

ОТЗЫВ

Официального оппонента

На диссертационную работу и автореферат Батюкова А.В. на тему «Методы, алгоритмы и устройство позиционирования мехатронного тоннелепроходческого комплекса для прокладки подземных коммуникаций», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 - Роботы, мехатроника и робототехнические системы

Актуальность темы исследования

Рост объемов строительства, повышение требований к безопасности ведения строительных работ при устройстве тоннелей и прокладке подземных инженерных коммуникаций в условиях плотной городской застройки приводит к необходимости использовать технические устройства, обеспечивающие проведение подземных выработок с минимальным воздействием на окружающую среду и земную поверхность. В значительной степени этим требованиям отвечают технические устройства, реализующие способы бестраншейной проходки методом продавливания, такие как мехатронные тоннелепроходческие комплексы (МТПК), которые являются альтернативой традиционной открытой технологии строительства. При этом предъявляются высокие требования к эксплуатационным показателям МТПК. Наиболее важным из них является точность определения координат и пространственного положения проходческого щита (ПЩ) при строительстве тоннеля, которые определяются с помощью специализированных устройств – систем позиционирования. Однако, для микротоннелирования такие системы не так широко распространены, и, следовательно, тема диссертационного исследования Батюкова А.В., посвященная разработке новых методов и устройства позиционирования мехатронного тоннелепроходческого комплекса, является актуальной.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Батюкова А.В. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 62 наименований и 6 приложений. Общий объем работы 136 страницы, включая 27 страниц приложений и 70 иллюстраций.

Структура диссертации и ее оформление соответствуют ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Во введении соискателем обоснована актуальность темы диссертации, обозначена решаемая проблема, поставлена цель и задачи исследования, определены объект, предмет, методы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены сведения об

основных результатах, выносимых на защиту и их апробации, определен личный вклад автора.

В первой главе выполнен анализ существующих конструкций устройств позиционирования проходческих щитов. Рассмотрены различные методы определения координат проходческого щита, такие как лазерный, тахеометрический, инерциальный и др., описываются их основные достоинства и недостатки. Обоснована необходимость разработки новых методов и устройств для определения координат проходческих щитов при строительстве тоннелей малого диаметра.

Вторая глава посвящена вопросам разработки и исследования математической модели движения проходческого щита, а также ее компьютерной реализации. Результаты исследования численной модели позволяют установить закономерности и особенности процесса движения проходческого щита при его ведении по заданной траектории с контролем координат продольной оси, углов наклона между осью щита и её проекциями на координатные плоскости.

В третьей главе соискателем разработан метод и алгоритмы управления движением проходческого щита в пространстве, а также методы определения координат проходческого щита с помощью комбинированного устройства лазерного позиционирования. Предложенный соискателем метод выбора комбинации гидроцилиндров позволяет с высокой точностью выполнять продвижение щита в соответствии с проектным направлением, что доказывается результатами численного моделирования.

В четвертой главе описывается конструкция разработанного устройства позиционирования и его экспериментальные исследования. Результаты экспериментальных исследований показывают, что разработанное устройство отвечает всем предъявляемым требованиям в отношении точности определения координат и может быть применено для позиционирования проходческих щитов при строительстве тоннелей малого диаметра методом продавливания с требуемой точностью.

В заключении соискателем изложены основные полученные результаты диссертационного исследования. Общие выводы в достаточной степени отражают полученные результаты исследования.

Автореферат в основном соответствует материалам, результатам и выводам диссертации. Верно отражает ее содержание и позволяет сделать заключение о научном уровне работы.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов

Автором предложены актуальные в техническом и научном отношении метод и устройство позиционирования мехатронного тоннелепроходческого комплекса, повышающие точность определения координат и пространственного положения проходческого щита (ПЩ) при туннельном строительстве. Решение соответствующих задач достигнуто Батюковым А.В. за счет отличающихся научной новизной следующих результатов исследования:

1. Математическая и численная компьютерная модели процесса движения проходческого щита микротоннелепроходческого комплекса.
2. Алгоритм выбора комбинации гидроцилиндров перемещения проходческого щита, позволяющий с высокой точностью обеспечить перемещение проходческого щита в соответствии с заданным направлением.

