

## ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ: ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ В ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ (ПРОЕКТНЫЙ ПОДХОД)

**В.А. Дюкарев**, помощник проректора по экономике,  
**\*С.А. Кочаров**, заместитель директора, **В.И. Ходырев**,  
консультант Инновационно-технологического центра

МИТХТ им. М.В. Ломоносова

\*Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации

легкой промышленности (ЦНИИЛКА)

e-mail: [rico-consulting.dva@gmail.com](mailto:rico-consulting.dva@gmail.com)

**Р**ассматривается одно из направлений зеленой химии: применение возобновляемых ресурсов растительного происхождения (на примере переработки льняного волокна). Анализируются перспективы использования льняной целлюлозы как альтернативы хлопковой. Представлено краткое ТЭО реализации проекта «Льняная целлюлоза», нацеленного на отработку промышленной технологии получения льняной целлюлозы и сопутствующих продуктов комплексной переработки исходного сырья. Анализируется соответствие предлагаемой к отработке и промышленному внедрению технологии основным принципам зеленой химии. Реализация предлагаемого проекта с участием МИТХТ рассматривается как постановочная перспективная задача с эколого-экономическим аспектом.

*One of the green chemistry directions – the use of renewable plant-based resources – is considered with processing of flax fibres as an example. The prospects of flax cellulose as an alternative to cotton are analyzed. A brief feasibility study of the project "Flax cellulose" aimed at improving industrial technology of flax cellulose and related products of integrated feedstock processing is presented. The compliance of the technology suggested for simulation and commercialization with the basic principles of green chemistry is analyzed. Implementation of the proposed project with the participation of M.V. Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technologies is regarded as a long-term objective of environmental-economic aspect.*

**Ключевые слова:** хлопок, льняное короткое низкосортное волокно (так называемая «двойка»), льняная костра, целлюлоза льняная, льняная медицинская вата, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), белково-углеводные корма для животных, инновационная фирма, технико-экономическое обоснование (ТЭО) инновационного проекта, пилотное производство.

**Key words:** cotton, linen short low-quality fibers (also called "the Deuce"), linen, flax, flax pulp, medical cotton wool, carboxymethylcellulose (CMC), protein-carbohydrate animal feed, innovation firm, feasibility study for the innovation project, pilot production

### 1. Зеленая химия – суть, основные принципы и направления

Зеленая химия возникла как научное направление в химии в 90-е годы двадцатого века и ориентирована на существенное сокращение влияния на окружающую среду химических производств. Зеленая химия предполагает взвешенный и тщательно продуманный подход к подбору исходных материалов и разработке схем химических процессов с целью максимального исключения использования вредных веществ. В результате исключаются многие стадии уничтожения и переработки вредных побочных продуктов, отходов, удешевляются производственные процессы, снижаются энерго- и водопотребление, давление на экологию.

Все это предполагает разработку новых схем химических реакций и процессов, переход к тонким химическим технологиям, малотоннажной химии, что отвечает наиболее перспективным направлениям научно-технического, инновационного развития России.

В 1998 году П.Т. Анастас и Дж.С. Уорнер в своей книге «Зеленая химия: теория и практика» [1] сформулировали двенадцать уже знаменитых принципов зеленой химии (см.

далее), которыми, на наш взгляд, следует руководствоваться в исследованиях и работе не только химикам, но и экономистам, менеджерам по проектному финансированию, инвесторам.

В этот же период были определены основные направления развития зеленой химии:

- новые пути синтеза;
- возобновляемые исходные реагенты (то есть получаемые не из нефти);
- замена традиционных органических растворителей;
- биотехнология и биоинженерия.

Тематика всех конференций созданного в 2006 году Международного союза по чистой и прикладной химии (ИЮПАК) подтвердила указанные направления развития зеленой химии, из которых, на наш взгляд, наиболее интересными являются:

- применение возобновляемых ресурсов в химических процессах;
- будущие экологически безопасные «зеленые» источники энергии.

Например, инновационные исследования в МИТХТ им. М.В. Ломоносова под научным руководством профессора В.Ф. Третьякова направлены на создание технологий в области

биотоплива из возобновляемой растительной массы, а также непищевой биомассы из микроводорослей (с участием ассоциации «АСПЕКТ»).

Что касается возобновляемых ресурсов растительного происхождения, в практическом плане наиболее интересными являются проблемы комплексной переработки отходов сельскохозяйственного производства, причем на стыке различных отраслей. Приведем только один пример. Для стран, сеющих и производящих рис, глобальной проблемой является утилизация рисовой шелухи. Традиционно шелуха перетирается и добавляется в корм скоту или сжигается. В КНДР, например, НИИ теплотехники разработал установку, которая сжигая за один час 100 кг рисовой шелухи, производит 50 кВт электроэнергии. Но есть и другое решение проблемы. Рисовая шелуха содержит до 20% кремнезема. В России, в Институте химии Дальневосточного отделения РАН разработана технология выделения кремнезема из рисовой шелухи (для фармацевтики), а в качестве побочных продуктов получают ксилит для диабетиков и рисовое масло. Это практически безотходная технология. В этом же направлении работает ООО «Микроэлемент» (г. Красно-дар, Россия), немецкая компания «Evonik» – производитель высококачественного микрокремнезема под торговой маркой AEROSIL.

При доработке указанной технологии возможно получение поликристаллического кремния. В этом направлении в России проводились исследования ВНИИ химической технологии Минатома, однако далее наработки нескольких экспериментальных килограммов дело не пошло. В то же время компания Thermal Technology (США) путем соединения процесса карботермического восстановления с технологией пиролиза биомассы создала технологию переработки рисовой шелухи в кремний «солнечного» качества, являющегося основным материалом для солнечной энергетики. Пожалуй, сейчас это самое впечатляющее инновационное достижение в решении проблем утилизации рисовой шелухи.

