



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Мытищинский филиал федерального государственного  
бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»  
(МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)  
ФАКУЛЬТЕТ «Лесного хозяйства, лесопромышленных технологий  
и садово-паркового строительства»

КАФЕДРА «Химия и химические технологии в лесном комплексе»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
НА ТЕМУ:**

*Применение методов информатики для технологических расчетов в производстве целлюлозы*

Студент ЛТ9-82Б **М.К.Бурлаков**

Руководитель ВКР **А.Н.Зарубина**

Москва 2021 г.

# Цель работы

Сегодня компьютеры широко используются для технологических расчетов, сбора и обработки данных испытаний и производства, управления испытаниями в реальном времени, поиска информации и даже синтеза органических соединений. Знание практических методов работы за компьютером и умение программировать становятся необходимой частью химического инженерного образования.

В связи с тем, что в химической технологии переработки древесины за частую производятся **сложные технологические расчеты**, для повышения эффективности и оптимизации процесса расчета химического производства предлагается прибегнуть к использованию определенного вида **программного обеспечения**.

Объектом исследования выбрана программа **Microsoft Excel** с целью изучения возможности применения ее табличного процессора для проведения **расчетов химико-технологических процессов**.

**Результатом** работы является автоматизация расчетов загрузки компонентов для **варки сульфатной целлюлозы**.

# Программы для автоматизации расчетов

## Proficy Plant Applications

The screenshot displays the Proficy Plant Applications interface within a Windows Internet Explorer browser window. The main window title is "Proficy™ Lots 987657" and it shows configuration for "On PK1 Work Cell (Configured for Non-Productive Time)".

**Event Information:**

Status	Complete
Product	Ambler
Start Time	1/29/2008 11:19:00 AM
End Time	2/13/2008 9:15:21 AM
Initial Items	300 Pig
Initial Quantity	0
Final Items	300 Pig
Final Quantity	0

**Waste Summary:**

Time	Fault	Amount	LC
2/13/2008 9:18:01 AM	<Unspecified>	2	PK1
2/13/2008 9:18:01 AM	<Unspecified>	2	PK1

**Downtime Summary:**

Start	End	Fault
1/29/2008 11:45:36 AM	1/29/2008 11:58:12 AM	De-Paletizer - Infeed Standby
1/29/2008 11:58:12 AM	1/29/2008 12:48:27 PM	De-Paletizer - Infeed Standby
1/29/2008 12:53:48 PM	1/29/2008 12:58:01 PM	Labeler - Infeed Standby
1/29/2008 2:12:53 PM	1/29/2008 2:20:11 PM	Labeler - Infeed Standby
1/29/2008 2:44:31 PM	1/29/2008 2:44:48 PM	De-Paletizer - PLC Problem
1/29/2008 2:44:48 PM	1/31/2008 5:01:23 AM	De-Paletizer - PLC Problem
1/31/2008 9:37:55 AM	1/31/2008 9:40:21 AM	De-Paletizer - Infeed Standby
1/31/2008 9:46:10 AM	1/31/2008 10:01:02 AM	Labeler - Discharge
1/31/2008 10:11:59 AM	1/31/2008 10:18:51 AM	Labeler - Infeed Standby
1/31/2008 10:19:17 AM	1/31/2008 10:20:30 AM	PL1 - Infeed Standby
1/31/2008 10:27:48 AM	1/31/2008 10:31:27 AM	PL1 - Infeed Standby
1/31/2008 10:31:27 AM	1/31/2008 10:35:08 AM	PL1 Problem
1/31/2008 10:50:55 AM	1/31/2008 10:53:21 AM	Filter - PLC Problem
1/31/2008 11:03:14 AM	1/31/2008 11:44:27 AM	Labeler - Infeed Standby
2/4/2008 8:12:45 AM	2/4/2008 8:15:11 AM	PL1 - Discharge Standby
2/4/2008 12:30:21 PM	2/4/2008 12:38:40 PM	Filter - Hardware problem
2/4/2008 12:47:43 PM	2/4/2008 12:48:56 PM	Labeler - Discharge
2/4/2008 1:01:58 PM	2/4/2008 1:12:03 PM	<Unspecified>
2/4/2008 1:24:13 PM	2/4/2008 1:25:26 PM	Filter - PLC Problem

**Process Flow Diagram:** The diagram shows a "Beer Batch End: T1982008922:1" process. It includes input tanks (e.g., "Lester Lager Tank", "Lester Pils Tank") and output bottling stations (e.g., "PL1Y0100", "PL1Y0101").

