

Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 5/итоговый

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.576.21.0083

Тема: «Разработка мобильной медицинской системы для индивидуальной электрофизиологической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, основанной на использовании современных алгоритмов цифровой обработки сигналов и распознавания образов.»

Приоритетное направление: Информационно-телекоммуникационные системы (ИТ)

Критическая технология: Технологии информационных, управляющих, навигационных систем

Период выполнения: 28.11.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 32.43 млн. руб.

Бюджетные средства 14.46 млн. руб.,

Внебюджетные средства 17.97 млн. руб.

Получатель: Общество с ограниченной ответственностью «Нордавинд-Дубна»

Ключевые слова: ХОЛТЕР, АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ, БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ, ВЫЯВЛЕНИЕ НАРУШЕНИЙ РИТМА, ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПАТОЛОГИЙ, АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ, ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ, ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА, СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ СМЕРТНОСТИ ОТ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ.

1. Цель проекта

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) – это заболевания, развивающиеся скрыто на протяжении всей жизни и прогрессирующие в хроническую стадию к тому времени, когда появятся симптомы. Всемирная организация здравоохранения заявила, что более трех четвертей случаев смерти от ССЗ можно предотвратить с помощью соответствующих изменений в образе жизни. Профилактика ССЗ, оставаясь основной проблемой для населения в целом, а также для политиков и работников здравоохранения, определяется как скоординированный набор действий на общественном и индивидуальном уровне, направленный на устранение и минимизацию случаев возникновения ССЗ и связанной с ними инвалидности. Низкая эффективность существующих медицинских услуг, снижение количества лечебно-профилактических учреждений и их недостаточная оснащенность, с одной стороны, и высокая заинтересованность населения в повышении качества и доступности медицинских услуг для профилактики и лечения ССЗ – с другой, делают актуальным постановку задачи внедрения систем персональной диагностики ССЗ.

Научная цель проекта состоит в разработке, исследовании и программной реализации алгоритмов выявления патологий сердечно-сосудистой системы, связанных с различными нарушениями сердечного ритма, основанных на использовании современных способов цифровой обработки сигналов и распознавания образов. Отдельную область исследований представляет собой изучение вариабельности сердечного ритма, разработка ее математической модели с целью прогнозирования появления и развития патологий. Технологическая цель проекта состоит в обеспечении максимального использования существующих и доступных массовому потребителю технологий, в т. ч. технологий мобильных вычислений и беспроводных технологий передачи данных.

Социальная цель проекта заключается в повышении эффективности лечения и снижении уровня смертности от сердечно-сосудистых заболеваний за счет обеспечения их доврачебной индивидуальной диагностики на ранней стадии, в т. ч. Среди людей со средним и низким достатком.

Цели выполнения ПНИ:

- 1) Создание экспериментального образца программного обеспечения (далее – ЭО ПО) на основе полученных результатов исследований по направлениям, соответствующим мировым трендам развития области информационных технологий, а именно программного обеспечения (ПО) для индивидуальной электрофизиологической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний в автоматическом режиме для персонального компьютера и мобильных платформ iOS и Android.
- 2) Разработка математической модели патологий сердечно-сосудистой системы и нарушений сердечного ритма.
- 3) Разработка алгоритма автоматического анализа электрокардиограмм (ЭКГ) на предмет определения основных

физиологических параметров и нарушений сердечного ритма, основанного на математическом аппарате распознавания образов

2. Основные результаты проекта

В рамках настоящего соглашения разработаны многокритериальные методы сглаживания сигналов измерительных комплексов и систем автоматического управления, получено аналитическое выражение для определения отклика на δ -функцию устройства, предложено решение разработанных способов на основе метода наискорейшего спуска и неитерационного решения. На основе предложенного алгоритма разработан программный комплекс первичной обработки цифровых сигналов. Разработаны структурные схемы последовательно-параллельного и параллельного устройства сглаживания многокритериальными способами. Произведён расчёт требуемых элементарных действий для их реализации в виде цифрового фильтра. Даны рекомендации по выбору параметров разработанных способов (δ), при которых значение среднеквадратической погрешности является минимальным. Разработан алгоритм обработки цифровых сигналов по мере поступления данных. Показано, что при использовании такого алгоритма удалось снизить значение δ в среднем на 30 %. Для разработанного алгоритма выработаны требования к выбору ширины окна сглаживания и шагу его перемещения.

