

**Информация о проекте, выполненного в рамках
ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям
развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020
годы»**

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: № 14.577.21.0070 от 05 июня 2014 г.

Тема: «Разработка основ технологии получения энергонасыщенных продуктов из лигноцеллюлозного сырья путем окислительной и радиационной предобработки и последующего кислотного гидролиза»

Приоритетное направление: «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика»

Критическая технология: «Технологии новых и возобновляемых источников энергии, включая водородную энергетику»

Период выполнения: 05.06.2014 г.–31.12.2016 г.

Исполнитель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (кафедра физической и коллоидной химии)

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью "Центр Высоких Технологий"

Ключевые слова: Предобработка, лигноцеллюлозное сырье, фурановые соединения, кислотный гидролиз, радиационная предобработка, топлива

Научный руководитель: Винокуров Владимир Арнольдович

1. Цель прикладного научного исследования:

Разработка новой эффективной технологии переработки непищевого растительного сырья в различные энергонасыщенные продукты как топливного (спирт, 2,5-диметилфуран), так и иного назначения (фурфуроловый спирт, пироксизевая кислота, этанол, фурфурол, 5-гидрокси-метилфурфурол) путем окислительной и радиационной предобработки и последующего кислотного гидролиза.

На этапе № 1 в период с 05.06.2014 по 31.12.2014 г. были проведены следующие работы:

- аналитический обзор информационных источников;
- проведение патентных исследований по ГОСТ 15.011-96;
- обоснование и выбор оптимального направления исследований;
- теоретические исследования процессов окислительной и радиационной предобработки растительного сырья;
- теоретические исследования факторов, влияющих на качество

предобработанного растительного субстрата и его гидролизата;

- разработка методики радиационной предобработки растительного сырья;

- разработка методики окислительной предобработки растительного сырья;

- разработка программы экспериментальных исследований получения энергонасыщенных продуктов из непищевого растительного сырья;

- наработка экспериментальных образцов радиационно-предобработанных растительных субстратов;

- наработка экспериментальных образцов окислительно-предобработанных растительных субстратов и экспериментальных образцов водорастворимых продуктов окислительной предобработки сырья, в том числе закупка или аренда необходимого технологического и контрольно-измерительного оборудования для их наработки;

- разработка блок-схемы управления технологическим процессом получения этанола из непищевого растительного сырья, проведение анализа рынка биотехнологического оборудования для получения и выделения этанола, экспериментальные исследования стимулирования роста сельскохозяйственных растений водорастворимыми продуктами окислительной предобработки сырья в лабораторных условиях.

На этапе № 2 в период с 01.01.2015 г. по 30.06.2015 г. были проведены следующие работы:

- экспериментальные исследования процессов получения фурфурола и 5-гидроксиметилфурфурола (ГМФ) из непищевого растительного сырья;

- экспериментальные исследования процессов получения фурановых производных из фурфурола и ГМФ;

- разработка эскизной конструкторской документации на блок ректификации для лабораторной установки получения биоэтанола из непищевого растительного сырья;

- разработка эскизной конструкторской документации на блок CO₂-стриппинга для лабораторной установки получения биоэтанола из непищевого растительного сырья;

- разработка эскизной конструкторской документации на блок первапарации для лабораторной установки получения биоэтанола из непищевого растительного сырья;

- разработка лабораторного регламента получения фурфурола из непищевого растительного сырья;

- изготовление блока ректификации и блока CO₂-стриппинга для лабораторной установки получения биоэтанола из непищевого растительного сырья;

- наработка экспериментальных образцов радиационно-предобработанных растительных субстратов;

- проведение экспериментальных исследований методов выделения ГМФ из реакционной смеси после проведения каталитической конверсии непищевого растительного сырья, в том числе закупка или аренда необходимого технологического или контрольно-измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований;

- апробация технологий радиационной предобработки непищевого растительного сырья при различных комбинациях доз и температуры для деструкции сырья с целью повышения выхода целевых продуктов.