Copyright © OE Intelligent Platforms, Inc.

Proficy



Plant Applications

# Программы для автоматизации расчетов

## Microsoft Excel

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "Транспортная задача.xlsx". The spreadsheet is organized into several sections:

- Section 1 (Rows 1-4):** Header "Транспортная задача" and "Потребители".
- Section 2 (Rows 5-8):** Table of shipping costs (стоимость перевозок).
- Section 3 (Rows 11-14):** Table of unknown shipment volumes (неизвестные объемы перевозок).
- Section 4 (Rows 15-17):** Table of constraints (ограничения) and requirements (потребность).
- Section 5 (Rows 18-19):** Objective function (целевая функция) showing a value of 15080 rubles.

The Solver dialog box is open, displaying the following information:

- Message:** "Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены." (Solution found. All constraints and optimality conditions are met.)
- Options:** "Сохранить найденное решение" (Save the found solution) is selected.
- Report Type (Тип отчета):** "Результаты устойчивости" (Stability results) is selected.
- Buttons:** OK, Отмена (Cancel), Сохранить сценарий... (Save scenario...), and Справка (Help).



Excel



## Сульфатная варка

Заключается в обработке древесной щепы водным раствором, содержащим гидроксид натрия  $\text{NaOH}$  и сульфид натрия  $\text{Na}_2\text{S}$



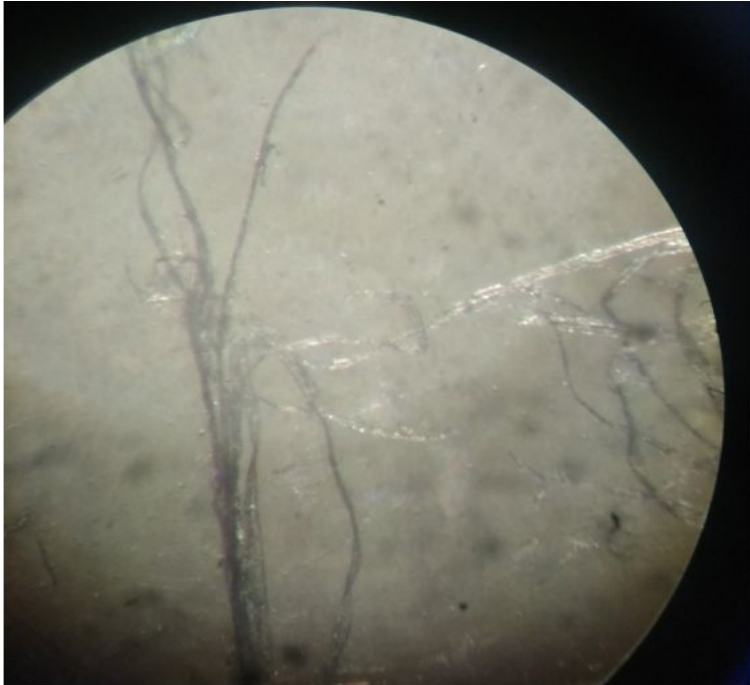
## Сульфитная варка

Основными варочными реагентами являются диоксид серы (сернистый ангидрид –  $\text{SO}_2$ ), сернистая кислота –  $\text{H}_2\text{SO}_3$ , ее кислые соли (бисульфиты –  $\text{M}(\text{HSO}_3)_n$ , средние соли  $\text{MSO}_3$ , где  $\text{M}$  – катионы металлов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$