В итоге предложено несколько подходов по переработке возобновляемого сырья с его практически полной утилизацией; в результате применения указанных подходов затронуты фармацевтика и медицина, биология, строительство, химико-металлургический комплекс, новые материалы, производство электроэнергии, солнечная энергетика.

Интересны проблемы комплексной переработки бурых водорослей (ламинарии) для получения альгинатов, виноградного жома для получения биодобавок, содержащих ресвератрол, тыквенных, льняных и конопляных семян (масло медицинского назначения и пищевые добавки), а также стебля и волокон лубяных культур.

## **2. Применение возобновляемых ресурсов в химических процессах (на примере комплексной переработки лубяных культур)**

Целлюлоза лубяных культур (льняная, конопляная) в настоящее время рассматривается как основной вид сырья для химической, пищевой и медицинской промышленности, а также производства материалов с высокой энергоотдачей в процессе окисления. До настоящего времени в качестве исходного сырья для получения целлюлозы использовали дерево (40% содержания, с учетом лесных запасов России – относительная дешевизна, основная ориентация – производство бумаги) и низкосортный хлопок (линт) с содержанием целлюлозы 90%.

В силу известных причин хлопковое сырье в России становится менее доступно для перерабатывающей промышленности в необходимом количестве и по приемлемой цене. Хлопок является импортным продуктом, и его цена для нужд предприятий, производящих целлюлозу, составила в настоящее время не менее 3100 долларов за тонну, что привело к уменьшению загрузки производственных мощностей предприятий, в том числе производящих специзделия, на 70-80%. С учетом требований ООН по ограничению применения детского (основного) труда при сборе хлопка, себестоимость хлопка будет только расти. Попытки организации производства собственного российского хлопка в условиях Астраханской области и Краснодарского края не привели к должному результату из-за неподходящих для его производства климатических условий этих регионов. Кроме того, хлопок является монокультурой.

В этой связи оптимальным решением проблемы является использование однолетних лубоволокнистых растений льна и конопли, которые производятся в различных регионах России (Вологодская, Новгородская, Ярославская, Тверская, Смоленская, Костромская области, Краснодарский и Ставропольский края). В волокнах льна и конопли целлюлозы содержится до 80%, а в созданном сорте льна ЛД-10-38-48 – до 87% (в древесине, продукте многолетнего роста дерева и основном сырье для выделения целлюлозы, содержится 40%). Кроме того, цена сырья составляет порядка 500–600 долларов за тонну, при использовании отходов (костры) – и того меньше (20–60 долларов за тонну). Даже с учетом подготовки, очистки и переработки исходного сырья затраты на получение целлюлозы из волокон и костры льна и конопли практически сравнимы с хлопком.

За рубежом в последние 5-10 лет наблюдается настоящий ажиотаж вокруг лубяных культур, создаются крупные правительственные программы, активно участвует частный бизнес. Посевы льна в Канаде составляют 800 тыс. га,

Индии – 1.5 млн. га, Аргентине – 1.5 млн. га, Франции и Бельгии – более 80 тыс. га. Реализуются государственные и межгосударственные целевые программы «Саксонский лен» (Германия), «Скандинавский лен» (Финляндия, Дания, Швеция), «Южно-Африканский лен». В США и Канаде два специальных института занимаются вопросами комплексной переработки льна. План расширения и развития производства однолетних целлюлозосодержащих растений принят семеркой развитых стран как одна из приоритетных задач XXI века.

В России в 2007 г. посевы льна-долгунца составили всего 74 тыс. га, а в 2009 г. – всего 34 тыс. га. В Краснодарском крае в 2010 г. посевы льна и конопли составили примерно 700 га, в Волгоградской области – 300 га. Средняя урожайность льна – порядка 5–6 центнеров с одного гектара.

Если оценивать состояние льняной отрасли, то в настоящее время оно характеризуется попытками федерального центра, местных администраций и бизнеса реконструировать либо модернизировать бывшие льнозаводы и комбинаты, а также пеньковые фабрики, восстановить посевы лубяных культур с учетом районирования РФ. Например, реконструкция льнозавода в г. Гаврилов-Ям Ярославской области в рамках ФЦП по развитию льняной отрасли в 2008-2010 гг., которая началась с открытия цеха по производству льняного масла и планов по налаживанию переработки льняного волокна и посевов льна на одной тысяче га. Еще рано говорить о тенденции подъема, но уже начинают формироваться благоприятные предпосылки.

Формируется программа по восстановлению посевов льна-долгунца. С масличным льном ситуация лучше. Для улучшения ситуации в настоящее время разрабатывается Стратегия РФ по восстановлению льняной отрасли на 2010-2020 годы, включая разделы по комплексной переработке исходного сырья. Причиной формирования таких разделов является то, что несмотря на попытки ряда организаций, промышленная технология получения льняной (конопляной) целлюлозы, не уступающей по своим характеристикам целлюлозе, получаемой из хлопка (линта), до настоящего времени не отработана. Это связано с тем, что льняное (конопляное) волокно содержит гораздо больше спутников целлюлозы и по своему составу занимает промежуточное положение между древесиной и хлопком.

Решение этой проблемы потребовало новых технологических подходов и решений, которые сформировались в инновационном проекте зеленой химии по разработке безотходной комплексной технологии по переработке низкосортных волокон и отходов льна и масличной конопли в целлюлозу, карбоксиметилцел-

люлозу (КМЦ) технического и пищевого назначения, микрокристаллическую целлюлозу, медицинскую вату.

### **3. Инновационный проект зеленой химии «Льняная целлюлоза» (краткое технико-экономическое обоснование)**

Методология проектного подхода к реализации инновационных проектов, а также основные принципы и подходы были использованы с учетом имеющихся авторских разработок [2–5].

#### **Основные термины, используемые в проекте по комплексной переработки льна**

*Льняное короткое низкосортное волокно (так называемая «двойка»)* – результат переработки льна масличного (межеумка, кудряша). Исходное сырье для получения льняной целлюлозы.

