

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.8  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 26.06.2024 № 12

О присуждении Васильеву Богдану Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Метод построения цифровой модели рельефа с применением интерполяции на основе теории полюсов и алгоритма Хука-Дживса» по специальности 1.6.22. Геодезия принята к защите 24.04.2024, протокол заседания № 5, диссертационным советом ГУ.8 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 156 адм.

Соискатель, Васильев Богдан Юрьевич, 30 августа 1997 года рождения, в 2020 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 21.05.01 Прикладная геодезия.

С 01.10.2021 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры инженерной геодезии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре инженерной геодезии в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Мустафин Мурат Газизович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра инженерной геодезии, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

**Щербаков Владимир Васильевич** – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения, кафедра «Инженерная геодезия», заведующий кафедрой;

**Канашин Николай Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Инженерная геодезия», доцент кафедры;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»**, г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном Сальниковым Валерием Геннадьевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела и утвержденном Янкелевич Светланой Сергеевной, кандидатом технических наук, доцентом, ВРИО ректора, указала, что теоретическая значимость результатов диссертации заключается в улучшении методологических подходов к восстановлению связей между натурными данными в условиях сложных структурных условий, что расширяет теоретическую базу в области анализа и обработки геопространственных данных. Практическая значимость исследования заключается в возможности увеличения точности построения цифровых моделей рельефа на основе натуральных данных при использовании разработанных методологических подходов, что имеет прямое практическое применение при планировании инфраструктурных проектов, анализе природных рисков, геологических исследованиях, экологическом мониторинге и других прикладных областях.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 5 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работ, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 2,81 печатных листа, в том числе 1,53 печатных листа - соискателя.

*Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты*

*диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:*

1. Мустафин, М.Г. Развитие методов построения цифровой модели рельефа по данным многоточечных маркшейдерско-геодезических измерений / М.Г. Мустафин, **Б.Ю. Васильев**, В.В. Глазунов // Маркшейдерский вестник. – 2022. – №2 – С. 33. ВАК № 1392 Перечня ред. 27.04.2022

*Соискателем разработан и описан подход к построению цифровых моделей рельефа с использованием теорий полюсов и оптимизации; выполнены теоретические исследования и анализ методов пространственной интерполяции, используемых для построения цифровых моделей рельефа.*

2. Мустафин, М.Г. Диагностирование и определение аномальных зон магистральных трубопроводов на подводных переходах с использованием цифровой модели рельефа / М.Г. Мустафин, Н.С. Павлов, В.А. Вальков, **Б.Ю. Васильев** // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2023. – Т. 28, – № 1. С. 33 – 44. ВАК № 684 Перечня ред. 07.03.2023. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-1-33-44

*Соискателем выполнено теоретическое исследование методов пространственной интерполяции применительно к построению цифровых моделей подводного рельефа для задачи определения глубины заложения магистрального газопроводов на подводных переходах, построены цифровые модели рельефа по данным эхолотации с последующей оценкой точности и сравнительным анализом результатов.*

*Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus/WoS):*

3. Мустафин, М.Г. Анализ точности построения цифровых моделей рельефа на основе данных периодического воздушного лазерного сканирования горнопромышленного объекта / М.Г. Мустафин, А.А. Кологривко, **Б.Ю. Васильев** // Горный журнал. – 2023. - №2. С. 56-62. DOI: 10.17580/gzh.2023.02.09

*Соискателем выполнено теоретическое исследование методов пространственной интерполяции применительно к построению цифровых моделей рельефа антропогенных участков в области ведения горных работ, построены цифровые модели рельефа по данным воздушного лазерного сканирования с последующей оценкой точности и сравнительным анализом результатов.*

4. **Васильев, Б.Ю.**, Анализ и оптимизация цифровых моделей рельефа горнопромышленного объекта с открытым типом разработки / **Б.Ю. Васильев**, М.Г. Мустафин // Горный информационно-аналитический

бюллетень. – 2023. – № 9. – С. 141–159. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_9\_0\_141