**Фото образцов целлюлозы, полученных с использованием  
микроскопа марки “МБС-10”  
при 100-кратном увеличении**

Образец сульфатной целлюлозы



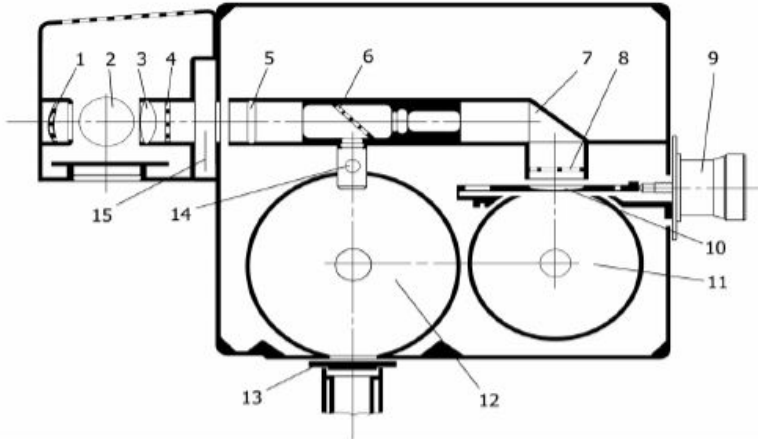
Образец сульфитной целлюлозы







**Для измерения белизны целлюлозы  
использовался лейкометр Цейса**



1 – вогнутое зеркало; 2 – главная лампа; 3 – конденсаторная линза; 4 – теплозащитный светофильтр; 5 – стеклянный клин; 6 – светорасщепляющая пластинка; 7 – призма; 8 – пластинка из молочного стекла; 9 – измерительный барабан; 10 – регулируемая измерительная диафрагма; 11 – измерительный шар; 12 – пробный шар; 13 – испытуемый образец; 14 – смотровое отверстие для наблюдения пробы; 15 – световой затвор

## Разрывная машина РМБ-10



Работа разрывной машины РМБ-10 основана на изменении угла отклонения маятника от вертикали под действием усилия, прилагаемого к испытываемому образцу.

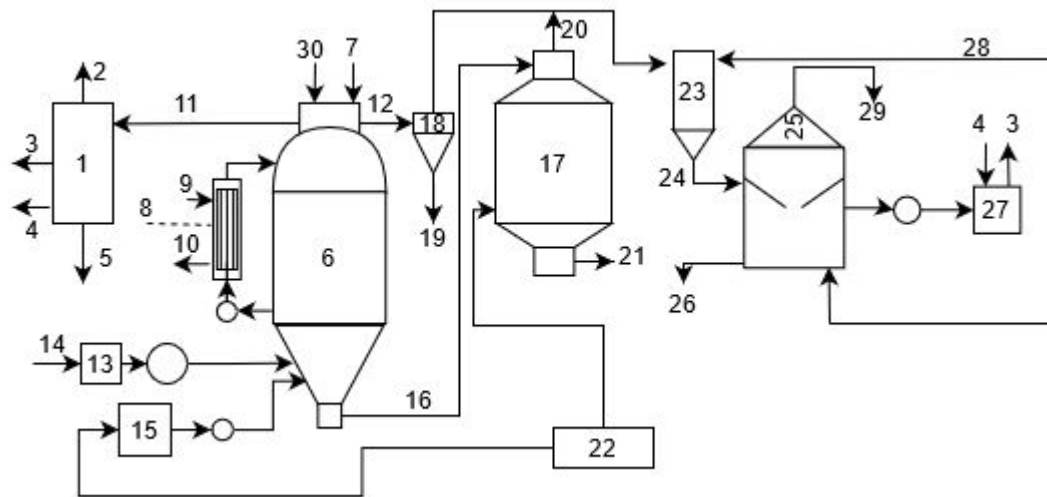


## Аппарат И-1-2 для определения сопротивления бумаги излому



При определении прочности на излом образец закрепляют в зажимах так, чтобы он не выскальзывал во время испытания. Число двойных перегибов отсчитывают по счетчику с точностью до 1.