*Льняная костра* – древесная часть стеблей (тресты) льна, образующаяся как отходы льнопереработки низкосортного короткого льняного волокна. Полисахарид.

*Целлюлоза льняная* (от лат. *клетка*, то же самое, что клетчатка) – полисахарид, главная часть клеточных оболочек всех высших растений. Самая чистая природная форма целлюлозы – волокна семян хлопчатника, а также лубяных культур: льна, конопли и др. В проекте рассматривается льняная целлюлоза, производимая из низкосортного короткого льняного волокна как альтернатива, заменитель хлопковой целлюлозы. Конечным продуктом переработки является льняная медицинская вата.

*Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ)* – производная льняной целлюлозы. В проекте по предлагаемой технологии производится из льняной костры. Используется как стабилизатор консистенции. Основным свойством КМЦ является способность образовывать очень вязкий коллоидный раствор.

*Белково-углеводные корма для животных* – активно усвояемая форма полисахаридов. В проекте по предлагаемой технологии производятся из льняной костры. Предназначены для откорма животных.

**Цель проекта** – отработка и внедрение промышленной технологии комплексной и углубленной переработки льняного короткого (непрядомого) волокна в целлюлозу, карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), медицинскую вату, белково-углеводные корма для животных.

**Форма реализации проекта** – вновь создаваемая инновационная фирма в форме акционерного общества. Основные учредители и акционеры – разработчики и инвесторы.

**Механизм реализации проекта** – организация, производство и сбыт высокорентабельной продукции. Тиражирование на коммерческой основе отработанной промышленной

технологии в виде инжиниринговых услуг. Выход инновационной фирмы на самоокупаемость через два года с момента запуска производства.

**Суть проекта** – создание пилотного производства комплексной и углубленной переработки низкосортных волокон и отходов льна в высококачественную целлюлозу и ее производные. В рамках пилотного производства будет сформирована производственная линия и отработана указанная промышленная технология, сформированы технологические регламенты и состав технических условий производства по комплексной переработке исходного сырья (включая волокно и костру).

**Особенностями проекта** и обрабатываемой в его рамках технологии является:

- соответствие проекта и предлагаемой технологии списку приоритетных направлений развития науки, техники и технологий или перечню критических технологий РФ, а именно: технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов; технология экологически безопасного ресурсосберегающего производства и переработки сельскохозяйственного сырья. Применение предлагаемой технологии позволяет, с одной стороны, использовать низкосортное растительное сырье и отходы и таким образом решать экологическую проблему их утилизации. С другой стороны, предлагаемая технология позволяет осуществить полную переработку исходного сырья (без отходов) в высококачественные продукты с минимальными экологическими нагрузками для окружающей среды;

- использование дешевого исходного сырья является важным фактором в создании высоко rentабельного, конкурентоспособного производства льняной целлюлозы и ее производных;

- импортозамещение исходного сырья для производства льняной целлюлозы как альтернативы хлопковой. Выпуск на основе льняной целлюлозы отечественной продукции, заменяющей по качеству и ценам ввозимую, импортную продукцию.

Отличительной особенностью проекта является также возможность использования в рамках предлагаемой технологии в качестве исходного сырья конопляного волокна. При этом расчетные экономические показатели проекта существенно не изменятся, так как цена конопляного сырья отличается от льняного на 5-10%.

#### **Защищенность предлагаемой к реализации технологии**

Предлагаемая технология была апробирована в 1970-80-х годах отдельными блоками (частями) коллективом под руководством к.т.н. Ходырева В.И., с участием к.т.н. Кочарова С.А.,

к.х.н. Ильина А.А. и ряда сотрудников ЦНИИЛКА на различных производствах. Были получены экспериментальные данные и результаты, позволившие значительно упростить технологические процессы получения целлюлозы и ее производных, отработать технологические режимы, способы и методы обработки сырья и продукции на промежуточных стадиях, которые и легли в основу имеющихся «ноу-хау». Технология основывается на отечественном оборудовании, скомплектованном особым способом в технологическую линию и эксплуатируемом по отработанным технологическим регламентам и режимам. Для инвесторов практически отсутствуют риски, возникающие обычно при выполнении НИОКР по созданию нестандартного оборудования или линии, чем страдают в большинстве случаев предлагаемые к реализации инновационные проекты.

#### **Описание и сравнительные характеристики продукции, выпускаемой в рамках проекта**

##### *Льняная целлюлоза*

Чисто льняная целлюлоза является достаточно новым продуктом, как для российского, так и для зарубежного рынка. Сравнительные характеристики получаемой и хлопковой целлюлозы показывают, что льняная (конопляная) целлюлоза не только не уступает, но и превосходит по ряду компонентов хлопковую в плане ее дальнейшей нитрации, производства карбоксиметилцеллюлозы, микрокристаллической целлюлозы, сорбентов, кормов, композиционных материалов, бумаги, строительных материалов, утеплителей, нетканых материалов и топливных элементов.

Исходным сырьем для льняной целлюлозы является короткое непрядмое волокно и костра. Основным направлением переработки волокна и костры является их облагораживание путем максимальной очистки от спутников целлюлозы.

##### *Льняная медицинская вата*

Основным продуктом, получаемым из льняной целлюлозы по предлагаемой технологии, является медицинская вата. Конкурентоспособность льняной ваты обусловлена уникальными свойствами льна: гигиеничностью, повышенной гигроскопичностью, воздухопроницаемостью, способностью быстро поглощать и быстро отдавать капельную влагу кожи. Различают гигроскопическую гигиеническую (компрессорную) медицинскую, хирургическую и глазную вату.

Как следует из приведенных данных (табл. 1), у льняной ваты выше такие важные показатели, как позиции 1–6, 8, 9, 15, что обуславливает ее более высокие потребительские свойства.

Таблица 1. Показатели качества медицинской гигроскопической ваты по ГОСТ 5556-81 и медицинской гигроскопической ваты из льна.