Разработан метод поиска патологий сердца и сердечно-сосудистой системы, проводимый по анализу электрокардиограмм, который основан на исследовании трёх критериев, осуществляющий поиск заболевания.

Новые методы были использованы при разработке алгоритма и программного обеспечения мобильной медицинской системы для индивидуальной электрофизиологической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Разработана математическая модель патологий сердечно-сосудистой системы и нарушений сердечного ритма, предназначенная для создания формальных описаний патологий и нарушений, основанных на измерительных данных ЭКГ, оцифрованных с частотой не менее 500 Гц.

Математическая модель патологий сердечно-сосудистой системы и нарушений сердечного ритма описывает:

- 1) гипертрофию миокарда;
- 2) нарушения ритма:
 - а) синусовую тахикардию;
 - б) синусовую брадикардию;
 - в) синусовую аритмию;
 - г) нарушения нижнепредсердного ритма;
 - д) атриовентрикулярного ритма;
 - е) идиовентрикулярного ритма;
 - ж) предсердную экстрасистолию;
 - и) атриовентрикулярную экстрасистолию;
 - к) желудочковую экстрасистолию;
 - л) фибрилляцию предсердий;
 - м) трепетание предсердий;
 - н) трепетание желудочков;
 - п) фибрилляцию желудочков.

Разработан алгоритм автоматизированного анализа ЭКГ, основанный на математическом аппарате распознавания образов.

Предложенный алгоритм позволяет производить диагностику основных патологий по анализу данных, получаемых аппаратом для снятия электрокардиограммы по 6 основным отведениям. Выявление патологий производится по анализу основных физиологических параметров в работе сердца и нарушений сердечного ритма как в режиме реального времени, так и на основе ранее сохраненных измерительных данных ЭКГ. Проверка гипотезы о выявленной на основе анализа статистических параметров патологии производится последующей проверкой выделенных интервалов, искусственной нейронной сетью прямого распространения, по сформированным экспертной группой базовым моделям.

Разработаны алгоритмы детектирования зубцов P, Q, R, S, T, U на ЭКГ. Представленные в работе алгоритмы позволяют производить детектирование, фиксацию положения зубцов, определение их длительности, полярности и амплитуды. Расчеты производятся с предварительным выравниванием электрокардиограммы относительно изолинии. Разработанный алгоритм показал свою эффективность на наборе тестовых сигналов.

Разработаны алгоритмы детектирования интервалов на ЭКГ. Предложенные алгоритмы по анализу зубцов P, Q, R, T позволяют определить интервалы P – Q, Q – T, R – R, а также рассчитать их среднюю длительность. Усреднение производится по выбранному оператором интервалу. В случае анализа данных в режиме реального времени усреднение производится по временным рамкам, устанавливаемым оператором на этапе тестирования системы.

Разработан алгоритм анализа сегмента S – T. Предложенный алгоритм производит детектирование сегмента на основании положения зубцов P, Q, R, S, T, U на ЭКГ. Представлен алгоритм определения продолжительности сегмента S – T и его уровня. Усреднение данных по сегментам производится в рамках временного интервала, заданного оператором.

Разработан алгоритм поиска и анализ комплекса QRS. Разработанный алгоритм основан на анализе последовательностей обнаружения зубцов P, Q, R, S, T, U на ЭКГ, выделении зубца R и анализе относительно него зубцов Q и S. Предложенный алгоритм позволяет произвести детектирование и определение продолжительности следования комплекса QRS в каждом отведении. Полученные в результате данные усредняются по временному интервалу, заданному оператором.

