

ПОЛУЧЕНИЕ ХИМИКО-ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ МАССЫ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ СОЛОМЫ

В.В. Яловенко¹, О.В. Яловенко¹, А.А. Зуйков^{2✉},
Е.Н. Осминин², В.В. Горошников²

¹ООО «Песчанокопская аграрная лаборатория», Россия, 347561, Ростовская обл., Песчанокопский р-н, с. Развильное, ул. Усадьба СХТ, д. 3

²ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги» (ЦНИИБ), Россия, 141260, Московская обл., Пушкинский р-н, пос. Правдинский, ул. Ленина, д. 15/1

zuykov_a@mail.ru

Одним из путей эффективного решения утилизации соломы при удалении ее с поля является глубокая технологическая переработка в волокнистые полуфабрикаты для бумажной промышленности. Таким полуфабрикатом может стать химико-термомеханическая масса из соломы злаковых культур. В качестве химического реагента для производства химико-термомеханической массы был выбран вместо традиционно используемого едкого натра (NaOH) — гидроксид калия (KOH). Применение KOH для получения химико-термомеханической массы позволяет направить отработанные растворы после их нейтрализации серной или фосфорной кислотой в качестве калийного удобрения для подкормки различных растительных культур, т. е. существенно повысить экологичность разрабатываемого процесса получения химико-термомеханической массы. В результате проведенных экспериментов показано влияние расхода химикатов, температуры и времени обработки на изменение степени помола и базовые показатели механической прочности лабораторных образцов химико-термомеханической массы, определены оптимальные условия получения химико-термомеханической массы из пшеничной соломы, обеспечивающие высокие физико-механические свойства массы, пригодной для производства упаковочных видов бумаги, картона и литевых изделий.

Ключевые слова: волокнистое сырье, производство химико-термомеханической массы, пшеничная солома, прочность химико-термомеханической массы, бумага, картон, литевые изделия из химико-термомеханической массы

Ссылка для цитирования: Яловенко В.В., Яловенко О.В., Зуйков А.А., Осминин Е.Н., Горошников В.В. Получение химико-термомеханической массы из пшеничной соломы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 3. С. 106–118. DOI: 10.17816/2542-1468-2026-3-106-118

Для сельхозпроизводителей зерновых культур эффективная утилизация соломы представляет собой важную задачу, решение которой обеспечивает соблюдение установленных Правилами противопожарного режима Российской Федерации, норм по запрету сжигания сельскохозяйственных отходов, утвержденных постановлением Правительства РФ № 1479 «О противопожарном режиме в Российской Федерации» от 16.09.2020 г. п.185, в которых указано, что «запрещается выжигание сухой травянистой растительности, стерни, пожнивных остатков (за исключением рисовой соломы) на землях сельскохозяйственного назначения» [1].

При выращивании и сборе зерна озимой пшеницы на юге Ростовской области на каждую тонну зерна на полях образуется от 0,8 до 1,2 т соломы или от 5 до 8 т на 1 га. Так, в Песчанокопском районе Ростовской области на площади 15 000 га при производстве 100 000 т

зерна озимой пшеницы на полях ежегодно накапливается до 120 000 т соломы [2]. Основные способы утилизации соломы, применяемые в настоящее время — заделка в почву и удаление с поля.

Установлено, что при объеме соломы более 5 т/га полное ее запахивание под вторую озимую культуру исключается [3].

В первый год внесения соломы в почву, урожай злаковых культур снижается вследствие образования токсических соединений при ее разложении, ухудшаются условия их азотного питания при закреплении почвенного азота микроорганизмами [4, 5].

Одним из путей эффективного решения утилизации соломы при удалении ее с поля представляется ее глубокая технологическая переработка в волокнистые полуфабрикаты для бумажной промышленности [6].

Получение волокнистых полуфабрикатов для производства бумаги и картона из соломы злаковых культур, широко применялось в первой половине XX в. После Великой

Отечественной войны (1941–1945) в развитии целлюлозно-бумажной промышленности произошло смещение в сторону получения целлюлозы и других волокнистых полуфабрикатов из древесины. Это обстоятельство на тот период было технологически и экономически оправданно [7].

С ростом урожаев зерновых культур в настоящее время, в среднем с 16...17 ц/га до 50...60 ц/га и возросшим объемом образующейся на полях соломы, целесообразно восстановить использование этого важного растительного ресурса наряду с древесиной для производства содержащих целлюлозу волокнистых полуфабрикатов для изготовления бумажной продукции [8, 9].

Таким полуфабрикатом может стать химико-термомеханическая масса из соломы злаковых культур.

Цель работы

Цель работы — разработка и оптимизация технологии получения химико-термомеханической массы (ХТММ) из пшеничной соломы для последующего использования в производстве упаковочных видов бумаги, картона и литевых изделий, с учетом повышения экологичности процесса за счет применения гидроксида калия КОН в качестве химического реагента и возможности вторичного использования отработанных растворов как калийных удобрений.

Материалы и методы

Объектом исследования послужила пшеничная солома двух сортов, выращенных в Ростовской области: «Сварог» (2020) и «Гром» (2021). Исходное растительное сырье было предварительно измельчено на гильотинной соломорезке до размера сечки 5...20 мм, затем отсортировано на вибрационной сортировке через сита с диаметром отверстий 1,0 мм и 0,5 мм. Фракции, прошедшие через сито с диаметром отверстий менее 0,5 мм, исключались из дальнейшей переработки ввиду повышенного содержания минеральных включений и пыли.

Для оценки пригодности сырья к получению волокнистых полуфабрикатов был проведен анализ его компонентного состава: массовых долей целлюлозы, лигнина, золы, а также смол и жиров. Анализ осуществлялся в соответствии с методиками, регламентированными действующими ГОСТами и отраслевыми стандартами [10–12].

Основные эксперименты были сосредоточены на получении ХТММ с использованием

гидроксида калия КОН в качестве химического реагента, обусловленным возможностью экологически безопасного повторного использования отработанного раствора как калийного удобрения после нейтрализации фосфорной или серной кислотой [13–16].