# Технология сульфатной варки



1 — терпентинный конденсатор; 2 — несконденсированные газы; 3 — горячая вода; 4 — чистая холодная вода; 5 — конденсат (сырой скипидар и вода) во флорентину; 6 — варочный котел; 7 — щепы; 8 — теплообменник (подогреватель щепы); 9 — греющий водяной пар; 10 — конденсат водяного пара; 11 — греющий пар; 12 — конечная сдвух; 13 — бак-мерник белого щелока; 14 — белый щелок из цеха каустизации; 15 — бак-мерник черного щелока; 16 — выгружаемая из котла волокнистая масса; 17 — выдувной резервуар; 18 — циклон-ловушка; 19 — волокна и щелок в бак черного щелока; 20 — пары самовскипания щелока; 21 — волокнистая масса в промывной отдел; 22 — черный щелок из промывного отдела; 23 — струйный конденсатор; 24 — горячий конденсат; 25 — бак-аккумулятор; 26 — грязный конденсат в сток; 27 — спиральный теплообменник; 28 — охлажденный конденсат; 29 — вентиляция (в атмосферу или на газоочистную установку); 30 — пар для уплотнения щепы

## Ввод исходных данных для расчетов

<i>f<sub>x</sub></i>								
F	G	H	I	J	K	L	M	
Ввод данных								
Показатель					Величина показателя			
Базисная плотность древесины, кг/м <sup>3</sup>					425,00			
Влажность древесины (относительная), %					35,00			
Выход целлюлозы из древесины, %					48,00			
Степень объемного наполнения котла щепой g					0,43			
Расход пара на уплотнение щепы, тонны на 1 т в.с целлюлозы					0,20			
Расход активной щелочи, кг Na <sub>2</sub> O на 1 т целлюлозы					315,00			
Плотность оборотного черного щелока (при 150С) кг/дм <sup>3</sup>					1,09			
Количество жидкости в 1 м <sup>3</sup> котла, дм <sup>3</sup>					550,00			
концентрация активной щелочи, кг Na <sub>2</sub> O/м <sup>3</sup>					110,00			
Степень сульфидности					0,25			
Степень каустинизации					0,88			
Степень восстановления					0,95			
Температура варки, °С					172,00			
Концентрация волокнистой массы, направляемой из выдувного резервуара в промывной отдел, %					4,00			

## Загрузка щепы и заливка щелоков

fx = (100*Sheet1!K4)/(100-Sheet1!K4)							
G	H	I	J	K	L	M	
Загрузка щепы и заливка щелоков							
Абсолютная влажность древесины, %						53,8	
Количество а.с. Древесины, загружаемой в 1 м <sup>2</sup> котла, кг						182,8	
Выход целлюлозы из 1 м <sup>2</sup> котла, кг (а.с.)						87,7	
Выход целлюлозы из 1 м <sup>2</sup> котла, кг (в.с.)						99,7	
Для получения 1 т в.с. Целлюлозы в котел нужно загрузить а.с. Древесины, кг						1833,3	
С этой древесиной поступит воды в виде влаги, кг						987,2	
На 1 м <sup>2</sup> котла поступит воды со щепой, кг дм <sup>3</sup>						98,4	
Расход пара на уплотнение щепы при принятии 0,20 т/т целлюлозы кг дм <sup>3</sup>						19,9	
90% Пара конденсированного в котле на 1 м <sup>2</sup> , кг						17,9	
Или на 1 т целлюлозы						180,0	
Общее количество воды, поступающей в котел со щепой и конденсатом пара на 1 т целлюлозы, дм <sup>3</sup>						1167,2	
Объем щелоков, закачиваемых на 1 м <sup>2</sup> котла, дм <sup>3</sup>						433,7	
Или на 1 т целлюлозы дм <sup>3</sup>						4350,4	
В том числе белого щелока дм <sup>3</sup>						2863,6	
Это составляет, %						65,8	
От общего объема щелоков							
Черный щелок, дм <sup>3</sup>						1486,7	
Что составляет, %						34,2	
Степень активности белого щелока						0,9	
Общее количество содопродуктов, поступающих на 1 т целлюлозы с белым щелоком, в единицах Na <sub>2</sub> O, кг						351,4	
Коэффициент для пересчета количества содопродуктов из единиц Na <sub>2</sub> O в собственные единицы						1,3	
Количество содопродуктов на 1 т целлюлозы, поступающих в котел с белым щелоком в собственных единицах, кг						468,5	