Разработан алгоритм оценки регулярности сердечного ритма. Представленный в работе алгоритм основан на анализе появления интервалов S – T и R – R. Усреднение производится по временному интервалу, ограниченному 60 секундами, данные о резком изменении фиксируются. Эффективность работы разработанных алгоритмов подтверждена на наборе тестовых сигналов

Разработан алгоритм расчета частоты сердечных сокращений (ЧСС). Представленный в работе алгоритм основан на анализе появления интервалов S – T и R – R. Усреднение производится по временному интервалу, ограниченному 60 секундами, данные о резком изменении фиксируются. Эффективность работы разработанных алгоритмов подтверждена на наборе тестовых сигналов

Разработан алгоритм выявления патологий сердечно-сосудистой системы и нарушений сердечного ритма на основе

разработанной математической модели. Разработанный алгоритм включает в себя последовательную обработку данных корреляционных коэффициентов, соотношений с шаблоном в частотной области, центральных моментов и нейронной сети прямого распространения. В качестве критерия обнаружения выступает определение патологии всеми системами, в случае срабатывания ряда алгоритмов записывается предупреждение о возможном обнаружении.

Выполнена разработка ЭО ПО мобильной медицинской системы для индивидуальной электрофизиологической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, основанной на использовании современных алгоритмов цифровой обработки сигналов и распознавания образов.

ЭО ПО состоит из следующих программных модулей:

- а) программного модуля получения измерительных данных ЭКГ из последовательного порта;
- б) программного модуля хранения полученных измерительных данных ЭКГ;
- в) программного модуля автоматического анализа ЭКГ;
- г) программного модуля 2D-визуализации измерительных данных ЭКГ.

ЭО ПО обеспечивает реализацию следующих функций:

- а) конфигурирование параметров последовательного порта для чтения измерительных данных ЭКГ;
- б) визуализация измерительных данных в режиме реального времени в виде электрокардиограмм;
- в) визуализация сохраненных измерительных данных с возможностью прокрутки данных вперед-назад;
- г) расчет основных показателей ЭКГ (частоты сердечных сокращений, длительности сегментов и интервалов);
- д) автоматический анализ измерительных данных на основе значений характеристик основных показателей;
- е) формирование заключения о проведенном исследовании и сохранение его в памяти устройства;
- ж) сохранение измерительных данных в памяти устройства в файлах бинарного формата МПТ-ВН.

В качестве входных данных ЭО ПО использует:

- а) измерительные данные ЭКГ, снятые со стандартных электрокардиографических отведений, представляющие собой последовательность 16-битных отсчетов, оцифрованных с частотой не менее 500 Гц. Измерительные данные передаются через последовательный порт устройства, предоставляемый используемой операционной системой, или со встроенной памяти;
- б) пользовательские данные: возраст, рост, вес, имя.

ЭО ПО реализует разработанный алгоритм автоматического анализа ЭКГ.

В результате работы ЭО ПО выдает:

- а) измерительные данные ЭКГ, сохраненные в файлах в формате МПТ-ВН;
- б) результаты анализа в виде структурированного текстового документа, в котором должны быть приведены все полученные значения, сравнение с нормой, представлены рекомендации по дальнейшим действиям

Были проведены экспериментальные исследования ЭО ПО. Экспериментальные исследования проведены с использованием Экспериментального стенда (ЭС), разработанного в ходе ПНИ. В рамках проведения экспериментальных исследований ЭО ПО по разработанной программе и методике экспериментальных исследований, предоставленной на третьем этапе, было проведено функциональное и нагрузочное тестирование. В соответствии с представленными протоколами ЭО ПО соответствует ТЗ в полном объеме, а именно, в числе прочих обладает следующими характеристиками:

- а) в режиме накопления данных среднее потребление ресурсов составляет 8,1% (не более 10% по ТЗ);
- б) в режиме аналитики среднее потребление ресурсов составляет 18,7% (не более 60% по ТЗ);
- в) обеспечивается чтение измерительных данных ЭКГ, представляющих собой последовательность 16-битных отсчетов, оцифрованных с частотой менее 1000 Гц (не менее 500 Гц по ТЗ), для анализа из последовательного порта, предоставленного используемой операционной системой.