Параметры ваты	Вата медицинская гигроскопическая из хлопка по ГОСТ 5556-81			Вата медицинская льняная
	Глазная	Хирургическая	Гигиеническая	
1. Массовая доля нерасчесанных скоплений, %	1.5	3.0	5.0	0.9
2. Массовая доля короткого волокна, %	0.15	0.2	0.25	0.1
3. Засоренность, %	0.1	0.3	0.7	0.08
4. Содержание посторонних примесей, %	Не доп.	Не доп.	Не доп.	Не доп.
5. Зольность, %	0.2	0.3	0.4	0.15
6. Жировые и воскообразные вещества, %	0.3	0.35	0.5	0.2
7. Влажность, %	8.0	8.0	8.0	8.0
8. Поглонительная способность, г	21.0	20.0	19.0	24.0
9. Капиллярность, мм	77.0	70.0	67.0	84.0
10. Реакция водной вытяжки	7±0.5	7±0.5	7±0.5	7±0.5
11. Массовая доля хлоридов, %	0.04	0.04	0.04	0.04
12. Массовая доля сульфатов, %	0.02	0.02	0.02	0.02
13. Массовая доля кальция, %	0.06	0.06	0.06	0.06
14. Белизна, %	80.0	72.0	70.0	82.0
15. Содержание восстанавливающих веществ	Следы	Следы	Следы	Следы

**Карбоксиметилцеллюлоза**

Образующаяся на предприятиях первичной переработки костра имеет следующий химический состав: целлюлоза (40–45%), гемицеллюлоза (15–20%) и лигнин (20–25%), а также другие спутники целлюлозы и может быть использована в качестве сырья для получения как самой целлюлозы, так и карбоксиметил-

целлюлозы (полисахарид). Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) является производной целлюлозы и используется в лакокрасочной, нефтехимической, пищевой и других отраслях промышленности. В предлагаемой технологии КМЦ получается из костры, остающейся после очистки короткого волокна (табл. 2).

Таблица 2. Требования к карбоксиметилцеллюлозе.

Основные характеристики ОСТ 6-05-385-80	Образцы КМЦ на основе льняной костры	Требования ТУ для КМЦ марки 75/400
Степень замещения	74–86	65–85
Основное вещество, %	45–47	45–50
Степень полимеризации	510–750	Не менее 400
Растворимость в воде, %	98.6	99

В результате переработки костры получается КМЦ для производства обойного клея, связующего вещества при бурении скважин, исходной составляющей для производства электродов, спичек, пищевкусковых наполнителей и других продуктов.

**Белково-углеводные корма для животных**

Отходы, получаемые при переработке короткого волокна в целлюлозу, в виде костры по предлагаемой технологии полностью перерабатываются в активно усвояемую форму полисахаридов – белково-углеводные корма для животных. При этом костра полностью (без отходов) перерабатывается в корма. Это направление переработки в предлагаемой технологии

делает ее практически безотходной.

Исследования последних лет показали, что в рационе скота, наряду с недостатком протеина и ряда других питательных веществ, выявлен значительный дефицит легкоперевариваемых углеводов, определяющих уровень энергетического питания животных, от которого зависит их продуктивность. Углеводы необходимы для большинства обменных процессов, связанных с окислением, переаминированием аминокислот, синтезом жиров, минеральным обменом и т. д.

Важным направлением в решении проблемы ликвидации дефицита легкоперевариваемых углеводов в животноводстве, расширения его кормовой базы становится получение высокоуглеводных кормовых добавок из продуктов

древесины и другого целлюлозосодержащего сырья: льняной и конопляной костры, соломы зерновых культур, подсолнечной лузги и др. В ряде стран (Англия, Словения, Чехия, Латвия и др.) были разработаны эффективные целлюлозосодержащие добавки. В СССР в 80-е годы прошлого столетия такие технологические обработки легли в основу производств в Архангельской, Вологодской, Кировской областях.

Обширные комплексные зоотехнические и ветеринарно-санитарные испытания осаждаемых кормов, а также практика использования в хозяйствах показали, что они являются высокоэнергетическим видом кормов и повышают удои на 8-12%, а также способствуют увеличению прибавки в весе животных.

Указанные корма можно брикетировать, гранулировать, прессовать, что позволяет создавать запасы длительно хранящегося высокоэнергетического корма. В условиях неблагоприятных погодных обстоятельств последнего времени для Российской Федерации сложился определенный дефицит указанной продукции для обеспечения стабильного развития животноводства.

Указанные корма эффективны также в использовании целым рядом звероводческих и откормочных рыбоводческих ферм и комплексов.

С учетом добавок в указанные корма семян льна масличного содержания или льняного жмыха (шрота) эффективность кормов значительно повышается в связи с наличием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), благотворно влияющих, например, на качество куриных яиц и повышение яйценоскости кур-несушек. При грануляции это дает возможность использования белково-углеродных кормов на целом ряде птицефабрик.

#### **Конкурентные преимущества предлагаемой технологии**

В бывшем СССР головной организацией в данной области был ЦНИИ комплексной автоматизации легкой промышленности (ЦНИИЛКА, ранее – ЦНИИ лубяных культур), который занимался проблемами переработки льна и выработки из этого сырья продукции. В связи с тем, что в этой культуре лишь 25-30% от массы сырья (волокна) использовалось в текстильной промышленности, для повышения рентабельности комплекса в целом проводились работы по переработке нетекстильной части этого сырья – короткого непрямого волокна и костры. Основные направления этих работ: производство нетканых тепло- и звукоизоляционных материалов, тепловыделяющих элементов (костробрикеты и пеллеты), строительных материалов (аналогов древесно-стружечных плит), кормов, а также химическая переработка. Учитывая, что короткое волокно и костра являются целлюлозосодержащими материалами, исследования были

направлены в основном на процессы выделения целлюлозы и ее производных (карбоксиметилцеллюлозу, микрокристаллическую целлюлозу, а также целлюлозу для дальнейшей химической переработки). Первые попытки получения льняной целлюлозы и ее дальнейшей переработки в нитроцеллюлозу были сделаны в 1980-е годы и были положительными. В то время постановка и решение такой задачи были обусловлены необходимостью переработки большого количества нетекстильных отходов. Однако ввиду необходимости серьезной модернизации технологического оборудования в химической промышленности работы в этом направлении были приостановлены.