Полученные результаты сопоставлялись с показателями товарных ХТММ из лиственной древесины, используемых на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (например, на Светогорском ЦБК).

Результаты и обсуждение

В классических способах производства ХТММ традиционно используется гидроксид натрия NaOH в количестве до 40 кг/т сырья [15–17]. Однако данный метод имеет существенный экологический недостаток: отработанные щелочные растворы даже после нейтрализации кислотой и биологической очистки представляют собой отходы, требующие утилизации через очистные сооружения, что увеличивает нагрузку на водные экосистемы [18, 19].

В качестве альтернативы был выбран гидроксид калия КОН, применение которого позволяет не только обеспечить эффективную делигнификацию соломы, но и решить проблему утилизации отходов. После термохимической обработки отработанный щелок, содержащий калийные соединения, можно нейтрализовать серной H_2SO_4 или фосфорной H_3PO_4 кислотой с образованием сульфата калия K_2SO_4 или фосфата калия K_3PO_4 соответственно [20–23]. Эти соединения являются ценными калийными удобрениями, широко применяемыми в сельском хозяйстве для повышения урожайности зерновых и овощных культур [24, 25].

Объектом исследований являлось растительное сырье из злаковых культур — пшеничная солома двух видов (на рис. 1 и 2).

Исходную солому разрезали на гильотинной соломорезке в сечку длиной от 5 до 20 мм (рис. 3).

Соломенную сечку отсортировали на вибрационной сортировке на ситах с диаметром отверстий 1 и 0,5 мм. Фракция, прошедшая через сито с диаметром отверстий 0,5 мм (на поддон), выбрасывали по причине большого содержания в ней минеральных включений (песка, пыли и т. п.) [26, 27]. Исследования состава последней фракции (на поддоне) показали содержание в ней золы в количестве 20,2 % (табл. 1).

Пригодность того или иного вида растительного сырья для получения волокнистых полуфабрикатов, используемых при производстве бумаги и картона, определяется прежде всего его химическим составом.



Рис. 1. Солома пшеницы сорта «Сварог» (2020 г.)
Fig. 1. «Svarog» wheat straw (2020)



Рис. 2. Солома пшеницы сорта «Гром» (2021 г.)
Fig. 2. «Grom» wheat straw (2021)



Рис. 3. Соломенная сечка
Fig. 3. Chopped straw

Т а б л и ц а 1

**Содержание соломенного сырья
по фракционному составу, %**

**Straw raw material content
by fractional composition, %**

Сортировка	Сорт «Сварог»	Сорт «Гром»
На сите с диаметром отверстий, мм		
1,0	98,64	91,95
0,5	1,01	6,28
На поддоне	0,35	1,77

От химического состава сырья зависит также выбор способов его переработки на волокнистые полуфабрикаты [28].

Определен компонентный состав исследуемых образцов пшеничной соломы и проведен

его сравнительный анализ с компонентным составом осиновой древесины (табл. 2). Анализ полученных данных свидетельствует о том, что химический состав всех видов образцов соломы по показателям массовой доли лигнина и массовой доли смол и жиров приближается к химическому составу лиственных пород древесины, в частности осины.

Однако образцы соломы имеют повышенное содержание золы. У образца соломы сорта «Гром» содержание золы достигает 11,3 % относительно содержания золы в осиновой древесине, у которой зольность составляет 1,2 %. Содержание целлюлозы по Кюршнеру у образцов из соломы составляет 43,7...44,8 % против 58,0 % у осиновой древесины.

Первоначально была сделана попытка получить термомеханическую массу (ТММ) из соломы. В этом случае сечку из пшеничной соломы помещали в лабораторный автоклав емкостью 5 л (рис. 4) и подвергали ее прогреву острым паром в течение 20 мин.

За это время температура нагретой сечки достигала 98 °С. В дальнейшем выполняли пропарку нагретой сечки при температуре 120 °С в течение 10 мин, после чего пропаренная сечка из пшеничной соломы размалывалась на лабораторной дисковой мельнице SW-12 (рис. 5) при концентрации массы 10...15 % и атмосферном давлении.

В результате проведенных экспериментов была получена ТММ со степенью помола 63°ШР и содержанием грубоволокнистой фракции (костры) 48,3 %. Из полученной волокнистой массы была сделана попытка получения бумажных отливок на листоотливном аппарате «Рapid-Кеттен» по ГОСТ 14363.4-89. Однако вследствие низкой механической прочности во влажном состоянии отливки из ТММ обоих образцов соломы

**Сравнительная характеристика химического состава (%)
образцов соломы пшеницы и осиновой древесины**

Comparative analysis of the chemical composition (%) of wheat straw and aspen wood samples

Химический состав	Сорт «Сварог»	Сорт «Гром»	Осиновая щепа	Метод анализа
Влажность	8,9	8,5	11,0	ГОСТ ИСО 287-2014
Массовая доля золы	5,4	11,3	1,2	ГОСТ 7623-92 (ИСО 2144-80)
Массовая доля смол и жиров	0,63	1,05	1,7	ГОСТ 6841-77
Массовая доля лигнина	21,1	23,1	21,0	ГОСТ 11960-79
Массовая доля целлюлозы	43,7	44,8	58,0	Метод Кюршнера и Хоффера