*Соискателем проведено теоретическое исследование методов пространственной интерполяции применительно к построению цифровых моделей рельефа антропогенных участков в области ведения горных работ, выполнены экспериментальные исследования цифровых моделей рельефа построенных общепринятыми методами пространственной интерполяции и разработанным методом с использованием теории полюсов и алгоритма Хука-Дживса по данным воздушного лазерного сканирования с последующей оценкой точности и сравнительным анализом результатов и обоснованием применимости разработанного метода для практических задач.*

*Публикации в прочих изданиях:*

5. **Васильев, Б.Ю.** Исследование точности построения цифровых моделей рельефа различными методами пространственной интерполяции / Б.Ю. Васильев // Сборник материалов XXI Международной научно-практической конференции «Современные методы и технологии управления Социально-экономическими и инженерными Системами и процессами». БНТУ. Минск. 2022. С. 196.

*Соискателем: выполнено построение цифровых моделей рельефа методом пространственной интерполяции с последующей оценкой точности и сравнительным анализом результатов.*

*Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:*

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660393. Tri Optima (Оптимизация триангуляции): № 2023660393: заявл. 12.05.2023: опубл. 19.05.2023 /Васильев Б.Ю., Мустафин М.Г.; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

*Соискателем написан программный код, реализующий разработанный метод построения цифровых моделей рельефа с применением интерполяции на основе теории полюсов и алгоритма Хука-Дживса.*

Апробация диссертационной работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня:

– XVIII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (май 2022 года, г. Санкт-Петербург).

– Всероссийская научно-практическая конференция «Новые технологии при недропользовании» (октябрь 2022 года, г. Санкт-Петербург).

– XXI Международная научно-практическая конференция

«Современные методы и технологии управления социально-экономическими и инженерными системами и процессами» (ноябрь 2022 года, г. Минск).

– XI Международная горнопромышленная конференция «Баренц-арктическое экономическое партнерство» (ноябрь 2022 года, г. Кировск).

– XXXI Международный научный Симпозиум «Неделя Горняка-2023» (февраль 2023 года, г. Москва).

В диссертации Васильева Богдана Юрьевича отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: доцента кафедры геодезии и дистанционного зондирования ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина», к.т.н., доцента **Л.В. Быкова**; доцента кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д.т.н., доцента **В.Н. Долгоносова**; заведующего кафедрой маркшейдерского дела, геодезии и геоинформационных систем «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», д.т.н., профессора **Ю.А. Кашникова**; доцента кафедры геодезии и геоинформационных систем «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», к.т.н. **В.В. Ялтыхова** и заведующего кафедрой геодезии и геоинформационных систем «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», к.т.н. **К.И. Марковича**; доцента кафедры кадастра и геоинженерии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», к.т.н. **Г.Г. Шевченко**; заведующего кафедрой геодезии ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии», д.т.н. **В.В. Ознамеца**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной и статистической информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. Недостаточно объективная оценка точности разработанного метода, основанная на сравнении с «основными методами интерполяции». На наш взгляд правильнее было оценивать точность интерполяции по независимым контрольным точкам (**к.т.н. Л.В. Быков**);

2. Автореферат несколько перегружен математическими формулами, сложными для понимания без специальной подготовки. За ними скрыты практические достижения и полученные результаты, которые можно было бы представить в более простой и наглядной форме (**д.т.н. В.Н. Долгоносов**);