В 1990-е годы в рамках федеральной программы «Лен – в товары России» эти работы были возобновлены ЦНИИЛКА (головная организация) и соисполнителями: Ивановским институтом химии растворов РАН и Казанским НИИ химической промышленности. После завершения программы работы продолжались под эгидой МО РФ с участием указанных организаций и фирмы «Этма-2» (руководитель – Ходырев В.И.). Были наработаны опытные партии целлюлозы требуемого химического состава. Тем не менее, до настоящего времени промышленная технология производства льняной (конопляной) целлюлозы путем комплексной переработки низкосортного волокна и костры (без ограничений по входным характеристикам исходного сырья), не уступающей по своим показателям хлопковой, не была отработана. В настоящее время с учетом повышения роли льняного сырья возобновление работ в данном направлении крайне актуально.

**Основные отличия предлагаемой технологии получения льняной целлюлозы от имеющихся** заключаются в способе подготовки исходного сырья (льняного, конопляного волокна и костры; льна (межеумка и кудряша), пеньки и отходов ее производства) путем применения малых магнитных полей; оригинальной технологии удаления органических примесей (лигнинов); в безсиликатной стабилизации перекисных растворов (с заменой силиката на новые стабилизаторы); в применении перекисно-каталитических методов обработки для ускорения процессов беления целлюлозы (без использования хлорсодержащих окислителей) с улавливанием катализаторов на выходе. В перспективе – полный отказ от новых катализаторов и стабилизаторов. В результате процесс выделения целлюлозы становится менее экологически вредным. Данная технология не предполагает (в отличие, например, от Казани, где содержание костры не должно превышать 4%) жестких ограничений по процентному содержанию костры. **Технология**

**практически всеядна** (процент по костре может достигать 30%), существуют результаты получения целлюлозы из одной костры, но они еще достаточно затратные. **Аналогов (равно как и конкурентов) предлагаемой технологии нет.** В части производства КМЦ основным отличием является изготовление продукции в твердой фазе. В части производства кормов аналогов предлагаемой технологии не имеется.

#### **Принципиальные схемы предлагаемой технологии**

Принципиальные схемы предлагаемой технологии отражают способы получения целлюлозы, медицинской ваты из короткого волокна льна, КМЦ, белково-углеводных кормов для животных – из костры.

Из одной тонны низкосортного короткого льняного волокна типа «двойка» получают 800 кг льняного очищенного волокна для производства целлюлозы и 200 кг отходов в виде костры. Далее из 800 кг очищенного волокна получают 600–650 кг целлюлозы (применительно к проекту – медицинской ваты), остальное в виде отходов уходит со стоками в очистные сооружения. 200 кг костры (результат первого передела очистки короткого волокна) уходит на дальнейшую переработку для получения КМЦ и белково-углеводных кормов для животных.

Из одной тонны костры (которая складывается из 200 кг костры, получаемой внутри самого производства, и 800 кг костры, дополнительно закупаемой в виде сырья извне) получается 900 кг КМЦ и 100 кг отходов, уходящих со стоками в очистные сооружения. Либо из одной тонны костры производится практически без отходов одна тонна белково-углеводных кормов для животных (в виде активно усвояемой формы полисахаридов). Указанные корма возможно использовать также в звероводческих и рыбоводческих откормочных фермах и комплексах.

Складывается следующее соотношение себестоимости и цены реализации 1 кг продукции в рублях: вата медицинская гигиеническая – 39/130; КМЦ – 47/80; белково-углеводные корма для животных – 4/10.

#### **Сырьевая база**

По данным Всероссийского научно-исследовательского и проектно-технологического института механизации льноводства (ГНУ ВНИПТИМЛ Россельхозакадемии) в России ежегодно вырабатывается 55–60 тыс. т волокна, еще столько же поставляется из-за рубежа. Потенциал же льняного рынка в России оценивается в 500 тыс. т волокна.

Оборотные средства сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий из-за диспаритета цен крайне ограничены и не дают

возможности не только провести технологическую и техническую модернизацию отрасли, но даже рассчитаться с сельхозпроизводителями за поставленное сырье, что ведет к дальнейшему сокращению посевных площадей. Однако в 2009 году льнозаводы сохранили объемы выработки льноволокна на уровне 2008 года, но в связи с остановкой ряда льняных текстильных предприятий, а также насыщенностью внутреннего рынка России импортными изделиями по официальной статистике на складах льнозаводов скопилось более 900 т длинного и 4500 т короткого льноволокна на сумму около 98.0 млн. руб. В частных хозяйствах запасы короткого волокна значительно больше: только в ст. Каневская Краснодарского края скопилось свыше 9000 т.

Резко уменьшились объемы отечественного льняного текстильного производства. Эта ситуация частично отражает конъюнктуру мирового рынка льняных изделий. Под влиянием кризиса, из-за падения спроса основные производства текстиля в Китае сокращают объемы или временно приостановили производство. Западно-европейские производители волокна также имеют значительные запасы нереализованного сырья.

Однако нужно иметь в виду, что конкурентоспособность российского льноволокна и в этих условиях может быть обеспечена прежде всего благодаря низкой себестоимости. Факторами снижения себестоимости российского льноволокна по сравнению с западноевропейским являются, во-первых, низкий земельный налог (в льносеющих странах ЕС он составляет около 1 тыс. долларов США на гектар), низкая стоимость рабочей силы (как минимум в 10 раз ниже, чем в странах ЕС), низкая стоимость отечественной сельскохозяйственной техники (в 3-10 раз ниже цен мирового рынка).