Экспериментальные исследования были проведены на собственной базе данных электрокардиограмм, полученных исполнителем ПНИ в ходе функционирования собственного облачного сервиса "КардиоОблако", что позволило подтвердить корректность функционирования разработанного в ходе ПНИ алгоритма и математической модели патологий для обнаружения в автоматическом режиме гипертрофии миокарда, нарушений ритма (синусовой тахикардии, синусовой брадикардии, синусовой аритмии, нижнепредсердного ритма, атриовентрикулярного ритма, идиовентрикулярного ритма, предсердной экстрасистолии, атриовентрикулярной экстрасистолии, желудочковой экстрасистолии, фибрилляции предсердий, трепетания предсердий, трепетания желудочков, фибрилляции желудочков). Результат работы алгоритмов автоматического распознавания верифицирован врачами функциональной диагностики, работающими на облачном сервисе «КардиоОблако».

В качестве основы для детектирования патологий положены частные алгоритмы, корректное функционирование которых косвенно подтверждено корректностью высокоуровневых алгоритмов детектирования патологий, а именно подтверждена адекватность и работоспособность алгоритма детектирование зубцов P, Q, R, S, T, U на ЭКГ, определения их длительности, амплитуды и полярности в каждом отведении, а также производных алгоритмов детектирования интервалов P – Q, Q – T, R – R, определения продолжительности интервалов P – Q, Q – T, R – R, детектирования сегмента S – T в каждом отведении и определение его длительности и уровня, детектирование комплекса QRS в каждом отведении и определение его продолжительности, оценка регулярности сердечного ритма и расчет частоты сердечных сокращений.

Результаты проведенных исследований подтвердили, что применение алгоритмов распознавания образов не является традиционным для задач автоматического анализа электрокардиограмм, что позволяет прогнозировать получение качественно и принципиально новых результатов в этой области.

Новизна технического решения в первую очередь связана с патентными исследованиями. Проведенный патентный поиск не выявил патентов в области передачи, анализа ЭКГ на мобильный телефон, что позволяет сделать выводы о новизне разрабатываемого решения. Рассмотренные структуры аналогов не позволяют произвести реализацию устройства в виде приложения для мобильного устройства, без изменения внутренней структуры самого аппарата. Использование данных устройств для реализации автоматизированного устройства снятия и диагностики сердечно-сосудистых заболеваний по анализу ЭКГ в автоматическом режиме требует изменение структуры с внесением новых блоков автоматической предварительной обработки с изменяющимися параметрами, в зависимости от состояния и нагрузки организма, блока принятия решения о выявлении патологии, а также устройства коммуникации аппарата с человеком. Рассмотренные способы не позволяют производить автоматический мониторинг с функцией диагностики. Применение автоматического блока диагностики с записанными основными патологиями, ограничивает области их применения. Отсутствие возможности вносить изменения в алгоритмы выявления заболеваний и добавления новых признаков также ограничивает области применения и функции аппаратов. В связи с чем, разработка нового устройства обработки учитывающего данные ограничения, является актуальной задачей.

В рамках ПНИ разработана новая математическая модель электрокардиограммы, в основе которой лежит представление сигнала в виде суммы симметричных гауссовых функций. Разработанная математическая модель также частично основывается на интерполяции реальных сигналов, для воспроизведения ЭКГ с патологиями используются методы имитационного моделирования. В модели учитывается наличие шумов и дрейф изолинии. Данная модель оптимальна для решения поставленных в исследовании задач.

В рамках ПНИ предполагается использовать новые подходы для решения проблемы автоматической обработки и анализа ЭКГ, заимствованные из области видеоанализа и распознавания образов, получившей значительное развитие в последние годы. Применение алгоритмов распознавания образов не является традиционным для задач автоматического анализа электрокардиограмм, что позволяет прогнозировать получение качественно и принципиально новых результатов в этой области. При этом разработка алгоритмов анализа будет осуществляться с учетом существенной производительности современных смартфонов.

