатов и производительности варочного процесса.

В заключение можно отметить, что современные системы сбора информации данных варочного процесса позволяют оценить предложенную математическую модель. В то же время попытки применить искусственный интеллект (ИИ) для построения матмодели варки пока не является успешными, так как для оценки полученной с помощью ИИ формальной модели нужны грамотные специалисты-практики, которые могли бы отсортировать из большого массива данных, на основании которых проходит «обучение интеллекта»,

ненужные входные параметры (остановы, аварии, смены режимов и т. п.)

Список литературы

1. *Соболев О. Ф., Вьюков И. Е.* Об управлении процессом непрерывной варки сульфатной целлюлозы с помощью вычислительной техники // Сборник трудов ВНИИБ. Лесная промышленность. 1971. Вып. 58.
2. *Зорин И. Ф., Петров В. П.* Математическая модель процесса пропитки щепы с применением принудительных методов пропитки // Сборник трудов ВНИИБ. Лесная промышленность. 1971. Вып. 58.
3. *Пиляев С. Н., Афоничев Д. Н., Черников В. А.* Автоматизация технологических процессов. М., 2016. 547 с.
4. *Сидельников В. И., Кокшаров А. В.* Приближенная математическая модель показателя прочности бумаги на примере сопротивления торцевому сжатию // Вестник Санкт-Петербургского университета промышленных технологий и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2021. № 1. С. 99–102.
5. *Красовский Г. Н., Филатов Г. Ф.* Планирование эксперимента. Минск: НБГУ, 1982.
6. *Зиятдинова Д. Ф., Сафин Р. Г., Гайнуллина Д. Ш., Мозохин М. А., Зиятдинов Р. Р.* Моделирование процесса выгрузки варочного котла при переработке древесных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 18. С. 76–80.

V. I. Sidelnikov¹, A. V. Koksharov²

¹St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Higher School of Technology and Energy 198095 Russia, St. Petersburg, Ivan Chernykh, 4

²Branch of JSC "Ilim Group" 165651 Russia, Arkhangelsk region, Koryazhma, Dybtsyna, 42

MATHEMATICAL MODEL OF SULPHATE HARDWOOD PULP COOKING

The article is devoted to the issue of obtaining and using a mathematical model for cooking sulfate hardwood pulp. The dependences of the main output indicators on the modes of the cooking process and the properties of the feedstock are obtained. The mathematical model can be used to create and optimize automatic control systems.

Keywords: digester, cellulose, mathematical model, control system, controlled parameters, productivity, rigidity.

References

1. *Sobolev O. F., Vyukov I. E.* On the control of the process of continuous cooking of sulfate pulp with the help of computer technology // Collection of works of VNIIB. Timber industry. 1971. Vol. 58. (in Rus.).
2. *Zorin I. F., Petrov V. P.* Mathematical model of wood chips impregnation process using forced impregnation methods // Collection of works of VNIIB. Timber industry. 1971. Vol. 58 (in Rus.).
3. *Pilyaev S. N., Afonichev D. N., Chernikov V. A.* Automation of technological processes. Moscow. 2016. 547 p. (in Rus.).
4. *Sidelnikov V. I., Koksharov A. V.* Approximate mathematical model of the ultimate strength of paper for resistance to end compression // Bulletin of St. Petersburg University of Industrial Technologies and Design. Series 1. Natural and Technical Sciences. No. 1. pp. 99–102. (in Rus.).
5. *Krasovsky G. N., Filatov G. F.* Experiment planning. Minsk. NBSU. 1982. (in Rus.).
6. *Ziatdinova D. F., Safin R. G., Gainullina D. Sh., Mozokhin M. A., Ziatdinov R. R.* Modeling the process of unloading the digester during the processing of wood waste // Bulletin of Kazan Technological University. 2011. Vol 18. pp. 76–80.