## Состав белого щелока

fx = H4*((40*2)/62)							
F	G	H	I	J	K	L	M
Расчет состава белого щелока							
Компоненты щелока	Концентрации, кг/м <sup>3</sup>						
	В единицах Na <sub>2</sub> O	В собственных единицах					
NaOH (40)	82,5	106,5					
Na <sub>2</sub> S (78)	27,5	34,6					
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (106)	11,3	19,2					
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (142)	1,4	3,3					
Всего	122,7	163,6					

## Ввод данных для расчета заварки

F2		fx =Sheet2!L7*90*0,001						
▲	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Заварка							
2	Во время сдувки из котла уходит около 90 кг					165,0		
3	водяного пара на 1 т а.с. Дровесины. В							
4	перерасчете на 1 т в.с. Целлюлозы, кг							
5	Переброс щелока, увлекаемого со сдувками, кг						55,2	
6	Всего с терпеновой сдувкой уходит воды, кг					220,2		
7	В раствор переходит 18% дровесного					330,0		
8	вещества, что на 1т целлюлозы составляет, кг							
9	Органических веществ в котле, кг						520,5	
10	К концу сдувки в раствор переходит 32%					586,7		
11	дровесного вещества что на 1 т целлюлозы							
12	составляет, кг							
13	Органических веществ к концу сдувки, кг					757,1		
14	Среднеарифметическое количество					638,8		
15	растворенных органических веществ в котле							
16	во время сдувки, кг							
17	Количество жидкости в котле к концу сдувки,					5 297,4		
18	дм <sup>3</sup>							
19	Среднеарифметическое количество жидкости					5 407,5		
20	в котле во время сдувки, дм <sup>3</sup>							
21	Средняя концентрация органических веществ					0,1		
22	в растворе во время сдувки кг/дм <sup>3</sup>							
23	Уходит из котла органических веществ с					6,5		
24	перебросом щелока, кг							
25	Средняя концентрация минеральных веществ					0,1		
26	в щелоке кг/дм <sup>3</sup>							
27	Уходит из котла минеральных веществ с					5,6		
28	перебросом щелока в собственных единицах,							
29	В единицах Na <sub>2</sub> O, кг					4,2		

## Материальный баланс загрузки щепы и заливки щелоков на 1 т целлюлозы

I9		fx =I5+I7+I8											
▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	Баланс загрузки щепы и заливки щелоков на 1 т целлюлозы												
2	Вещества, загруженные в котел					Поступило в котел							
3						Со щепой и		С белым щелоком		С черным щелоком		Всего	
4						конденсатом							
5	Вода, кг					1167,2		2863,6		1486,7		5517,6	
6	С дровесиной					1833,3		-		-		1833,3	
7	Растворенные в черном щелоке					-		-		190,5		190,5	
8	Минеральные вещества, кг					-		468,5		81,6		550,1	
9	Всего, кг					3000,5		3332,1		1758,8		8091,4	
10	В том числе Na <sub>2</sub> O, кг					-		351,4		61,2		412,6	