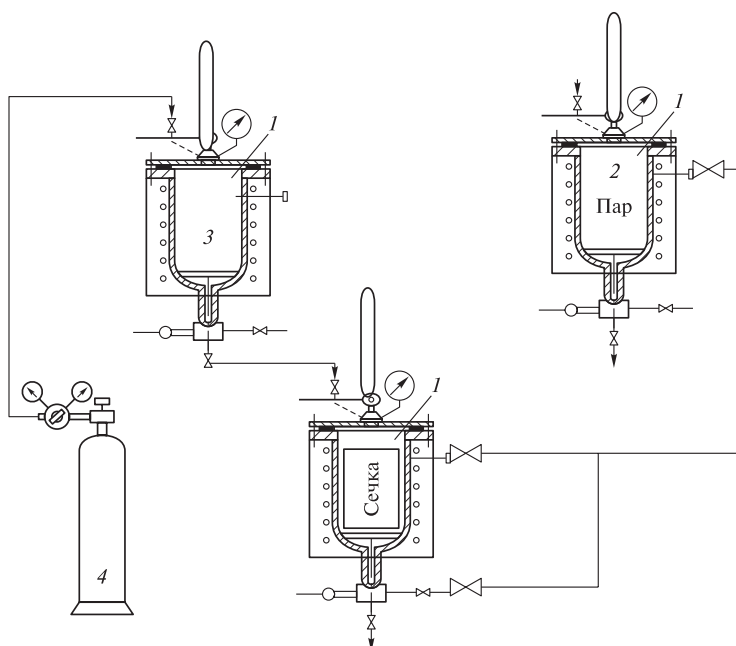


Рис. 4. Схема лабораторной установки химико-термогидролитической обработки целлюлозосодержащего сырья и массы перед размолотом: 1 — автоклав; 2 — парообразователь; 3 — дозатор химических реагентов; 4 — баллон со сжатым азотом

Fig. 4. Schematic diagram of a laboratory setup for chemical-thermo-hydrolytic treatment of cellulose-containing raw materials and mass before grinding: 1 — autoclave; 2 — steam generator; 3 — chemical reagent dispenser; 4 — cylinder with compressed nitrogen

разрушались при снятии с сетки листоотливного аппарата. На основании этого был сделан вывод о невозможности получения волокнистой массы из пшеничной соломы по способу ТММ.

Экспериментальные исследования по получению ХТММ из соломы проводили также в лабораторном автоклаве емкостью 5 л, в такой последовательности: навеску сечки соломы массой 200 г а. с. в. помещали в автоклав, заливали водой (обеспечивая гидромодуль 1:10), затем прогревали острым паром до температуры 96...98 °С в течение 10...30 мин. По истечении

заданного времени водный раствор сливали и измеряли его объем. Соломенной сечкой во время ее термообработки в воде поглощалось трехкратное количество жидкости.

Отобранный водный раствор в дальнейшем был проанализирован на содержание в нем органических и минеральных веществ. Прогретую в воде соломенную сечку заливали раствором химикатов из расчета обеспечения гидромодуля 1:7. Затем крышку автоклава герметично закрывали и пропаривали сечку в течение 10...40 мин. При температуре 110...130 °С.

Условия термохимической обработки и вид использованного соломенного сырья при получении химико-термомеханической массы

Thermochemical processing conditions and type of straw raw material used in obtaining chemical-thermomechanical pulp

Номер образца	Сорт соломы	Водная предобработка			Химическая обработка			
		Вид химиката	Температура, °С	Время, мин.	Реагент	Расход, кг/т	Температура, °С	Время, мин
1	«Сварог»	–	–	–	КОН	5	125	5
2		H ₂ O	98	30		15	120	20
3				40		10	120	20
4				10		20	120	20
5				30		20	120	10
6				30		20	120	40
7				40		20	110	20
8				15		20	130	20
9				30		20	120	15
10				20		20	120	15
11	«Гром»			H ₂ O	98	30	КОН	10
12		10	20			120		20
13		30	15			120		20
14		40	20			110		20
15		30	20			130		20
16		30	20			120		10
17		30	20			120		40



Рис. 5. Лабораторная дисковая мельница SW-12
Fig. 5. SW-12 Laboratory Disc Mill

Для химической обработки использовали щелочной раствор гидроксида калия КОН.

Отработанный раствор химикатов, так называемый щелок, отделяли от обрабатываемого материала и анализировали на содержание в нем органических, минеральных веществ и щелочность.

По окончании химической обработки сечку соломы подвергали размолу на лабораторной дисковой мельнице.

Для получения ХТММ с разной степенью помола на размол требовалось разное количество

энергии. В связи с этим, при одинаковом термохимическом воздействии на сырье, но при разном расходе энергии на размол получали два вида ХТММ с различной степенью помола (табл. 3).

Содержание грубоволокнистой фракции в ХТММ определяли на сортировке Соммервиля по методике ТАРПИ УМ 242 [31]. Из волокнистой массы изготавливали отливки на аппарате «Рapid-Кеттен» по ГОСТ 14363.4–89 массой 75 г/м², которые после кондиционирования подвергались испытаниям [29, 30, 32–35].

Оценка физических, механических и оптических свойств волокнистого полуфабриката проводилась в соответствии с ГОСТ на методы испытаний.

Определены показатели качества ХТММ, полученной по заданным условиям (табл. 4 и 5).

Химико-термомеханической масса, полученная из образца соломы № 1 сорта «Сварог», превосходит по своим свойствам ХТММ из образца соломы № 2 сорта «Гром».

Показатели разрушающего усилия и разрывной длины (вариант № 6, см. табл. 4 и вариант № 17, см. табл. 5) у образца соломы № 1 сорта «Сварог» на 13...15 % превышают аналогичные показатели у образца соломы № 2 сорта «Гром», показатель сопротивления излому превышает на 2–3 двойных перегиба,

Окончание табл. 4

Но- мер об- разца	Показатель	Номер варианта																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
Механическая характеристика бумажных отливок																					
8	Удельное сопротивление разрыву, кН/м	0,517	0,540	1,68	3,07	1,53	2,64	1,92	3,39	1,65	3,00	1,98	3,45	1,86	3,28	1,95	3,41	2,08	3,63	3,51	4,21
9	Сопротивление излому, число двойных перегибов	0	0	4	7	3	4	6	9	4	7	8	11	5	8	7	10	8	10	12	15
10	Сопротивление раздиранию, мН	128	117	362	284	344	257	380	293	362	261	392	308	370	287	388	3,04	392	297	421	309
11	Индекс раздирания, (мН·м ²)/г	1,61	1,43	4,70	3,67	4,29	3,13	5,08	3,72	4,76	3,43	5,16	4,05	4,87	3,79	5,10	4,04	5,10	3,90	5,48	3,87
12	Сопротивление продавливанию, кПа	15	17	91	131	68	99	109	153	92	136	116	178	107	144	112	162	116	159	151	202
13	Индекс продавливания, (кПа·м ²)/г	0,19	0,21	1,18	1,69	0,85	1,21	1,46	1,94	1,21	1,79	1,53	2,34	1,41	1,89	1,47	2,13	1,51	209	1,97	2,56