На этапе № 3 в период с 01.07.2015 г. по 31.12.2015 г. были проведены следующие работы:

- разработка лабораторного регламента получения ГМФ из непищевого растительного сырья;

- разработка лабораторного регламента получения 2,5-диметилфурана из фурфурольной фракции, полученной путем конверсии непищевого растительного сырья;

- разработка лабораторного регламента получения фурфурилового спирта из фурфурольной фракции, полученной путем конверсии непищевого растительного сырья;

- разработка лабораторного регламента получения пироглиевой кислоты из фурфурольной фракции, полученной путем конверсии непищевого растительного сырья;

- разработка лабораторного регламента получения дегидроглиевой кислоты из фурфурольной фракции, полученной путем конверсии непищевого растительного сырья;

- проведение дополнительных патентных исследований для защиты интеллектуальных результатов проводимой ПНИ;

- проведение экспериментальных исследований физико-химических свойств полученных фурановых соединений (определение свойств 2,5-диметилфурана как перспективной добавки к моторному топливу, исследование процессов полимеризации дегидроглиевой кислоты), в том числе закупка или аренда необходимого технологического и контрольно-измерительного оборудования для проведения экспериментальных исследований;

- анализ требований нормативной документации к оборудованию и помещениям для реализации технологий радиационной предобработки непищевого растительного сырья. Экспериментальные исследования стимулирования роста сельскохозяйственных растений водорастворимыми продуктами окислительной предобработки сырья на опытно-экспериментальных участках.

На этапе № 4 в период с 01.01.2016 г. по 30.06.2016 г. были проведены следующие работы:

- проведены экспериментальные исследования способов получения

стимуляторов роста растений из экспериментальных образцов водорастворимых продуктов окислительной предобработки сырья.

- проведены экспериментальные исследования получения этанола из гидролизатов предобработанного непищевого растительного сырья на лабораторной установке получения биоэтанола из непищевого растительного сырья.

- наработаны экспериментальные образцы окислительно-предобработанных растительных субстратов и экспериментальных образцов водорастворимых продуктов окислительной предобработки сырья для проведения исследовательских испытаний.

- разработана Программа и методики исследовательских испытаний экспериментальных образцов окислительно-предобработанных растительных субстратов и экспериментальных образцов водорастворимых продуктов окислительной предобработки сырья.

- наработаны экспериментальные образцы радиационно-предобработанных растительных субстратов.

- изготовлен первапорационный блок для лабораторной установки получения биоэтанола из непищевого растительного сырья.

За счет внебюджетных средств:

- проведены экспериментальные исследования физико-химических свойств полученных фурановых соединений (изучение фунгицидной и бактерицидной активности пироглишевой кислоты и полимеризации фурфуролового спирта), в том числе арендовано (внутренняя аренда) необходимое технологическое и контрольно-измерительное оборудование для проведения экспериментальных исследований.

- за счет средств индустриального партнера: разработаны предложения по оптимизации процессов предобработки непищевого растительного сырья; проведены экспериментальные исследования способов утилизации барды из гидролизата непищевого растительного сырья.

На этапе № 5 в период с 07.01.2016 г. по 31.12.2016 г. были проведены следующие работы:

- проведены экспериментальные исследования процесса получения этанола из гидролизатов непищевого растительного сырья с применением первапорационного выделения продуктов.

- разработано технико-экономическое обоснование разработки продукции, технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера – организации реального сектора экономики.

- проведена корректировка лабораторных регламентов по результатам экспериментальных исследований.

- проведено обобщение результатов исследований.

- проведена оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем.

- проведена оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей ПНИ.

За счет внебюджетных средств:

- разработан проект технического задания на проведение ОТР по теме: «Разработка технологии конверсии непищевого растительного сырья в энергонасыщенные продукты и производные фурана с высокой добавленной стоимостью».

- проведены исследовательские испытания экспериментальных образцов окислительно-предобработанных растительных субстратов и экспериментальных образцов водорастворимых продуктов окислительной предобработки сырья, в том числе арендовано (внутренняя аренда) необходимое технологическое и контрольно-измерительное оборудование для проведения экспериментальных исследований.