## Материальный баланс заварки

D6

fx =Лист2!K5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R		
1							Итоговый материальный баланс заварки (на 1 т целлюлозы)													
2				Приход				Расход												
3				Вещества	Загружено в котел	От химических реакций	Итого	Ушло со сдвухами		На химические реакции	Итого	Осталось в котле к концу заварки								
4														В виде паров	С перебросом щелока					
5																				
6				Вода, кг дм <sup>3</sup>	5517,6	-	5517,6	165,0	55,2	-	220,2	5297,4								
7				Древесина	1833,3	-	1833,3	-	-	586,7	586,7	1246,7								
8				Растворенные	190,5	586,7	777,1	20,0	6,5	-	26,5	750,6								
9				Минеральные вещества, кг	550,1	-	550,1	-	5,6	-	5,6	544,5								
10				Всего, кг	8091,4	586,7	8678,1	185,0	67,3	586,7	839,0	7839,1								
11				Na <sub>2</sub> O, кг	412,6	-	412,6	-	4,2	-	4,2	408,4								



## Вещества в котле к концу заварки

fx =Лист3!Q7					
F	G	H	I	J	
В конце заварки в котле находится (кг/т)					
Древесина				1246,7	
Вода				5297,4	
Растворенные органические веществ				750,6	
Минеральные вещества				544,5	

## Вещества в котле к концу варки

fx =0,18*Sheet2!L7					
F	G	H	I	J	K
Варка					
За период варки растворяется древесного вещества, %					18,0
В раствор переходит органических веществ					330,0
Целлюлозы в котле к концу варки					916,7
Воды в котле к концу варки					5297,4
Органических веществ в котле к концу варки					1080,6
Минеральных веществ в котле к концу варки					544,5
Всего					7839,1
Всего Na <sub>2</sub> O					408,4

## Конечная сдвужка

f <sub>к</sub> = K2-0,101					
F	G	H	I	J	K
Конечная сдвужка					
Абсолютное давление, МПа					0,8
Избыточное давление, МПа					0,7
Абсолютное давление, МПа					0,6
Теплосодержание воды в начале сдвужки, кДж/кг					729,0
Теплосодержание воды в конце сдвужки, кДж/кг					668,0
За счет охлаждения в котле выделится тепла, МДж					323,1
За счет охлаждения целлюлозы, органических и минеральных веществ выделяется тепла, Всего выделяется тепла во время спуска давления, МДж					47,7
Среднее абсолютное давление за время конечной сдвужки, МПа					0,7
Теплота преобразования, МДж/кг					2,1
Образуется пара, кг					179,6
В раствор переходит древесного вещества, кг					36,7
Переброс щелока со сдвужочными парами, дм <sup>3</sup>					105,9
Количество жидкости в котле к концу сдвужки, 5011,9					5011,9
Среднее количество жидкости в котле за время конечной сдвужки, дм <sup>3</sup>					5154,6
Количество органических веществ в растворе к концу сдвужки, кг					1117,3
Среднее количество растворенных органических веществ, кг					1098,9
Их средняя концентрация кг/дм <sup>3</sup>					0,2
Количество органических веществ уходящих из котла с перебросом щелока, кг					22,6
Средняя концентрация минеральных веществ в щелоке за время конечной сдвужки, кг/дм <sup>3</sup>					0,1
Количество минеральных веществ, уходящих из котла с перебросом щелока, кг					11,2
В том числе Na <sub>2</sub> O, кг					8,4

## Материальный баланс конечной сдвужки

Q5 f <sub>к</sub> = H5-P5																		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
Материальный баланс конечной сдвужки (кг/т)																		
				Приход				Расход										
			от химических реакций		Итого		Ушло со сдвужками		На химические реакции		итого		Осталось в котле перед сдвужкой					
			в виде пара		С перебросом													
Вещества			В конце варки															
Вода			5297,4		-		5297,4		179,6		105,9		-		285,5		5011,9	
Целлюлоза			916,7		-		916,7		-		-		36,7		36,7		880,0	
Растворенные органические вещества			1080,6		36,7		1117,3		-		22,6		-		22,6		1094,7	
Минеральные вещества			544,5		-		544,5		-		11,3		-		11,3		533,2	
Всего			7839,1		36,7		7875,8		179,6		139,8		36,7		356,0		7519,8	
В том числе Na <sub>2</sub> O			408,4		-		408,4		-		8,3		-		8,3		400,0	

# Заключение

В работе были изучены основные компьютерные программы, которые могут быть использованы для технологических расчетов различных производственных процессов. Доказана возможность применения среды табличного процессора **Microsoft Excel** для обработки производственных показателей, в том числе и предприятиями целлюлозно-бумажной промышленности.