**Показатели химико-термомеханической массы
из пшеничной соломы сорта «Гром»**
Quality indicators of chemical-thermomechanical pulp made from «Grom» wheat straw

Но- мер об- разца	Показатель	Номер варианта													
		11		12		13		14		15		16		17	
Характеристика волокнистой массы															
1	Выход, %	80,4		78,8		79,4		80,0		78,2		80,4		77,9	
2	Степень по- мола, °ШР	59	66	57	64	58	65	59	63	57	65	60	68	56	63
3	Содержание грубово- локнистой фракции, %	30,2	18,5	26,8	16,7	28,6	17,5	27,4	17,6	25,7	15,9	29,3	18,1	22,4	11,8
4	Средневзве- шенная длина волокна, мм	0,67	0,62	0,66	0,63	0,66	0,62	0,65	0,62	0,67	0,63	0,64	0,60	0,69	0,65
Механическая характеристика бумажных отливок															
5	Разрушаю- щее усилие, Н	23,39	36,03	29,13	43,44	26,27	33,74	28,48	41,99	29,77	44,56	27,61	40,06	30,12	45,32
6	Индекс прочности при растяже- нии, (Н·м)/г	20,13	31,17	29,19	38,66	23,03	34,87	24,80	38,75	25,95	38,93	24,12	34,99	26,34	39,58
7	Разрывная длина, м	1830	3080	2370	3750	2290	3480	2490	3920	3020	3930	2430	3510	2650	4040
8	Удельное сопротивле- ние разрыву, кН/м	1,56	2,40	1,94	2,90	1,75	2,65	1,89	2,80	1,98	2,97	1,84	2,67	2,01	3,02
9	Сопротивле- ние изло- му, число двойных прегибов	3	4	4	6	3	5	4	5	5	7	2	3	6	8
10	Сопротивле- ние раздир- анию, мН	352	296	394	346	379	321	382	324	405	350	372	318	416	356
11	Индекс раздирания, (мН·м ²)/г	4,54	3,84	5,12	4,49	4,99	4,23	5,00	4,25	5,31	4,59	4,88	4,17	5,45	4,67
12	Сопротивле- ние прода- вливанию, кПа	72	94	89	123	81	109	86	119	92	125	83	112	96	129
13	Индекс про- давливания, (кПа· м ²)/г	0,93	1,22	1,16	1,60	1,07	1,43	1,13	1,56	1,21	1,64	1,06	1,47	1,26	1,69

показатель сопротивления продавливанию превышает на 16...18 %, при этом показатель сопротивления раздиранию остался практически на одном уровне. Отличие физико-механических показателей между образцами из пшеничной соломы № 1 и № 2 сортов «Сварог»

и «Гром» можно объяснить тем, что образец № 2 содержит в своем составе меньше целых неповрежденных соломенных стеблей, но больше мелких волокнистых включений и больше пыли и минеральных включений.

Т а б л и ц а 6

Изменение компонентного состава (%) образца пшеничной соломы № 1 сорта «Сварог» и образца № 2 сорта «Гром» в процессе получения химико-термомеханической массы

Change in component composition (%) of wheat straw sample No. 1, «Svarog», and sample No. 2, «Grom», during the process of obtaining chemical-thermomechanical pulp

Показатель	Сечка пшеничной соломы		Химико-термомеханическая масса		Метод анализа
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 1	Образец № 2	
Влажность	8,9	8,5	8,4	9,1	ГОСТ ИСО 287–2014
Массовая доля золы	5,4	11,3	3,24	6,38	ГОСТ 7623–92 (ИСО 2144–80)
Массовая доля смол и жиров	0,63	1,05	0,53	0,75	ГОСТ 6841–77
Массовая доля лигнина	21,1	23,1	15,6	16,4	ГОСТ 11960–79
Массовая доля целлюлозы	43,7	44,8	58,2	58,4	Метод Кюршнера и Хоффера

Т а б л и ц а 7

Сравнительная характеристика показателей химико-термомеханической массы из пшеничной соломы с показателями ее товарных видов из лиственной древесины Светогорского ЦБК

Comparison of the performance characteristics of wheat straw chemical-thermomechanical pulp with those of commercial hardwood pulps at Svetogorsk Pulp and Paper Mill

Показатель	ЗАО «Интернешнл Пейпер» г. Светогорск	Из пшеничной соломы (варианты 8 и 15)
Степень помола, °ШР (к. с. мл — канадский стандарт)	60 ± 3 (400 ± 40)	54...63
Индекс прочности на растяжение, Нм/г	16...24	25...40
Индекс сопротивления раздиранию, мНм ² /г	2,3...3,2	4,0...5,0

Снижение расхода гидроксида калия КОН при пропитке сечки (вариант № 3, см. табл. 4, и вариант № 11, см. табл. 5) приводит к уменьшению механических показателей.

Так, прочностные показатели на растяжение и разрыв (разрушающее усилие, разрывная длина, удельное сопротивление разрыву, индекс прочности при растяжении) в зависимости от степени помола уменьшались на 6...18%. Аналогичная картина наблюдалась для показателей сопротивления раздиранию и сопротивления продавливанию, за исключением показателя сопротивления излому, значение которого снизилось всего на 1–2 двойных перегиба.

Увеличение продолжительности пропитки с 20 до 40 мин. При расходе щелочного реагента 20 кг/т приводило к положительному результату (вариант № 6, см. табл. 4 и вариант № 17, см. табл. 5).

Показатели механической прочности у обоих вариантов увеличились на 6...10%, за исключением показателя сопротивления излому, значение которого изменялось на 2–3 ед. Увеличение продолжительности привело к уменьшению выхода на 0,7...0,9%, значение которого достигло 77,9%.

Изменение компонентного состава пшеничной соломы № 1 «Сварог» и № 2 «Гром» в процессе получения ХТММ показано в табл. 6.