Благодаря этим факторам при соблюдении технологии возделывания льна себестоимость льносырья в России прогнозируется примерно вдвое ниже, чем в Западной Европе. Кроме того, меры, направленные на создание отечественной сырьевой базы и увеличение производства отечественной льнопродукции, намечены в принятых Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008-2012 годы, а также Целевой программе Минсельхоза «Развитие льняного комплекса России на 2008-2012 гг.». Переработка льносырья осуществляется на 115 действующих льнозаводах (примерно столько же законсервировано и не работает в силу разных причин), а переработка волокна – на 10 действующих льнокомбинатах. В качестве исходного сырья для предлагаемой технологии рас-

считается низкосортное короткое льняное волокно (так называемая «двойка», в основном из масличных сортов льна-межеумка и кудряша) и отходы в виде костры. В качестве сырьевой базы необходимо учитывать также частных производителей масличного льна, на использование результатов переработки которого в основном нацелена предлагаемая технология.

С одного гектара в среднем получают 3.3–3.9 т льняного волокна, 2.7–4.5 т конопляного волокна. Следует отметить, что за последние годы выведен ряд сортов льна и технической конопли, превышающих указанные характеристики на 15–20%. Применение этих сортов зависит от районирования РФ применительно к месту реализации проекта.

#### **Проблема отходов льнопереработки и альтернативные варианты их использования (эколого-экономический аспект)**

При переработке льняного и конопляного волокна у переработчиков возникает большая проблема отходов в виде костры (легкий и объемный материал), которая скапливается в огромных количествах рядом с местами переработки и практически не используется, а идет в отвалы или сжигается. Чтобы понимать размер бедствия, достаточно сказать, что из одной тонны короткого волокна традиционно получают не более 300–350 кг конечной продукции, а в большинстве случаев и того меньше. Все остальное идет в виде костры в отходы. Заявляемая технология позволяет полностью перерабатывать исходное сырье – короткое волокно, а также отходы – костру (получаемую в процессе переработки) в целлюлозу, медицинскую вату, КМЦ, белково-углеводные корма для животных.

Однако это не исчерпывает возможностей других способов переработки костры (получаемой как в процессе переработки исходного сырья в предлагаемой технологической цепочке, так и со стороны) для альтернативного производства котонина (заменителя хлопковой пряжи), сорбентов растительного происхождения, композиционных материалов, нетканых материалов, строительных материалов, утеплителей и топливных элементов (пеллет), выращивания грибов, компонентов удобрений. Существует более высокий передел переработки целлюлозы в КМЦ – получение микрокристаллической целлюлозы.

#### **Стратегия развития проекта**

Стратегия развития проекта разрабатывается и реализуется с учетом особенностей предлагаемой технологии.

На первом этапе в рамках инновационной фирмы предполагается отработать промышленную технологию производства льняной целлюлозы из низкосортного короткого волокна и отходов льнопереработки в рамках пилотного производства. По достижении запланированных результатов операционной деятельности проекту целесообразно придать статус

пилотного проекта (двухлетний период).

На втором этапе инновационная фирма выходит с предложением о включении в Стратегию комплексного развития льняной отрасли РФ по включению данного проекта в качестве пилотного производства для его апробации и тиражирования в рамках отрасли (подотрасли). В практическом плане это предполагает установку и размещение при действующих льнозаводах, льнокомбинатах, пеньковых фабриках, имеющих проблемы с утилизацией низкосортного сырья и отходов переработки, или в местах большого скопления такого сырья и отходов, пилотных производств с промышленной технологией их утилизации и переработки (2014 год).

На третьем этапе инновационная фирма начинает тиражирование пилотного производства в рамках осуществления инжиниринговых услуг:

- оценка качественных характеристик местного исходного сырья и отходов применительно к той или иной производственной площадке;
- расчет технико-экономического обоснования размещения пилотного производства и отработанной технологии с учетом условий той или иной производственной площадки (инфраструктура, инженерные сети, энергетика, очистные сооружения, здания и сооружения, наличие квалифицированных трудовых ресурсов и т. д.);
- адаптация отработанной технологии под местное сырье;
- проектирование пилотного производства;
- согласование проекта в надзорных инстанциях;
- заказ, доставка, монтаж, пуско-наладка оборудования;
- обучение и подготовка персонала пилотного производства;
- запуск пилотного производства, авторский надзор и сопровождение технологических процессов (период 2014–2016 гг. и далее).

Предполагается, что при осуществлении инжиниринговых услуг инновационная фирма сохраняет за собой все «ноу-хау» по отработанной технологии и постоянно их дорабатывает и совершенствует. Это относится также и к формированию заказов на поставку того или иного оборудования, включая специальное оборудование или оснастку.

На четвертом этапе (период конец 2015 года – начало 2016 года) инновационная фирма проводит необходимые уточнения в реализации стратегии развития проекта и приступает к подготовке запланированного выхода инвесторов из проекта:

- вариант выкупа доли инвесторов в проекте в соответствии с предложенным в начале реализации проекта опциона со стороны заявителей предлагаемой технологии (разработчиков и



владельцев интеллектуальной собственности);

- вариант приобретения доли инвесторов сторонними лицами, заинтересованными в бизнесе данной фирмы;

- вариант продажи «раскрученной» инновационной фирмы путем проведения дополнительной эмиссии акций фирмы. Распределение полученной прибыли пропорционально долям учредителей фирмы.

На всех этапах реализации стратегии развития проекта инновационная фирма активно расширяет объемы продаж, рынки сбыта производимой продукции и отработанной технологии, прилагает все усилия для максимального достижения цели проекта.

#### **План реализации проекта**

План реализации проекта охватывает пятилетний период с 2012 по 2016 год и состоит из следующих этапов:

1. Создание инновационной фирмы, уставный капитал которой сформирован в виде интеллектуальной собственности (патенты, изобретения, «ноу-хау», научно-техническая документация, регламенты, сертификаты и др.) и финансовых средств инвесторов.