- за счет средств индустриального партнера: проведена апробация оптимизированной опытно-экспериментальной технологии для радиационной предобработки непищевого растительного сырья; проведены экспериментальные исследования стимулирования роста сельскохозяйственных растений водорастворимыми продуктами окислительной предобработки сырья на полевых участках.

2. Основные результаты по проекту:

1) Основные характеристики полученных результатов.

1 этап: Проведен анализ исследуемой проблемы с использованием современных научно-информационных источников (108 источников, в том числе 54 источника за период 2009-2014 гг.). Проведены патентные исследования в области методов предобработки и кислотного гидролиза целлюлозосодержащего сырья с последующим получением энергонасыщенных продуктов. Анализ мирового опыта в исследуемой области по научным и научно-техническим источникам показал, что среди возможных методов предобработки целлюлозосодержащих материалов для последующего получения высокоэнергетических продуктов наиболее перспективным является метод предобработки ионными жидкостями – низкотоксичными малолетучими растворяющими агентами. Также среди перспективных методов предобработки лигноцеллюлозного сырья можно отметить процессы окисления растительного сырья во влажной среде (wet-oxidation), каталитического окисления перекисью водорода в водной среде, а также радиационную предобработку. В ходе I этапа работ по проекту были разработаны методики предобработки растительного сырья путем γ -облучения, а также мягкого окисления пероксидом водорода в присутствии коллоидного катализатора на основе оксида железа (III). Кроме того, были

наработаны экспериментальные образцы радиационно предобработанных и окислительно предобработанных растительных субстратов.

2 этап: Было установлено, что наибольший выход фурфурола и ГМФ (45,1 % и 62,8 %, соответственно) достигается при использовании в качестве сырья облученных с дозой 100 кГр и подвергнутых окислению пероксидом водорода сосновых опилок. При исследовании процессов получения фурановых производных из фурфурола и ГМФ были получены фурфуриловый спирт, пироглициевая кислота, 2,5-диметилфуран и дегидроглициевая кислота с выходами 74 %, 76 %, 49 % и 85 %, соответственно. Был разработан лабораторный регламент получения фурфурола из непищевого растительного сырья, обеспечивающий выход фурфурола не менее 30 %. Были наработаны экспериментальных образцов радиационно-предобработанных растительных субстратов (с дозами облучения 10 кГр, 30 кГр, 50 кГр). Проведена апробация технологий радиационной предобработки непищевого растительного сырья при различных комбинациях доз и температуры для деструкции сырья с целью повышения выхода целевых продуктов. Было установлено, что с увеличением поглощенной дозы радиации снижается молекулярная масса целлюлозных цепей.

3 этап: Основные характеристики полученных результатов. Разработаны: лабораторный регламент получения ГМФ из непищевого растительного сырья, лабораторные регламенты получения 2,5-диметилфурана, фурфурилового спирта, пироглициевой кислоты и дегидроглициевой кислоты из фурфурольной фракции, полученной путем конверсии непищевого растительного сырья. Проведены дополнительные патентные исследования для защиты интеллектуальных результатов проводимой ПНИ. Проведены экспериментальные исследования физико-химических свойств полученных фурановых соединений. Установлено, что полученные образцы 2,5-диметилфурана обладают высокими топливными показателями (октановое число 102,5 по исследовательскому методу, давление насыщенного пара - 71 мм рт. ст. при 25 °С). Установлено, что экспериментальные образцы обладают очень низкой растворимостью в воде (1,23 мг/мл при 25 °С). Проведены экспериментальные исследования процессов получения полимеров дегидроглициевой кислоты с диолами. В ходе исследований удалось получить полиэфир с этиленгликолем, пропандиолом-1,3, бутандиолом-2,3 с выходами 90, 87, 88 % соответственно. Молекулярная масса полученных полимеров составляла от 16000 до 18000 ед. В результате экспериментальных исследований стимулирования роста сельскохозяйственных растений водорастворимыми продуктами окислительной предобработки сырья установлено, что прорастание и развитие стебля, листьев и плодов идет более быстро и эффективнее у растений различных родов (пасленовые, тыквенные, зонтичные), пророщенных из семян, обработанных продуктами переработки

сельскохозяйственного растительного непищевого сырья.