Из табл. 6 следует, что содержание массовой доли золы снизилось с 5,4...11,3% у исходной соломы до 3,24...6,38% в ХТММ. При этом массовая доля смол и жиров уменьшилась незначительно — с 0,63...1,05% до 0,53...0,73%, а массовая доля лигнина уменьшилась на 5,5...6,7% и составила 19,1...19,7% соответственно. Массовая доля целлюлозы увеличилась на 14,5...13,6% и составила 58,2...58,4%.

Сравнивая полученные максимальные физико-механические показатели прочности ХТММ из пшеничной соломы с показателями товарных видов ХТММ из лиственной древесины производства ЗАО «Интернешнл Пейпер» (Светогорский ЦБК) (табл. 7) [33], можно с высокой долей уверенности предположить возможность аналогичного применения ХТММ из пшеничной соломы для производства упаковочных видов бумаги и картона.

В рамках данного исследования были проведены эксперименты по оценке способности ХТММ из пшеничной соломы к прессованию при получении бумажных тарелок.

Эксперименты по прессованию тарелки из отливок ХТММ из пшеничной соломы про-

водили на термообогреваемом лабораторном прессе в специально изготовленной прессформе (рис. 6), вмещающей бумажную отливку, диаметром 200 мм, изготавливаемую на листоотливном аппарате «Рapid-Кеттен» массой 12 г [32, 33].

В ХТММ специально не вводили проклеивающие химикаты, применяемые при производстве литьевых изделий для придания влаго- и маслопрочности. Выполненные исследования показали целесообразность применения для производства одноразовой посуды всех видов ХТММ из пшеничной соломы. Получаемые тарелки (рис. 7) сохраняют форму, обладают достаточной механической прочностью и не трескаются при изгибе на 90 градусов.

Выводы

По оценке возможности использования соломенного сырья в качестве исходного материала при производстве волокнистых полуфабрикатов высокого выхода ТММ и ХТММ можно сделать следующие выводы. Так, ТММ из соломы сортов «Сварог» и «Гром» обладают низкими бумагообразующими свойствами и не пригодны для использования при производстве бумаги, картона и литьевых изделий. Отливки из ТММ обоих образцов обладают низкой влагопрочностью и разрушаются при снятии с сетки листоотливного аппарата. ХТММ, полученная из соломенного сырья всех образцов, обладает удовлетворительными бумагообразующими свойствами, имеет выход 78...80 % при расходе 2,0...3,0 % гидроксида калия КОН на химическую обработку сечки перед размолом при температуре пропитки 98 °С и ее продолжительности 10...30 мин.

Рассматриваемый вид волокнистого полуфабриката можно успешно использовать при производстве картона, упаковочных видов бумаги и изготовлении одноразовой посуды (тарелок), а также упаковок для яиц.

Увеличение продолжительности химической обработки до 40 мин. и расхода химикатов до 4,0 % гидроксида калия КОН приводит к улучшению бумагообразующих свойств, при этом выход готового волокнистого полуфабриката составляет 73 %.

Список литературы

- [1] Постановление Правительства РФ № 1479 «О противопожарном режиме в Российской Федерации» от 16.09.2020 г.
- [2] Иванов А.В., Петрова Л.К. Современные проблемы утилизации соломы в сельском хозяйстве // Агрoхимический вестник, 2020. № 4. С. 45–49.
- [3] Сидоров О.Н., Кузнецова Е.Д. Влияние соломы на плодородие почв и урожайность зерновых культур // Земледелие, 2019. № 6. С. 12–15.



Рис. 6. Пресс-форма для прессования бумажных отливок
Fig. 6. Press mold for pressing paper castings

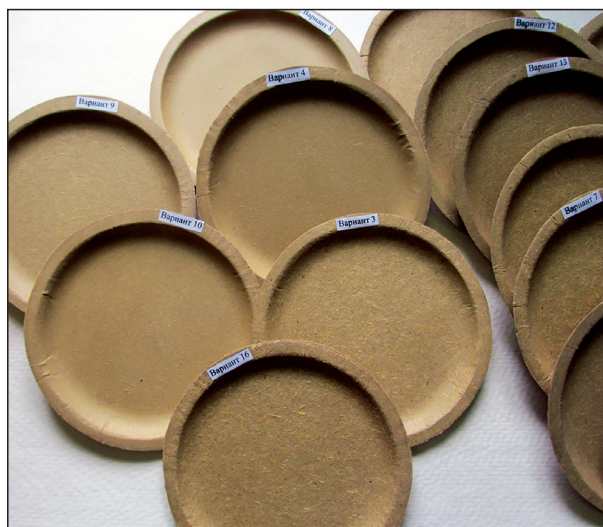


Рис. 7. Отпрессованные тарелки из отливок, изготовленных из химико-термомеханической массы соломенного сырья (температура прессформы более 150 °С, время выдержки 4 мин)
Fig. 7. Pressed plates from castings made from straw chemical-thermomechanical pulp (mold temperature over 150°C, holding time 4 min)

- [4] Зайцев В.Г. Биохимические процессы разложения соломы в почве // Почвоведение, 2018. № 3. С. 34–40.
- [5] Альтернативные методы управления растительными остатками в растениеводстве вместо сжиганий. СПб.: ООО «КСИ-Принт», 64 с.
- [6] Комаров А.А. Технологии переработки соломы в целлюлозно-бумажной промышленности // Бумажная промышленность, 2021. № 2. С. 22–27.
- [7] Лебедев С.И. История развития целлюлозно-бумажной промышленности России. М.: Лесная пром-сть, 2017. 320 с.
- [8] Григорьев М.П., Семенова Н.В. Перспективы использования недревесного сырья в целлюлозно-бумажном производстве // Экология и промышленность России, 2022. № 1. С. 50–55.
- [9] Зуйков А.А., Яловенко В.В., Яловенко О.В., Тюрин Е.Т. Термомеханическая масса из соломы гороха и способ изготовления из нее бумаги и картона. Пат. 2817124С1 Российская Федерация МПК D21F 11/12, Патентообладатель(и): ООО «Песчанокская аграрная лаборатория» (ООО «Песчанокская аграрная лаборатория»)