2. Подбор производственной площадки, оформление имущественно-правовых вопросов в отношении указанной площадки применительно к инновационной фирме и проекту. Согласование с органами местной администрации и инженерными службами вопросов инфраструктуры (энергетика, связь, очистные сооружения, подъездные пути и др.), административных и производственных зданий и сооружений.

3. Предпроектные и проектные работы.

4. Заказ и приобретение необходимого технологического оборудования.

5. Доставка и монтаж заказанного технологического оборудования.

6. Формирование административно-управленческого и производственного персонала, заключение трудовых договоров и контрактов.

7. Пусконаладочные работы и закупка сырья на первый период работы фирмы.

8. Заключение договоров, соглашений, протоколов о намерениях на поставку производимой продукции. Развитие маркетинга фирмы.

9. Отработка предлагаемой промышленной технологии.

10. Формирование устойчивой системы поставок сырья и сбыта производимой продукции. Начало реализации плана по продажам.

11. Реклама по продвижению и тиражированию отработанной промышленной технологии на коммерческой основе заинтересованным потребителям; расширение инженеринговой деятельности фирмы.

12. Полная комплектация штатного персо-

нала фирмы.

13. Выход фирмы и, соответственно, проекта на запланированные максимальные показатели производственного плана и плана по продажам.

14. Реализация этапа выхода инвесторов из проекта.

#### **Состояние сектора применимости продукции**

Предприятия, производящие специзделия, заинтересованы в ежегодных поставках льняной целлюлозы для нитрации на сумму не менее 6 млрд. руб., медицинская и пищевая промышленность – на сумму не менее 1 млрд. руб., потребители новых композиционных материалов – на 60 млн. руб.

Внутренние потребности России в медицинской вате в настоящее время удовлетворены на 36%, недостаток компенсируется импортом. Несмотря на действующие производства существует острый дефицит в медицинской вате высокого качества.

Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) востребована в связи с подъемом развития нефтегазодобычи в РФ в части использования в больших объемах при осуществлении буровых работ.

Вторым по потенциальному потреблению КМЦ является строительный сектор, активно использующий данный продукт в виде различных стабилизаторов, клеев, для изготовления электродов и др.

КМЦ активно потребляется также при получении микрокристаллической целлюлозы, объемы потребления которой постоянно увеличиваются в связи с применением в качестве пищевых добавок и наполнителей.

Белково-углеводные корма для животных на растительной основе обладают очень хорошими перспективами по потенциальным потребителям: животноводческим откормочным комплексам, звероводческим и рыбоводческим хозяйствам, запросами крупных оптовиков в связи с резко ухудшившейся ситуацией с производством кормов после засухи 2010 года. Многие хозяйства в настоящее время вынуждены импортировать корма по завышенным ценам. В противном случае речь идет о преждевременном забое скота.

Благоприятная рыночная ситуация позволит быстро окупить затраты по формированию участка по производству кормов из льняной костры и сформировать устойчивую сбытовую сеть на пятилетнюю перспективу.

#### **Основные интегральные показатели проекта**

Общий объем инвестиционных вложений в проект оценивается в 120 млн. руб., в том числе инвесторы – 100 млн. руб. (83.33%) – в виде денежных средств, 20 млн. руб. (16.67%) –

заявители – в виде интеллектуальной собственности и части необходимого лабораторного и технологического оборудования.

Проект предлагается реализовать в рамках вновь создаваемой инновационной фирмы с минимальным уставным капиталом (например, 10 тыс. руб.). Далее выполняется независимая оценка интеллектуальной собственности, вносимой в качестве вклада в уставный фонд со стороны заявителей проекта, определяется объем инвестиций. Соответственно, структура управления фирмой и принятие решений будет формироваться с учетом размеров долей участников.

Финансовая модель – дефлированная, основана на прямом методе расчетов. Инвестиции – 100 млн. руб. в 2012 году. На конец 2015 года: выручка от продаж – 368.2 млн. руб., чистый денежный поток – 258.5 млн. руб., дисконтированный денежный поток (при ставке 20%) – 170.2 млн. руб., чистая дисконтированная прибыль – 66.5 млн. руб. Чистая дисконтированная прибыль за 4 года реализации проекта – 170.2 млн. руб. Срок окупаемости проекта – 4 года с момента инвестирования. NPV для инвесторов (при 20%) – 70.2 млн. руб. IRR – 53%. Мультипликатор – 2.59. Расчетная стоимость фирмы на 5-й год при выходе инвесторов из проекта – 574.5 млн. руб.

Проект рассматривается как пилотный и предполагается к реализации на базе одной из действующих пеньковых фабрик (льнозаводов), либо льносеющих хозяйств.

Основная прибыль проекта может быть получена как от реализации производимой продукции, так и от продажи сертифицированных технологий и тиражирования пилотного производства в Костромской, Саратовской, Тверской, Владимирской, Курганской и других областях, Краснодарском и Ставропольском краях, а также за рубежом России.

Параллельно может возникнуть прибыль от продажи (тиражирования) отработанной в рамках пилотного проекта промышленной технологии (расчетно – около 300 млн. руб.).

#### **4. Соответствие технологии, предлагаемой к реализации в рамках инновационного проекта, двенадцати основным принципам зеленой химии**

Анализ на соответствие предлагаемой технологии двенадцати основным принципам зеленой химии [1] выполнен к.э.н. Дюкаревым В.А. при участии одного из разработчиков технологии – к.т.н. Кочарова С.А. (табл. 3).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемая технология полностью соответствует критериям и принципам зеленой химии.
2. Технология может быть отработана и

внедрена в промышленное производство на основании проектного похода путем создания инновационной фирмы.

3. Результаты технико-экономического обоснования проекта «Льняная целлюлоза», а также интегральные показатели проекта свидетельствуют о перспективности и высокой рентабельности предлагаемой технологии, ее эколого-экономическом аспекте.