По результатам аналитического обзора и проведенным исследованиям по определению основных свойств целлюлозы, в качестве примера технологического процесса для расчетов была выбрана **варка сульфатной целлюлозы**, которая отличается более высокими **прочностными показателями** по сравнению с сульфитной целлюлозой и находит широкое применение.

С использованием программного продукта Microsoft Excel рассчитан состав белого щелока, материальный баланс процессов заварки и варки целлюлозы, рассчитана конечная сдвка, ее материальный баланс и в итоге определена **итоговая загрузка щепы и заливка щелоков**.

## Список использованной литературы

1. Иванов Ю.С. Производство сульфатной целлюлозы. Часть 1: учебное пособие / ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2010.
2. Технология целлюлозы. В 3-х т. Т. II. Н е п е н и н Ю. Н. Про-изводство сульфатной целлюлозы: Учебное пособие для вузов.—2-е изд., перераб.— М: Лесная промышленность, 1990.— 600с.—ISBN 5—7120—0266—3.
3. Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Третьяков С.И., Богданович Н.И., Соколов О.М., Кутакова Н.А., Селянина Л.И. Производство сульфитной целлюлозы // Комплексная химическая переработка древесины / Под редакцией проф. И.Н.Ковернинского. — Архангельск: Издательство Архангельского государственного технического университета, 2002. — С. 50—66.
4. Иванов Ю.С., Никандров А.Б., Кузнецов А.Г. Материальный и тепловой баланс периодической сульфатной варки: учебное пособие /ВШГЭ СПбГУПТД. – СПб., 2018. – 65 с
5. Уокенбах, Джон. Профессиональное программирование на VBA в Excel 2002 : Пер. с а н г л . — М. : Издательский дом ""Вильяме", 2003 — 784 с . : ил. — Парал. тит. англ.
6. Микросоп стереоскопический МБС – 10, инструкция по эксплуатации.
7. ГОСТ 18461–93 – Метод определения содержания золы
8. Методические указания по курсовому проектированию / сост. Э. Л. Аким, Р. Е. Смирнов, Ю. С. Иванов, В. М. Василев. ГОУВПО СПбГТУРП. – СПб. , 2007. – 14 с
9. Александра, Шерстобитова und Андрей Яськов Оптические технологии в целлюлозно–бумажной промышленности / Александра Шерстобитова und Андрей Яськов. – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 164 с.
10. Буйлов, Г.П. Автоматическое управление технологическими процессами целлюлозно–бумажного производства / Г.П. Буйлов. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 262 с.
11. Глейзер, И.Ш. Повышение эффективности энерготехнологического оборудования целлюлозно–бумажного производства / И.Ш. Глейзер, Ю.И. Куклев. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 208 с.
12. Государственные элементные сметные нормы на монтаж оборудования. ГЭСНм–2001. Часть 25. Оборудование предприятий целлюлозно–бумажной промышленности. – М.: ФГУ ФЦЦС, 2009. – 441 с
13. Емуранов, Г.В. Комплексная автоматизация бухгалтерского учета в промышленности / Г.В. Емуранов. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 143 с.
14. Ерыхов, Б. П. Неразрушающие методы исследования целлюлозно–бумажных и древесных материалов / Б.П. Ерыхов. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 228 с.
15. Абрютина, М. С. Экономика предприятия / М.С. Абрютина. – М.: Дело и сервис, 2017. – 528 с.