3. Методика определения координат ножевой точки проходческого щита модульной конструкции, основанная на вычислении координат хвостовой точки проходческого щита модульной конструкции, находящейся в зоне прямой видимости лазерным устройством, и предусматривающая возможность определения углов ориентации щита с помощью микроэлектромеханической системы на основе гироскопа, акселерометра и магнитометра, позволяющей повысить точность позиционирования.

4. Структура комбинированного устройства позиционирования, включающая лазерный приемо-передатчик и приемную фотоприемную систему с микроэлектромеханической системой определения пространственного положения.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Выводы и основные положения, выносимые соискателем на защиту, логично вытекают из содержания диссертационной работы.

Достоверность результатов подтверждается корректностью допущений, принимаемых при выведении формул и разработке моделей и алгоритмов объектов исследования, корректным применением методов исследований, обоснованными доказательствами основных положений, использованием поверенного оборудования при проведении экспериментов, адекватностью результатов натурных исследований экспериментального прототипа системы подземной навигации соответствующим требованиям технического задания, используемым моделям и допущениям.

Теоретические и практические результаты работы использовались при разработке устройства позиционирования для автоматизированной системы управления мехатронным тоннелепроходческим комплексом в НИИ Электромеханики и кафедре «Электромеханика и электрические аппараты» ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова при выполнении ряда проектов: 1. Проект в рамках постановления правительства П218 по теме: «Создание высокотехнологичного производства импортозамещающего горнопроходческого оборудования, оснащенного интеллектуальными системами управления, для освоения подземного пространства городов», № 074-11- 2018-010 от «5» июня 2018 г.; 2. грант Российского Фонда Фундаментальных исследований по теме: «Исследование возможности применения комбинированной системы подземной навигации для системы управления проходческим щитом микротоннелепроходческого комплекса», № 20-38-90123\20; 3. грант Фонда Содействия Инновациям в рамках программы УМНИК по теме: «Разработка устройства позиционирования микротоннелепроходческих щитов модульной конструкции», договор № 16222ГУ/2021.

Соискателем подготовлены и опубликованы семь статей в журналах, рекомендованных ВАК, получен 1 патент на изобретение и два свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях, научно-

техническом семинаре «Кибернетика энергетических систем», ежегодных научно-технических конференциях студентов, аспирантов «Студенческая научная весна» в ЮРГПУ(НПИ), на научных семинарах кафедры «Электромеханика и электрические аппараты».

Замечания по диссертационной работе

По содержанию диссертационной работы имеются следующие замечания.

1. В заявленной в качестве новой методики "определения координат ножевой точки проходческого щита..." указано совместное использование лазерных дальномеров и инерциальных датчиков.

Из обзора главы 1, приведенного автором, следует, что эти устройства уже используются в туннелепроходческом деле. Если их до сих пор никто совместно не использовал или/и автор разработал методику совместного использования этих двух типов устройств для повышения эффективности работы проходческого щита, то в диссертации и особенно - автореферате, не достаточно акцентировано внимание на этой совместной работе и ее верификации.

2. В диссертации, прежде всего в обзорной части, подчеркивается, что предложенный автором метод позволяет работать с криволинейным движением проходческого щита, а также, что этим достоинством не обладают многие методы-аналоги. Однако в результатах, вынесенных на защиту диссертации, это достоинство нигде не подчеркивается. Также на нем не акцентируется внимание в описании экспериментальной части исследования автора.

3. На рисунке 1 автореферата не понятно, как направлены силы P_{yn} и P_{zn} : если они направлены вдоль соответствующих осей, обозначенных в их нижних индексах, тогда они не могут создавать заявленных моментов, фигурирующих в формуле на стр. 10 автореферата сверху.

Если же их направление иное, то оно не обозначено на рисунке 2 автореферата, на который ссылается автор при объяснении этих сил. На этом рисунке фигурируют величины P_{yz} , относимые, по всей видимости, к каждому гидроцилиндру. Скорее всего, в указанной выше формуле вместо P_{yn} и P_{zn} требуется писать: P_{yz} .

4. На рисунке 2 автореферата и рис. 2.1 диссертации отсутствуют очки $(X1, Y1, Z1)$ и $(X2, Y2, Z2)$, что некорректно, поскольку согласно нижнему абзацу на стр. 10 автореферата, эти точки полностью задают положение продольной оси щита. А, с другой стороны, согласно тому же абзацу, рис. 2 описывает системы координат, используемые для построения математической модели движения щита. Следовательно, указание на рис.2 означенных точек является необходимым для правильного понимания читателем кинематики щита.