Полученные результаты будут использованы при автоматической обработке и анализе электрокардиограмм человека, с использованием разработанных и предложенных в исследовании новых методов автоматического анализа ЭКГ, основанных на методах и подходах распознавания образов в системах компьютерного зрения, новых математических моделей патологий сердечно-сосудистой системы и нарушений сердечного ритма.

Применение данных методов не является традиционным для задач автоматического анализа электрокардиограмм, что позволяет прогнозировать получение качественно и принципиально новых результатов в этой области.

Решаемые в ходе ПНИ задачи направлены на разработку новых методов автоматической интерпретации результатов ЭКГ, основанных на распознавании образов. Это позволит повысить достоверности программного обеспечения автоматического анализа ЭКГ и откроет новые перспективные пути для развития дистанционного медицинского обслуживания в мире в области кардиологии. Проведенный патентный поиск на первом этапе исследования показал, что тема программного обеспечения, основанного на использовании современных алгоритмов цифровой обработки сигналов и распознавания образов, в области систем индивидуальной электрофизиологической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний практически не разработана, и новые технические решения, не требующие создания сложных устройств, но позволяющие при этом существенно увеличивать качество и функционал, представляют большой интерес.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Свидетельство о регистрации ПрЭВМ " Модуль автоматического анализа измерительных сигналов ЭКГ" №2015663677, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 28 декабря 2015 г.

Свидетельство о регистрации ПрЭВМ «Программа расчета частоты сердечных сокращений» №2016662131, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 31 октября 2016 г.

Свидетельство о регистрации ПрЭВМ «Программа оценки variability сердечного ритма» №2016662129, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 31 октября 2016 г.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Программа расчета электрической оси сердца» №2016662465, дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 11 ноября 2016 г.

Полезная модель заявка №2016131423 «Мобильный электрокардиограф» от 01.08.2016 г.

4. Назначение и область применения результатов проекта

Одной из важнейших проблем медицины является своевременная диагностика, предупреждение и лечение сердечно-сосудистых заболеваний. Решение данной проблемы невозможно без разработки и исследования алгоритмов и технических средств обработки электрокардиосигнала.

Новые разработанные алгоритмы были использованы для разработки экспериментального образца программного обеспечения и программного обеспечения прошивки для экспериментального стенда мобильной медицинской системы для индивидуальной электрофизиологической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Внедрение разработанных методов и алгоритмов в системы медицинского назначения позволяет обеспечить повышение точности и надежности формируемых диагностических заключений, что, в конечном счете, способствует повышению эффективности диагностики и лечения патологий сердечно-сосудистых заболеваний. Результаты ПНИ могут служить основой для построения современных приложений мобильной медицины, функционал которых направлен на решение задач анализа состояния сердечно-сосудистой системы.

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

В данном проекте разрабатывается программное обеспечение мобильной медицинской системы для индивидуальной электрофизиологической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, которое позволит обеспечить максимальную мобильность устройства и комфорт для испытуемого, низкое энергопотребление, возможность генерации автоматических заключений по данным исследования, а также хранения, передачи данных в единой информационной системе, что облегчает преемственность пациентов в учреждениях здравоохранения и динамическое наблюдение; широкие возможности для модификации в зависимости от цели исследования.

Максимальное использование цифровой обработки сигнала, большая вычислительная мощность и объем памяти, возможность модификации встроенного программного обеспечения через инфракрасный порт позволяют создавать программное

обеспечение для сбора и анализа ЭКГ, ранее доступное только для персональных компьютеров.