4 этап: Было установлено, что из различных видов сырья могут быть получены стимуляторы роста растений как в виде сухих препаратов, так и в виде жидких концентратов, при этом последние предпочтительнее ввиду полной растворимости в воде. Лучшие результаты по выделению этанола показала мембрана из полидиметилсилоксана. Установлено, что заметной фунгицидной активностью не обладают ни пирогликолевая, ни дегидрогликолевая кислоты, ни продукты окисления целлюлозы и ксилана. Наибольшая бактерицидная активность наблюдается для пирогликолевой кислоты (МИК 0,22 и 0,11 мг/л по отношению к *M. luteus* и *B. mycoides*, соответственно). Поли(фурфуриловый спирт) был получен и охарактеризован на ГПХ: средняя молекулярная масса составила около 1 800 а.е.м. Способы утилизации барды: создание смешанных комбикормов, получение целлюлаз при выращивании на барде грибов-продуцентов. Наибольшая активность наблюдается при выращивании на барде из гидролизатов соломы пшеницы и сосновых опилок грибов *F. velutipes* МТ-3.03 (0,22 и 0,12 IU/мл), а также *F. fomentarius* МТ-4.05 (0,10 и 0,13 IU/мл). ЭО радиационно-предобработанных растительных субстратов представляют собой высушенную солому пшеницы с дозами 100 кГр, 200 кГр, 300 кГр. Блок первапарации состоит из мембранного блока, перистальтического насоса, подающего свежую смесь и отводящего ретентат, нагревающего и охлаждающего термостатов. Предложения по оптимизации процессов предобработки непищевого растительного сырья направлены на более эффективную радиационную предобработку сырья.

5 этап: Проведены экспериментальные исследования процесса получения этанола из гидролизатов непищевого растительного сырья с применением первапарационного выделения продуктов. Наилучшие результаты достигаются при совместном использовании СО₂-стриппинга и первапарации: при обработке на первапарационном блоке отгона, полученного с блока стриппинга, достигается содержание спирта в пермеате свыше 560 г/л. Разработано технико-экономическое обоснование разработки продукции, технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера – организации реального сектора экономики. Установлено, что наиболее эффективно использование результатов проекта для производства и реализации стимуляторов роста растений в рамках деятельности малого предприятия. Проведена корректировка лабораторных регламентов по результатам экспериментальных исследований. Внесены изменения в регламенты получения 2,5-диметилфурана (стадии ВР.4, ТП.2, ТП.5), получения фурфурилового спирта (стадия ТП.2), получения дегидрогликолевой кислоты (стадия ТП.3). Проведено обобщение результатов исследований. Проведена оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным

научно-техническим уровнем. Установлено, что из перспективных результатов ПНИ на уровне лучших мировых образцов находятся получение стимуляторов роста растений и комплексная радиационная-окислительная предобработка лигноцеллюлозного сырья. Выделение этанола из отгона стриппинга может быть выведено на уровень лучших мировых результатов при условии разработки и применения специальных мембран. Проведена оценка полноты решения задач и достижения поставленных целей ПНИ. Работы выполнены в соответствии с требованиями Технического задания, все задачи ПНИ решены.

2) Оценка элементов новизны научных (технологических) решений, применявшихся методик и решений. В ходе работы впервые проведена комбинированная радиационная и окислительная предобработка лигноцеллюлозного сырья с последующим кислотным гидролизом и сбраживанием полученных гидролизатов, а также охарактеризована активность в качестве стимуляторов роста растений водорастворимых продуктов окислительной предобработки сырья.

Описание областей применения полученных результатов. Выполнение ПНИ позволит разработать инновационный метод предобработки растительного целлюлозосодержащего сырья. Результаты ПНИ будут способствовать разработке новых технологий переработки непищевого растительного сырья в ценные продукты как топливного (спирт, 2,5-диметилфуран), так и иных назначений (стимуляторы роста растений).

Выявлены наиболее перспективные для проведения дальнейших работ результаты: выделение этанола из отгона стриппинга путем первапарации, предобработка лигноцеллюлозного сырья для получения композитных материалов на основе целлюлозы, получение стимуляторов роста растений.