- копская аграрная лаборатория») D21B 1/12, 2024 г. Опубликовано: 10.04.2024. Бюл. № 10.
- [10] ГОСТ 33980–2016 Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации. 2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200141713> (дата обращения 10.02.2024).
- [11] ГОСТ 6840 Целлюлоза. Методы определения содержания α -целлюлозы. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008001640/ (дата обращения 10.02.2024).
- [12] Морозов В.П., Калинина И.С. Исследование свойств термомеханической массы из соломы пшеницы // Химия растительного сырья, 2020. № 4. С. 123–130.
- [13] Луканин П.В., Смирнова О.С., Казаков В.Г. Способ кислотно-щелочной переработки черного щелока сульфатного производства целлюлозы. Пат. RU 2617569 С2. Патентообладатель(и): Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров. Опубликовано: 25.04.2017 Бюл. № 12.
- [14] Белов А.Н. Современные технологии производства бумаги и картона. СПб.: Профессия, 2021. 416 с.
- [15] Hosseinpour R., Karimi A., Latibari A. Non-wood CTMP for packaging: Strength properties vs. energy consumption // Cellulose, 2022, v. 29, pp. 123–135.
- [16] Raavilainen L. Agricultural fibres in papermaking // Paperi ja Puu, 2000, v. 82(5), pp. 366–371.
- [17] Лебедев А.В. Сравнительный анализ свойств бумаги из соломы и древесины // Бумажная промышленность, 2023. № 4. С. 18–23.
- [18] Smith J., Clark T., O'Neill R. Sodium vs. potassium hydroxide in straw pulping // J. of Cleaner Production, 2020, v. 256, art. № 120312.
- [19] Морозова Т.И. Физико-химические свойства соломенной целлюлозы // Химия растительного сырья, 2021. № 1. С. 55–62.
- [20] Петров К.А. Экологические аспекты целлюлозно-бумажного производства // Экология промышленности, 2021. № 3. С. 45–50.
- [21] Иванова Е.С. Циркулярная экономика в сельском хозяйстве // Экономика и экология, 2022. № 5. С. 78–84.
- [22] Вураско А.В., Шерстобитов А.Л., Агеев М.А., Сиваков В.П. Делигнификация соломы пшеницы растворами гидроксида калия с использованием калийного черного щелока в качестве органоминерального удобрения // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2023. № 242. С. 216–231. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.242.216-231>
- [23] ГОСТ Р 58658–2019 Продукция и продовольствие с улучшенными характеристиками. Удобрения минеральные. Общие технические условия (с Поправками). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169969> (дата обращения 10.02.2024).
- [24] Сидоров П.Н. Влияние калия на урожайность пшеницы // Агрохимия, 2023. № 2. С. 30–35.
- [25] Chen L., He Z., Wang J. Potassium hydroxide pulping of wheat straw // Bioresource Technology, 2019, v. 274, pp. 45–52.
- [26] Кузнецов В.Д. Калийные удобрения в земледелии. М.: Агропромиздат, 2020. 200 с.
- [27] Liu Y., Sun L., Huang Y. Soil salinity control by potassium-based pulping wastes // Environmental Science & Technology, 2021, v. 55(8), pp. 5123–5132.
- [28] Яловенко О.В., Яловенко В.В., Тюрин Е.Т., Зуйков А.А. Способ получения волокнистого полуфабриката из растительного сырья. Патент RU 2809473 С1. Патентообладатель(и): ОАО «ЦНИИБ». Опубликовано: 12.12.2023. Бюл. № 35.
- [29] ГОСТ 30061–93 Зерно и солома зерновых культур, лук репчатый, почва. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023562> (дата обращения 10.02.2024).
- [30] Петров К.Л. Критерии оценки растительного сырья для целлюлозно-бумажного производства // Бумажная промышленность, 2020. № 5. С. 34–38.
- [31] TAPPI UM 242 Определение микрокаппа числа [Determination of micro-kappa number]. Методы испытаний TAPPI [TAPPI Test Methods]. М.: ЦНИИБ, 2015, 5 с.
- [32] ГОСТ 14363.4 Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017971> (дата обращения 10.02.2024).
- [33] ТУ 5421-001-00253497–2010 Масса древесная химико-термомеханическая. ЗАО «Интернешнл Пейпер», г. Светогорск. URL: https://baltcell.ru/wp-content/uploads/2023/11/massa_drevesnaya_himiko-termomehanicheskaya_belenaya_2021.pdf (дата обращения 10.02.2024).
- [34] ISO 5269-2:2004. Pulp Preparation of laboratory sheets for physical testing. URL: <https://www.iso.org/standard/39341.html> (дата обращения 10.02.2024).
- [35] ГОСТ Р 13525.1; 2; 3. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200018195> (дата обращения 10.02.2024).

Сведения об авторах

Яловенко Владимир Валерьевич — заместитель генерального директора ООО «Песчанокская аграрная лаборатория», vladimiryalovenko@mail.ru

Яловенко Ольга Владимировна — генеральный директор ООО «Песчанокская аграрная лаборатория», vladimiryalovenko@mail.ru

Зуйков Александр Александрович [✉] — канд. техн. наук, первый заместитель генерального директора по науке ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», zuykov_a@mail.ru

Осмнин Евгений Никитович — зав. лабораторией печатных видов бумаги и химических продуктов ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», e.osminin@mail.ru

Горошников Виктор Васильевич — ст. науч. сотр. ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», snib@mail.ru

Поступила в редакцию 01.07.2024.

Одобрено после рецензирования 09.12.2025.

Принята к публикации 09.04.2026.