Используя в целях диагностики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний программное обеспечение мобильной медицинской системы для индивидуальной электрофизиологической диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, врач назначает правильное, наиболее эффективное, лечение. Таким образом, значительно снижается риск инсультов, инфарктов, ишемической болезни сердца и прочих опасных последствий сердечно-сосудистых заболеваний.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Рынок мобильной медицины составляют сервисы и продукты, которые используют мобильные технологии (обычно смартфоны и планшеты, но также и специализированное оборудование, например датчики и медицинские приборы) для упрощения, ускорения или удешевления процесса оказания медицинской помощи и работы с медицинской информацией.

Применение мобильных технологий в сфере здравоохранения может быть чрезвычайно широким. Уже сейчас существуют технологии, позволяющие врачам обследовать пациентов удаленно с помощью мобильных телефонов и датчиков, получать доступ к медицинской информации и показателям здоровья пациентов за длительный период времени и назначать лечение без личной встречи с пациентами. Более того, с развитием технологий пациенты получили больше возможностей следить за своим здоровьем самостоятельно (датчики физической активности, диагностические приборы широкого пользования, доступность медицинской информации и рост рынка медицинских приложений).

Предоставление сервисов в области здравоохранения через мобильные телефоны и смартфоны - одна из актуальных тенденций мирового здравоохранения.

Согласно статистике компании Statista рынок мобильной медицины в 2014 год оценивался на уровне 10,97 млрд долларов. При этом темп роста рынка в 2014 году составил 32%. При сохранении текущей тенденции к 2020 году рынок мобильной медицины достигнет отметки 58,8 млрд долларов. За этот период среднегодовой темп роста CAGR=31%.

Согласно результатам исследования специалистов Kalorama Information, общая стоимость мобильных медицинских приложений в 2010 году составил лишь 85 млн. долларов. С тех пор она выросла до примерно 489 млн. долларов в 2015 году специалисты объясняют, что в то время как 489 млн. долларов не огромное количество по сравнению с объемом рынка мобильных приложений, она по-прежнему показывает значительный рост в течение 5 лет. Кроме того, этот рост происходит быстрее, чем у многих других категорий приложений. Согласно результатам исследования, общий рост приложений составил 38,1 процента ежегодно в течение последних 5 лет, в то время как для медицинских приложений это составляет – 41,9 процента.

По данным исследования специалистов Kalorama Information, более широкое использование мобильных устройств в медицинских учреждениях способствует росту рынка. В 2010 году около 50 процентов врачей использовали мобильный телефон или смарт - устройство в качестве части своей практики. В 2015 году эта цифра выросла до 70 процентов.

Исследование также указывает на то, что пользователи готовы платить больше за приложения, которые они покупают. В настоящее время средняя цена медицинского приложения составляет около 9 долларов.

По словам редактора Kalorama Information Брюса Карлсона, платформа от Apple ОС IOS является наиболее конкурентоспособной платформой на рынке. За 2014 год Apple заработала приблизительно 268,8 млн. долларов, что составляет примерно 55 процентов рынка. Несмотря на растущую конкуренцию со стороны Android и Windows, платформа IOS продолжает опережать других из - за популярности iPad в медицинской практике. Этот большой темп роста отражает и темпы роста рынка мобильной медицины в целом.

Основной потребитель результатов ПНИ является ООО «Нордавинд-Дубна».

Компания планирует внедрить результаты ПНИ в мобильное приложение кардиоскопа РИТМ и кардиофлешки ECGDongle, что позволит улучшить функционал продукции.

Прогнозируемый объем реализации инновационной продукции, модернизированной с учетом результатов ПНИ в 2017 г. – 10 млн. руб, 2018 г. – 10 млн. руб, 2019 г. – 10 млн. руб.

7. Наличие соисполнителей

ООО «Научное предприятие «Цезис» – 2014, 2016 г.

ФГАОУ ВПО «НИТУ «МИСиС» - 2014 г

Общество с ограниченной ответственностью «Нордавинд-Дубна»

генеральный директор

(должность)

(подпись)

Набильская Н.В.

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель работ по проекту

Директор по науке

(должность)

(подпись)

Свирин И.С.

(фамилия, имя, отчество)

М.П.