3) Подтверждение соответствия полученных результатов требованиям к выполняемому проекту. Успешно выполнены все работы, предусмотренные Техническим заданием и планом-графиком: проведен ряд экспериментальных исследований. Экспериментальные образцы наработаны в требуемом объеме, а первапарационный блок позволил получить спирт-сырец с содержанием этанола свыше 250 г/л. Поставленные на данном этапе работ задачи выполнены полностью.

Внедрение результатов ПНИ обеспечит существенное увеличение реакционной способности возобновляемого растительного сырья для его последующей переработки, снижение экологической нагрузки за счет новых методов предобработки возобновляемого сырья, создание экспериментально-теоретической базы для развития нового направления по переработке непищевого возобновляемого сырья в полезные продукты, а также повышение экономической эффективности использования непищевого

растительного сырья.

4) Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень. Разработка интегральной технологии получения как топливных продуктов (этанол, 2,5-диметилфуран), так и продуктов с высокой добавленной стоимостью (пироглизиновая кислота, дегидроглизиновая кислота) из непищевого растительного сырья соответствует современным представлениям о структуре предприятий будущего, производящих биотоплива (концепция biorefinery). Изготовление блоков выделения этанола позволит проводить комплексное выделение этанола из бражки за счет одновременного использования различных принципов разделения воды и спиртов, что также соответствует мировому уровню технологий получения этанола.

В ходе выполнения работ были выпущены (или подготовлены к выпуску) следующие статьи:

1. А.В. Голышкин, А.А. Литвин, Я.А. Масютин, В.А. Винокуров «Получение 5-гидроксиметилфурфурола из фруктозы в водно-органических средах» // Химия и технология топлив и масел, №4 за 2014 год (Synthesis of 5-hydroxymethylfurfuraldehyde from fructose in aqueous-organic media // Chemistry and technology of fuels and oils Том: 50 Выпуск: 6 Стр.: 472-474 Опубликовано: JAN 2015).

2. A. Golyshkin, N. Almyasheva, Ia. Masiutin, A. Litvin, D. Melnikov, A. Novikov, V. Vinokurov. Comparison of surface areas of dry and wet lignocellulose before and after various pretreatments // Chem. Listy, 108, 1095-1097 (2014).

3. Литвин А.А., Масютин Я.А., Новиков А.А., Винокуров В.А. (2015) Исследование влияния различных методов предобработки целлюлозосодержащего сырья на степень кристалличности целлюлозы // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2015. № 1 (278). С. 121-129. <http://elibrary.ru/item.asp?id=23491630>.

4. Альмяшева Н.Р., Новиков А.А., Кожевникова Е.Ю., Голышкин А.В., Барков А.В., Винокуров В.А. (2015) Получение биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья с помощью ксилотрофных базидиомицетов // Химия и технология топлив и масел. – 2015. – №5. – С.59-64. (Ethanol Production from Lignocellulosic Biomass Using Xylotrophic Basidiomycetes // Chemistry and technology of fuels and oils Том: 51 Выпуск: 5 Стр.: 516-525 Опубликовано: NOV 2015).

5. Кожевникова Е.Ю., Бескоровайна Д.А., Копицын Д.С., Новиков А.А., Шнырева А.В., Барков А.В., Винокуров В.А. (2016) Новые штаммы базидиальных грибов – продуценты этанола из лигноцеллюлозного сырья // Прикладная биохимия и микробиология (New Strains of Basidiomycetes that Produce Bioethanol from Lignocellulose Biomass // Applied biochemistry and microbiology Том: 52 Выпуск: 6 Стр.: 638-642 Опубликовано: NOV 2016).

6. Khlebnikov, V.N. , Antonov, S.V., Khamidullina, I.V., Liang, M., Vinokurov, V.A., Semenov, A.P., Gushchin, P.A. Laboratory investigation of high pressure air injection (HPAI) oil recovery method (Article) // Shiyou Huagong Gaodeng Xuexiao Xuebao/Journal of Petrochemical Universities. Volume 29, Issue 5, 1 October 2016, Pages 26-37.