PRODUCTION OF CHEMICAL-THERMOMECHANICAL PULP FROM WHEAT STRAW

V.V. Yalovenko¹, O.V. Yalovenko¹, A.A. Zuykov²✉,
E.N. Osminin², V.V. Goroshnikov²

¹Limited Liability Company «Peschanokopsk Agrarian Laboratory», SHT Estate, Razvilnoye Village, Peschanokopsky District, 347561, Rostov reg., Russia

²Open Joint Stock Company «Central Research Institute of Paper», 15/1, Lenin st., 141260, Pravdinsky Settlement, Pushkinsky District, Moscow reg., Russia

zuykov_a@mail.ru

One of the ways to effectively dispose of straw when it is removed from the field is through deep processing into fiber-based semi-finished products for the paper industry. One such semi-finished product is the chemical-thermomechanical mass made from cereal straw. Instead of the traditionally used caustic soda (NaOH), potassium hydroxide (KOH) was chosen as the chemical reagent for the production of CTMP. The use of KOH for the production of CTMP allows the spent solutions to be used after their neutralization with sulfuric or phosphoric acid as a potassium fertilizer for the feeding of various plant crops, i.e., to significantly improve the environmental friendliness of the developed CTMP production process. As a result of the conducted experiments, the effect of chemical consumption, temperature, and processing time on the change in the degree of grinding and the basic indicators of the mechanical strength of laboratory samples of HTMM was shown, and the optimal conditions for obtaining CTMP from wheat straw were determined, which ensure high physical and mechanical properties of the mass suitable for the production of packaging paper, cardboard, and injection products.

Keywords: fibrous raw material, chemical-thermomechanical pulp production, wheat straw, chemical-thermomechanical pulp strength, paper, cardboard, molded chemical-thermomechanical pulp products

Suggested citation: Yalovenko V.V., Yalovenko O.V., Zuykov A.A., Osminin E.N., Goroshnikov V.V. *Poluchenie khimiko-termomekhanicheskoy massy iz pshenichnoy solomy* [Production of chemical-thermomechanical pulp from wheat straw]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 3, pp. 106–118.

DOI: 10.17816/2542-1468-2026-3-106-118

References

- [1] *Postanovlenie Pravitel'stva RF No. 1479 «O protivopozharnom rezhime» ot 16.09.2020 g.* [Regulation of the Government of the Russian Federation no. 1479 «On fire safety regime» from 16.09.2020].
- [2] Ivanov A.V., Petrova L.K. *Sovremennyye problemy utilizatsii solomy v sel'skom khoziaistve* [Current issues of straw utilization in agriculture]. *Agrokhimicheskii vestnik* [Agrochemical Bulletin], 2020, no. 4, pp. 45–49.
- [3] Sidorov O.N., Kuznetsova E.D. *Vliianie solomy na plodorodie pochv i urozhainost' zernovykh kultur* [Influence of straw on soil fertility and cereal crop yield]. *Zemledelie* [Crop Production], 2019, no. 6, pp. 12–15.
- [4] Zaitsev V.G. *Biokhimicheskie protsessy razlozheniya solomy v pochve* [Biochemical processes of straw decomposition in soil]. *Pochvovedenie* [Soil Science], 2018, no. 3, pp. 34–40.
- [5] *Alternativnyye metody upravleniya rastitel'nymi ostantkami v rasteniyevodstve vmesto szhiganiya* [Alternative methods of crop residue management instead of burning]. Saint Petersburg: KSI-Print, Bellona, [n.d.].
- [6] Komarov A.A. *Tekhnologii pererabotki solomy v tselliulozno-bumazhnoi promyshlennosti* [Straw processing technologies in pulp and paper industry]. *Bumazhnaia promyshlennost'* [Paper Industry], 2021, no. 2, pp. 22–27.
- [7] Lebedev S.I. *Istoriia razvitiia tselliulozno-bumazhnoi promyshlennosti Rossii* [History of the pulp and paper industry in Russia]. Moscow: Lesnaia promyshlennost' [Forestry], 2017, 320 p.
- [8] Grigor'ev M.P., Semenova N.V. *Perspektivy ispol'zovaniia nedrevesnogo siriia v tselliulozno-bumazhnom proizvodstve* [Prospects for using non-wood raw materials in pulp and paper production]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2022, no. 1, pp. 50–55.
- [9] Zuykov A.A., Yalovenko V.V., Yalovenko O.V., Tyurin E.T. *Termomekhanicheskaya massa iz solomy gorokha i sposob izgotovleniya iz nee bumagi i kartona* [Thermomechanical pulp from pea straw and a method for producing paper and cardboard therefrom]. Patent. 2817124C1 Russian Federation IPC D21F 11/12, Patent holder(s): Peschanokopskaya Agrarnaya Lab, LLC (Peschanokopskaya Agrarnaya Lab, LLC) D21B 1/12, 2024. Published: 10.04.2024. Bulletin No. 10.
- [10] GOST 33980–2016 *Produktsiya organicheskogo proizvodstva. Pravila proizvodstva, pererabotki, markirovki i realizatsii* [Organic products. Rules for production, processing, labeling and sale. 2016]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200141713> (accessed 10.02.2024).
- [11] GOST 6840 *Tsellyuloza. Metody opredeleniya soderzhaniya α -tsellyulozy* [Cellulose. Methods for determination of α -cellulose content]. Available at: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_008001640/ (accessed 10.02.2024).
- [12] Morozov V.P., Kalinina I.S. *Issledovanie svoystv termomekhanicheskoi massy iz solomy pshenitsy* [Investigation of properties of thermomechanical pulp from wheat straw]. *Khimiia rastitel'nogo siriia* [Chemistry of Plant Raw Material], 2020, no. 4, pp. 123–130.
- [13] Lukanin P.V., Smirnova O.S., Kazakov V.G. *Sposob kislotno-shchelochnoy pererabotki chernogo shcheloka sul'fatnogo proizvodstva tsellyulozy* [Method of acid-base processing of black liquor from sulfate pulp production]. Patent. RU 2617569 C2. Patent holder(s): Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers. Published: 25.04.2017 Bull. No. 12.