4. Реализация проекта в качестве пилотного на одном из предприятий переработки лубяных культур позволит не только отработать промышленную технологию, но и послужить отправной точкой для перевооружения и переснащения всей подотрасли комплексной переработки льна или конопли.

5. Комплексное перевооружение и переснащение отрасли, в свою очередь, создаст новые производственные мощности по созданию технологического оборудования и линий, новых рабочих мест, затронет вопросы импортозамещения, рационального использования растительного сырья, создания эффективной альтернативы использованию хлопка и древесины.

6. Предлагаемая технология может явиться одним из направлений в деятельности МИТХТ по формированию кластера «Зеленая химия», методологического подхода в вопросах экологической безопасности химических исследований, работ и процессов. В этом отношении зеленая химия схожа с инноватикой, пронизывающей многие отрасли знаний.

7. Реализация указанного проекта может представлять практический интерес для МИТХТ и других технологических вузов химического профиля с участием, например, Российской венчурной компании в лице Биофонда, а также инвестиционных фондов, ориентированных на внедрение прогрессивных технологий с целью структурных преобразований в отраслях (подотраслях) российской экономики, обеспечения национальных интересов по импортозамещению стратегически важных источников растительного сырья и продуктов их переработки.

8. Перспективы проекта с учетом имеющейся интеллектуальной собственности и накопленного опыта связаны с комплексной переработкой не только стебля и волокна льна, но и технической конопли, переработкой льняного (конопляного) семени с целью получения высококачественного масла как пищевого, так и медицинского назначения, а также полной переработки льняного (конопляного) шрота в различного рода биологические и пищевые добавки. Включение направления по комплексной переработке семян в состав предлагаемой технологии повышает эффективность ее внедрения как минимум на 50%.

Таблица 3. Соответствие предлагаемой технологии двенадцати принципам зеленой химии.

№ п/п	Содержание принципа	Соответствие предлагаемой технологии конкретному принципу	Примечание
1	Лучше предотвратить потери, чем перерабатывать и чистить остатки	Предлагаемый пакет технологий предполагает полную переработку стебля лубяных культур, включая древообразную часть стебля (в настоящее время используется как топливо или поступает в отвалы), а также низкосортного волокна, экономическая эффективность использования которого может быть существенно повышена за счет выпуска рентабельной продукции.	Указанная технология позволит утилизировать стебли масличных культур, которые сжигаются на полях.
2	Методы синтеза надо выбирать таким образом, чтобы все материалы, использованные в процессе, были максимально переведены в конечный продукт.	Суммарная конверсия растительного сырья и химических материалов в конечный продукт составляет 60-70%.	При производстве аналогичной продукции из древесины этот показатель не превышает 40%.
3	Методы синтеза надо выбирать так, чтобы используемые и синтезируемые вещества были как можно менее вредными для человека и окружающей среды.	Используемое сырье является природным растительным продуктом и не наносит вред человеку и окружающей среде. Используются нетоксичные химические материалы, которые полностью разлагаются с выделением опять же нетоксичных продуктов или нейтрализуются.	
4	Создавая новые химические продукты, надо стараться сохранить эффективность работы, достигнутую ранее, при этом токсичность должна уменьшаться.	При производстве продукции используются нетоксичные продукты, их эффективность и реакционная способность повышаются за счет современных физических методов. При этом токсичность устраняется.	Токсичность устраняется за счет отказа от хлорсодержащих окислителей.
5	Вспомогательные вещества при производстве, такие, как растворители или разделяющие агенты, лучше не использовать совсем, а если это невозможно, их использование должно быть безвредным.	Не используются	
6	Обязательно следует учитывать энергетические затраты и их влияние на окружающую среду и стоимость продукта. Синтез по возможности надо проводить при температуре, близкой к температуре окружающей среды, и при атмосферном давлении.	Энергетические затраты (температура, давление) минимизируются за счет низкоэнергоемких физических методов интенсификации химических и технологических процессов.	
7	Исходные и расходные материалы должны быть возобновляемыми во всех случаях, когда это технически и экономически выгодно.	Исходные и расходные материалы возобновляемы.	
8	Где возможно, надо избегать получения промежуточных продуктов.	При обработке сырья используются только одностадийные процессы.	
9	Всегда следует отдавать предпочтение каталитическим процессам.	Катализаторы не используются в связи со сложностью очистки от них сточных вод.	
10	Химический продукт должен быть таким, чтобы после его использования он не оставался в окружающей среде, а разлагался на безопасные продукты.	Используемые химические материалы – нетоксичны и полностью разлагаются с выделением нетоксичных продуктов или с тем же результатом нейтрализуются.	
11	Нужно развивать аналитические методики, чтобы можно было следить в реальном времени за образованием опасных продуктов.	Методики контроля технологического процесса и параметров продукции – стандартные. Оборудование – промышленное.	
12	Вещества и формы, используемые в химических процессах, нужно выбирать таким образом, чтобы риск химической опасности, включая утечки, взрыв и пожар, были минимальными.	Взрыво- и пожароопасные вещества не используются. Химические соединения используются при невысоких концентрациях, и утечка реакционных растворов легко устраняются.	

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Anastas P.T., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice. – New York: Oxford University Press, 1998. P. 30.
2. Дюкарев В.А. КП НТП СЭВ: проектный подход // Проблемы теории и практики управления. 1988. № 1. С. 61–65.
3. Дюкарев В.А. Венчурный капитал и инновации. – М.: ЦИСН, 1999. 128 с.
4. Бизнес-план и краткое ТЭО инновационного проекта «Льняная целлюлоза». – М.: ООО «РИКО-КОНСАЛТИНГ», 2011. 80 с.
5. Пивень Т.В., Ходырев В.И. О влиянии спутников целлюлозы льна на его стойкость к микробиологическому разрушению // Химия древесины. 1988. № 1. С. 106–111.