7. Iakov A. Masiutin, Alexander V. Golyshkin, Artem A. Litvin, Andrei A. Novikov, Mikhail S. Kotelev, Evgenii V. Ivanov and Vladimir A. Vinokurov Pretreatment of cellulosic substrates by acetate- and chloride-based ionic liquids and their mixture // Cellulose Chemistry and Technology, ISSN 0576-9787 (2017, in press, Article ID: 1743).

8. Е. Ю. Кожевникова, Д. А. Петрова, А. А. Новиков, А. В. Шнырева, А. В. Барков, В. А. Винокуров Перспективы использования новых штаммов базидиальных грибов для прямой конверсии лигноцеллюлозного сырья в биоэтанол // Прикладная биохимия и микробиология. – 2017, № 5 (Applied biochemistry and microbiology, in press).

Результаты исследований были представлены на конференциях:

1. 10th International Conference on Polysaccharides-Glycoscience, 22- 24 October, 2014, Prague, Czech Republic.
2. Отчетная конференция ФЦПИР 2014-2020 в Университете машиностроения МАМИ 27 ноября 2014 г. (докладчик – ответственный исполнитель, к.х.н., м.н.с. М.С. Котелев).
3. XXI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», Москва, Россия (докладчики – А.В. Гольшкин, тема доклада «Сравнение площади доступной поверхности лигноцеллюлозного сырья до и после предобработки различными методами» и Кожевникова Е.Ю. «Базидиальные грибы – перспективные продуценты биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья»).
4. Практические аспекты использования базидиальных грибов в технологиях производства биоэтанола Кожевникова Е.Ю., Петрова Д.А., Новиков А.А., Барков А.В., Винокуров В.А. Международная выставка химической промышленности и науки «Химия 2016» (<http://www.chemistryexpo.ru/ru/history/khimia2016/events/>).
5. Перспективы использования базидиальных грибов в СВР-технологиях получения биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья Кожевникова Е.Ю. XI Межрегиональная научно-техническая конференция молодых специалистов ПАО «НК «Роснефть» (<https://www.rosneft.ru/press/news/item/184347/>).
6. Участие в научно-практических конференциях по итогам реализации в 2015 году прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по приоритетным направлениям в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным

направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» в рамках национальной выставки ВУЗПРОМЭКСПО-2015 и ВУЗПРОМЭКСПО-2016 (<http://vuzpromexpo.ru>).

7. Перспективы использования базидиальных грибов для прямой конверсии лигноцеллюлозного сырья в биоэтанол Кожевникова Е.Ю., Барков А.В., Бескоровайная Д.А., Винокуров В.А. (Материалы III Международного микологического форума. Москва. 14 – 15 апр. 2015 г. М.: Нац. акад. микол. 2015. Том 5. 432 с.).
8. Процесс получения метил- и диметилфурана из лигноцеллюлозного сырья // Международная техническая ярмарка (Болгария, г. Пловдив) с 28 сентября по 3 октября 2015 г. (Collective Exhibition of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation).

По результатам исследований и разработок были поданы патентные заявки:

- от 29.12.2015 г. на изобретение «Штамм базидиального гриба *Trametes hirsuta*», входящий № 087534, регистрационный № 2015156815;
- от 21.12.2016 г. на изобретение «Штамм базидиального гриба *Trametes hirsuta* – продуцент этилового спирта», входящий № 080987, регистрационный № 2016150491;
- от 30.12.2016 г. на изобретение «Способ получения стимулятора роста растений», входящий № 084435, регистрационный № 2016152701.

Существующие или возможные формы коммерциализации полученных результатов. В ходе проекта могут быть запатентованы и коммерциализированы: способ переработки непищевого растительного сырья, новые штаммы продуцентов этанола, способ выделения этанола из бражки. Коммерциализация результатов ПНИ планируется через лицензирование РИД Индустриальным партнером или же через создание нового малого предприятия совместно с Индустриальным партнером.

Реализация проекта позволила создать научно-технический задел для проведения ОТР, результатом которых станет технология получения ряда продуктов топливного и иного назначения из непищевого растительного сырья.