5. В пояснениях по кинематике щита, приводимых после рис.2 автореферата (и аналогичного рисунка 2.1 диссертации) приводятся формулы $V_z = V \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta)$, $V_y = V \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta)$ для проекций вектора скорости оси щита. Однако они не верны, если углы α и β определены описанным на стр. 11 автореферата образом.

Заметим, что при достаточно малых углах α и β приводимые автором асимптотические формулы для V_y и V_z верны.

Это является стечением обстоятельств: правильное и неправильное выражения ведут себя сходно в указанной асимптотике.

Правильные формулы есть:

$$V_y = V \cdot \cos(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta) / \sqrt{1 + \sin^2(\alpha) \cdot \operatorname{tg}^2(\beta)},$$

$$V_z = V \cdot \sin(\alpha) / \sqrt{1 + \sin^2(\alpha) \cdot \operatorname{tg}^2(\beta)}.$$

6. В формулах вращательного движения щита, приведенных на стр. 11 автореферата, внизу, фигурируют величины $B1$, $B2$ и f_m .

Автор не приводит их численных значений, которые были им взяты для численного моделирования движения щита.

То же относится и к ряду других коэффициентов, входящих в уравнения на стр. 12.

В то же время для других параметров уравнений, приводимых в автореферате, соответствующие численные значения приведены.

7. На рисунках 4-7 автореферата и на рис.2.10, 2.11 диссертации на некоторых координатных осях отсутствуют обозначения соответствующих переменных. Кроме того, отсутствует указание по тексту, что именно откладывается по горизонтальным осям этих графиков.

Из контекста ясно, что это время. Тем не менее, указания на этот факт в тексте необходимы.

Также отсутствует целый ряд других необходимых комментариев по графикам, полученным в результате проведенного автором численного моделирования.

8. На страницах 13-14 автореферата в комментариях по результатам численного анализа говорится про использование оптимального регулятора. Однако в автореферате недостаточно рассмотрен вопрос по организации управления рассматриваемым щитом и о синтезе/ выборе соответствующего регулятора. В то время как в диссертации есть раздел 2.2.3 "Синтез системы автоматического управления движением щита тоннелепроходческого комплекса".

9. В функциональной схеме управления, приведенной на рис.22 стр. 38 диссертации, управляющее воздействие показано не зависящим от переменных состояния, т.е. по сути рассматривается программное управление. Но из материала диссертации видно, что управляющие воздействия есть определенная комбинация включения гидроцилиндров, и обратная связь все же есть по проекциям радиуса вектора r точки приложения равнодействующей усилий гидроцилиндров. Налицо противоречие.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности проведенного диссертационного исследования и не влияют на общую положительную оценку.

Содержание автореферата в основном соответствует тексту диссертационной работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Батюкова А.В. является завершенной научно-квалификационной работой, характеризующейся актуальностью, научной новизной, достоверностью результатов, обоснованностью выводов и практической значимостью. Диссертация и автореферат написаны грамотным и понятным языком, имеют логичную структуру и завершенный характер.

Содержание диссертации соответствует пунктам 3, 4, 5 паспорта научной специальности «Технические науки. 2.5.4 - Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

Считаю, что диссертация Батюкова А.В. «Методы, алгоритмы и устройство позиционирования мехатронного тоннелепроходческого комплекса для прокладки подземных коммуникаций» отвечает всем

квалификационным требованиям, установленным разделом 2 положения «О присуждении ученых степеней в ЮФУ» в редакции от 22.12.2023 г. приказ №368-ОД и приказом ректора ЮФУ №2836 от 20.12.2022 г. (п. 2), а ее автор, Батюков Александр Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Доцент кафедры «Электротехники и
мехатроники»,

ФГАОУ ВО «Южный федеральный
университет»;

к.т.н, доцент



Владимир Александрович Костюков

« 01 » 03 2024 г.

344006, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону,
ул. Большая Садовая, 105/42.

Тел.: +7(863)263-31-58,

e-mail: info@sfedu.ru,

адрес сайта организации: <https://sfedu.ru/>

Согласен на обработку персональных данных.



Владимир Александрович Костюков

Подпись кандидата технических наук В.А. Костюкова удостоверяю.

« 01 » 03 2024 г.