3. По оформлению. На рисунке 1 сложно увидеть многочлен 3-го порядка, а на рисунке 2 не видна легенда. Возможно, их следовало бы сделать крупнее (д.т.н. **В.Н. Долгонос**);
4. Считаю, что в тексте автореферата необходимо было бы добавить дополнительную информацию о классификации геопространственных данных и выборе ключевых точек (д.т.н. **Л.В. Кашников**);
5. Требуется пояснить при определении полюсов для построения математической модели рельефа по какому параметру происходит классификация данных. (д.т.н. **Л.В. Кашников**);
6. В автореферате не указаны преимущества алгоритма Хука-Дживса по сравнению с другими, которые, возможно, были бы более оптимальными для решения задачи (к.т.н. **В.В. Ялтыхов** и к.т.н. **К.И. Маркович**);
7. В формуле (6) не хватает знака минус в одном из синусов, (возможно опечатка), без которого матрица не может быть чистой матрицей вращения (к.т.н. **В.В. Ялтыхов** и к.т.н. **К.И. Маркович**);
8. Не обосновано почему для усреднения используется 5% усеченное среднее (стр. 11), а не другой процент, или другая простая робастная оценка, например, в виде медианы, оценки Хьюбера и др. Возможно их использование было бы более эффективно (к.т.н. **В.В. Ялтыхов** и к.т.н. **К.И. Маркович**);
9. Не понятно почему угол, вычисляемый по формулам (9)-(12), назван предельным ограничивающим. По этим формулам вычисляется обычный угол между двумя плоскостями (к.т.н. **В.В. Ялтыхов** и к.т.н. **К.И. Маркович**);
10. Соискатель отмечает, что для создания поверхности локального участка цифровой модели рельефа комбинацией предлагаемых методов, требуется построение характеристического многочлена 3-го порядка. Однако, самого математического выражения многочлена не предоставлено ни в тексте автореферата, ни на рисунке 1, на который ссылается соискатель. В связи с этим сложно оценить вид поверхности, с которой планирует работать соискатель (к.т.н. **Г.Г. Шевченко**);
11. По рисунку 1 неясно, что обозначено за красные и синие области (к.т.н. **Г.Г. Шевченко**);
12. При описании алгоритма оптимизации положения полюсов на 9 шаге указывается, что необходимо проверить выполнение условия завершения алгоритма через минимальное значение шага  $\theta$ . При этом условием проверки является сравнение  $\|\theta\|$  с величиной  $\varepsilon$ . Однако, обозначение двойного модуля в математике – это обозначение нормы матрицы. Величина  $\theta$  является шагом поиска, т.е. величиной скалярной. Скорее всего, здесь необходимо указать  $|\theta|$  вместо  $\|\theta\|$  (к.т.н. **Г.Г. Шевченко**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** система методов построения цифровых моделей рельефа, позволяющая выполнить более точное их приближение к реальной поверхности;

**предложены** для использования альтернативный метод восстановления связей между данными с использованием теории полюсов и алгоритма Хука-Дживса для уточнения локальной области математической модели; метод определения координат интерполируемой точки с помощью барицентрических координат;

**доказана** перспективность использования поисковых методов для определения положения набора полюсов, а также обратных операций с использованием барицентрических координат при определении положения интерполируемой точки

**введены** новая трактовка понятия «набор полюсов», учитывающая избыточные измерения; новая трактовка понятия «предельный ограничивающий угол».

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** положения, свидетельствующие, что с помощью применяемых совместно теории полюсов и алгоритма Хука-Дживса возможно повысить точность построения цифровых моделей рельефа в сравнении с основными методами интерполяции более чем на 15%;

**использован** комплекс методов, включая методы теории полюсов, алгоритма Хука-Дживса, методы теории ошибок геодезических измерений, методы сравнительного анализа, методы пространственной интерполяции, метод наименьших квадратов;

**изложены** современные концепции и методические подходы к построению цифровых моделей рельефа и оценки точности их построения, а также выявлены особенности восстановления пространственных связей между исходными данными, полученными в результате воздушного лазерного сканирования и эхолокации;

**раскрыты** условия применения и ограничения методов пространственной интерполяции применительно к восстановлению связей между геопространственными данными; закономерности в определении области поиска при интерполяции на основе теории полюсов с помощью угла наклона дискретного элемента;

**изучены** принципы и инструменты построения цифровых моделей рельефа, а также оценки точности выполненных построений и сравнительного анализа;  
**проведена модернизация** методического подхода к оценке точности построения цифровых моделей рельефа с использованием топографических и статистических критериев, позволяющих более корректно учитывать изменения в математической модели рельефа.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** математические модели рельефа на основе базовой триангуляционной поверхности с заполнением пропусков в дискретных элементах с использованием метода на основе теории полюсов и алгоритма Хука-Дживса в производственный процесс компании ООО «Лаборатория Инжиниринга» для построения цифровых моделей рельефа (акт о внедрении от 02.10.2023 г.);

**определены** перспективы использования для построения цифровых моделей рельефа разработанных методов, основанных на принципах теории полюсов и определении пространственной области поиска с использованием регуляризации на уровне дискретных элементов при формировании однородного набора данных как инструмента для управления аппроксимирующими кривыми;

**создан** методический инструментарий восстановления связей между геопространственными данными, представленными в виде облаков точек, увеличивающих точность построения цифровых моделей рельефа;

**представлены** предложения по использованию результатов исследования компаниями, осуществляющими деятельность по выполнению инженерно-геодезических изысканий и созданию цифровой картографической продукции; основные результаты работы, выводы и рекомендации могут быть применены профильными научными организациями и научно-исследовательскими центрами в проектной деятельности при выполнении работ по построению цифровых моделей рельефа и анализу их изменения во времени.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** результаты продемонстрировали свою воспроизводимость на различных по своим морфометрическим характеристикам участках земной поверхности;

**теория** построена на современных исследованиях методов пространственной интерполяции применительно к построению цифровых моделей рельефа, включая подходы к оценке точности построений, исследовании теории полюсов и метода Хука-Дживса для восстановления связей между



геопространственными данными в сложных структурных условиях; согласуется с опубликованными научными работами по теме диссертации; **идея базируется** на уточнении поверхности локального участка цифровой модели рельефа точками, полученными при интерполяции с применением теории полюсов и метода Хука-Дживса, используемого для обоснования пространственного положения полюсов, с возможностью регуляризации модели с помощью предельного ограничивающего угла;

**использованы** методы и данные, ранее полученные по настоящей тематике, выполнено их сравнение с авторской разработкой: определение положения набора полюсов при построении характеристических многочленов выполняется с использованием теории оптимизации и избыточных измерений, при этом в классической теории и ее имплементации для построения топографических поверхностей положение определяется с помощью среднего значения нормали полюсов образующих набор; исключение смежных триангуляционных граней с обрабатываемой выполняется с использованием предельного ограничивающего угла, что является развитием предлагаемого ранее подхода «расщепление»; дополнен и упрощен алгоритм построения топографических поверхностей с применением обратных операций в барицентрических координатах;

**установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** современные методы сбора, обработки и анализа геопространственных данных, представленных в виде облаков точек.

**Личный вклад соискателя состоит в** постановке цели и задач исследования; анализе зарубежных и отечественных литературных источников по созданию цифровых моделей рельефа; разработке метода заполнения пропусков в триангуляционной поверхности на основе восстановления пространственной связи между декомпозированной гранью триангуляции и смежными гранями с использованием теории полюсов и метода Хука-Дживса оптимизации с применением ограничивающего предельного угла для управления степенью обобщенности заполняющей поверхности; выполнении оценки точности построенных цифровых моделей рельефа и определения достоверности предлагаемых методов; анализе и обобщении результатов экспериментальных исследований; апробации результатов исследований на научных конференциях; написании научных публикаций по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Васильев Богдан Юрьевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

На заседании 26 июня 2024 года диссертационный совет принял решение присудить **Васильеву Богдану Юрьевичу** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи разработки метода повышения точности построения цифровой модели рельефа, включающего уточнение локальной поверхности с использованием интерполяции на основе теории полюсов и метода Хука-Дживса с управлением области оптимального поиска, имеющей значение для развития разработок в области прикладной геодезии.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 3 доктора наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председательствующий  
заместитель председателя  
диссертационного совета



Ковзин  
Василий Федорович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Кузин  
Антон Александрович

26.06.2024 г.