- [14] Belov A.N. *Sovremennyye tekhnologii proizvodstva bumagi i kartona* [Modern technologies of paper and cardboard production]. Saint Petersburg: Professia, 2021, 416 p.
- [15] Hosseinpour R., Karimi A., Latibari A. Non-wood CTMP for packaging: Strength properties vs. energy consumption. *Cellulose*, 2022, v. 29, pp. 123–135.
- [16] Paavilainen L. Agricultural fibres in papermaking. *Paperi ja Puu*, 2000, v. 82(5), pp. 366–371.
- [17] Lebedev A.V. *Sravnitel'nyi analiz svoystv bumagi iz solomy i drevesiny* [Comparative analysis of properties of straw and wood-based paper]. *Bumazhnaia promyshlennost'* [Paper Industry], 2023, no. 4, pp. 18–23.
- [18] Smith J., Clark T., O'Neill R. Sodium vs. potassium hydroxide in straw pulping. *J. of Cleaner Production*, 2020, v. 256, art. № 120312.
- [19] Morozova T.I. *Fiziko-khimicheskie svoystva solomennoi tselliulozy* [Physicochemical properties of straw cellulose]. *Khimiia rastitel'nogo siriia* [Chemistry of Plant Raw Material], 2021, no. 1, pp. 55–62.
- [20] Petrov K.A. *Ekologicheskie aspekty tselliulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Ecological aspects of pulp and paper production]. *Ekologiya promyshlennosti* [Industrial Ecology], 2021, no. 3, pp. 45–50.
- [21] Ivanova E.S. *Tsirkuliarnaya ekonomika v sel'skom khoziaistve* [Circular economy in agriculture]. *Ekonomika i ekologiya* [Economics and Ecology], 2022, no. 5, pp. 78–84.
- [22] Vurasko A.V., Sherstobitov A.L., Ageev M.A., Sivakov V.P. *Delignifikatsiya solomy pshenitsy rastvorami gidroksida kaliya s ispol'zovaniem kaliynogo chernogo shcheloka v kachestve organomineral'nogo udobreniya* [Delignification of wheat straw with potassium hydroxide solutions using potassium black liquor as an organomineral fertilizer]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2023, no. 242, pp. 216–231. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.242.216-231>
- [23] GOST R 58658–2019 *Produktiya i prodovol'stvie s uluchshennymi kharakteristikami. Udobreniya mineral'nye. Obshchie tekhnicheskie usloviya (s Popravkami)* [Products and foodstuffs with improved characteristics. Mineral fertilizers. General specifications (with Amendments)]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200169969> (accessed 10.02.2024).
- [24] Sidorov P.N. *Vliianie kalii na urozhainost' pshenitsy* [Effect of potassium on wheat yield]. *Agrokhimiiia* [Agrochemistry], 2023, no. 2, pp. 30–35.
- [25] Chen L., He Z., Wang J. Potassium hydroxide pulping of wheat straw. *Bioresource Technology*, 2019, v. 274, pp. 45–52.
- [26] Kuznetsov V.D. *Kaliinye udobreniia v zemledelii* [Potassium fertilizers in agriculture]. Moscow: Agropromizdat, 2020, 200 p.
- [27] Liu Y., Sun L., Huang Y. Soil salinity control by potassium-based pulping wastes. *Environmental Science & Technology*, 2021, v. 55(8), pp. 5123–5132.
- [28] Yalovenko O.V., Yalovenko V.V., Tyurin E.T., Zuykov A.A. *Sposob polucheniya voloknistogo polufabrikata iz rastitel'nogo syr'ya* [Method for producing a fibrous semi-finished product from plant raw materials]. Patent RU 2809473 C1. Patent holder(s): JSC TsNIIB. Published: 12.12.2023. Bulletin No. 35.
- [29] GOST 30061–93 *Zerno i soloma zernovykh kul'tur, luk repchatyy, pochva* [Grain and straw of grain crops, onions, soil]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200023562> (accessed 10.02.2024).
- [30] Petrov K.L. *Kriterii otsenki rastitel'nogo siriia dlia tselliulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Criteria for assessing plant raw materials for pulp and paper production]. *Bumazhnaia promyshlennost'* [Paper Industry], 2020, no. 5, pp. 34–38.
- [31] TAPPI UM 242. *Opreделение mikro-kappa chisla* [Determination of micro-kappa number]. *Metody ispytaniia TAPPI* [TAPPI Test Methods]. Moscow: TsNIIB, 2015, 5 p.
- [32] GOST 14363.4 *Tsellyuloza. Metod podgotovki prob k fiziko-mekhanicheskim ispytaniyam* [Cellulose. Method of sample preparation for physicochemical testing]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200017971> (accessed 10.02.2024).
- [33] TU 5421-001-00253497–2010 *Massa drevesnaya khimiko-termomekhanicheskaya* [Chemical-thermomechanical wood pulp]. International Paper CJSC, Svetogorsk. Available at: <https://baltcell.ru/wp-content/uploads/2023/11/massa-drevesnaya-himiko-termomekhanicheskaya-belenaya-2021.pdf> (accessed 10.02.2024).
- [34] ISO 5269-2:2004 *Pulp Preparation of laboratory sheets for physical testing* [Pulp Preparation of laboratory sheets for physical testing]. Available at: <https://www.iso.org/standard/39341.html> (accessed 10.02.2024).
- [35] GOST R 13525.1; 2; 3 *Polufabrikaty voloknistye, bumaga i karton* [Semi-finished fibrous products, paper and board]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200018195> (accessed 10.02.2024).

Authors' information

Yalovenko Vladimir Valer'evich — Deputy General Director of LLC «Peschanokopsk Agrarian Laboratory», vladimiryalovenko@mail.ru

Yalovenko Ol'ga Vladimirovna — General Director of LLC «Peschanokopsk Agrarian Laboratory», vladimiryalovenko@mail.ru

Zuykov Aleksandr Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), First Deputy General Director for Science of JSC «Central Research Institute of Paper», zuykov_a@mail.ru

Osminin Evgeniy Nikitovich — Head of the Laboratory of Printing Papers and Chemical Products at JSC «Central Research Institute of Paper», e.osminin@mail.ru

Goroshnikov Viktor Vasil'evich — Senior Researcher at JSC «Central Research Institute of Paper», cniib@mail.ru

Received 01.07.2024.

Approved after review 09.12.2025.

Accepted for publication 09.04.2026.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest