

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**о диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук**  
**ЛАТОНОВА Василия Васильевича**  
**на тему: «Математические задачи полуавтоматического**  
**управления линиями визирования на подвижном основании»**  
**по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»**

Диссертация В.В.Латонова посвящена важной и актуальной проблеме создания математического обеспечения для эффективного функционирования динамических и компьютерных тренажеров, которые предназначены для выработки устойчивых профессиональных навыков операторов, наводящих линию визирования на объект, совершающий относительное движение, при условии сложного и непредсказуемого перемещения основания. Помимо этого осуществляется поиск минимаксного управления, обеспечивающего стабилизацию линии визирования, направленной на неподвижный относительно Земли объект. Этими задачами подчеркивается **актуальность избранной темы** и ее большое практическое значение.

Начнем анализ рассматриваемой диссертации.

Во **Введении** дается достаточно полный обзор научной литературы, отражающей современное состояние вопроса, описываются цели и задачи диссертации, ее актуальность и научная новизна, практическая и теоретическая значимость полученных результатов и их достоверность, приводятся объем и структура диссертации, довольно подробно излагается содержание всех трех глав работы, цели исследования в них и использованные методы для их решения. В конце Введения формулируются основные положения, выносимые на защиту, и приводится список четырех основных публикаций автора и трех его выступлений на конференциях.

**Первая глава** начинается с технического описания устройств, употребляемых при наведении на цель, и действий оператора и инструктора.

Первый из них должен при наличии помех навести маркер на изображение цели и удерживать их совмещенными определенное время, а второй – выбором движения основания всячески мешать вначале работе оператора, а затем препятствовать следящей системе наводить ось направляющего цилиндра на цель и удерживать ее в наведенном положении. Одновременные действия оператора и инструктора рассматриваются как антогонистическая игра, в которой каждый из игроков выбором своих стратегий стремится добиться наилучшего результата.

Для удобства дальнейшего исследования вводится понятие изображающей плоскости, причем системе координат на этой плоскости полностью соответствуют координаты точек монитора. Приводятся формулы вычисления координат точек монитора через установочные углы соответствующих линий визирования и соотношения для вычисления скорости изменения координат изображающей точки в зависимости от проекций угловой скорости вращения основания. (Здесь можно сделать замечание: на стр. 28 диссертации в неравенствах для углов установки линии визирования лучше заменить  $\pi/2$  на максимальные значения модулей углов, определяемые характеристиками видеокамеры). Предполагается, что оператор управляет скоростями изменений установочных углов линии визирования, получены формулы для вычисления скорости движения маркера на дисплее в зависимости от управлений, формируемых оператором. Формулируются задачи быстрогодействия для совмещения оси направляющего цилиндра с заданным направлением и стабилизации цилиндра в окрестности этого луча в условиях наихудших возмущений и отклонений начальных условий. Последняя называется задачей минимаксной оптимизации системы стабилизации направляющего цилиндра.

Взаимодействие оператора и инструктора, описанное выше как борьба двух индивидуумов, преследующих противоположные цели, в конце первой главы формулируется в виде антагонистической игры в нормальной форме. Здесь будет требоваться нахождение оптимальной стратегии для одного из

игроков при условии, что и второй игрок при этом действует оптимально. Таким образом, отыскиваются одновременно две стратегии, оптимальные в смысле заданного функционала. Отмечается, что важное место при этом будет занимать нахождение ситуации равновесия, то есть определение седловой точки.

**Вторая глава** посвящена решению задачи минимаксной стабилизации направляющего цилиндра в окрестности заданного луча, неподвижного относительно Земли. В качестве критерия качества стабилизации выбирается интегральный квадратичный функционал. Стабилизация достигается за счет введения обратной связи. Для движения основания выбирается модель перемещений машины Дубинса.

Глава начинается с детального изложения метода В.В.Александрова, опирающегося, в первую очередь, на использование уравнения А.М.Ляпунова и на применение метода шатров В.Г.Болтянского. Метод В.В.Александрова создан для построения управления, обеспечивающего оптимальную стабилизацию направляющего цилиндра при наличии наихудших возмущений, действующих на механическую систему. Отметим, что в дальнейшем этот метод в диссертации впервые применяется к динамической системе четвертого порядка.

В главе формулируются и решаются четыре задачи. Последняя из них посвящена исследованию некоего промежуточного движения, предшествующего второму этапу, занимающему в главе основное значение. Но так как промежуточный этап следует непосредственно за первым, то мы начинаем обсуждение именно с четвертой задачи. Она состоит в совмещении следящей системой (которая в своих действиях отстает от наведения оператором маркера на метку цели) линии направляющего цилиндра с зафиксированным оператором направлением на цель. Эта задача формулируется как задача о быстродействии. Так как применение принципа максимума Понтрягина приводит к краевой задаче восьмого порядка, не поддающейся аналитическому решению, то предлагается задачу в случае

линеаризации дифференциальных уравнений в окрестности начальных углов и начальных угловых скоростей решать численно методом пристрелки.

Остальные три задачи этой главы посвящены минимаксной стабилизации линии направляющего цилиндра в окрестности заданного оператором неподвижного луча. Эти задачи напрямую относятся ко второму этапу наведения на цель и решены методом В.В.Александрова. В этом случае коэффициенты обратных связей находятся из области устойчивости решений системы дифференциальных уравнений, построенной с учетом необходимого запаса устойчивости. В первой задаче линеаризируются уравнения Лагранжа второго рода и вводятся возмущения начальных условий. Рассматриваются функционалы качества наведения на конечном и бесконечном промежутках времени, причем во втором случае удается получить аналитическое решение задачи. Во второй и третьей задачах рассматриваются билинейные по координатам и возмущениям уравнения. Во второй задаче возмущения выбираются из множества постоянных функций, условия асимптотической устойчивости решений системы уравнений с параметрами находятся с помощью теоремы В.Л.Харитонова, а в третьей – из множества периодических функций, при этом с помощью преобразования Ляпунова система линейных дифференциальных уравнений приводится к стационарному виду. Пояснения построенных и использованных программ не даются, но приведенные результаты расчетов и графики представляются вполне достоверными.

**Третья глава** диссертации является наиболее обширной, в ней рассматриваются дифференциальные игры оператора и инструктора и разрабатывается математическое обеспечение для работы компьютерных и динамических тренажеров. Рассматривается ряд игровых задач целеуказания, решаемых на первом этапе наведения маркера оператора на цель. Главу можно разбить на пять частей.

В первых разделах главы для движения основания выбирается модель машины Дубинса. В *первой части* вначале решается задача качества, в которой исследуется возможность наведения маркера оператора на маркер

цели. Рассматривается игра оператора и цели, в которой при нашей формулировке задачи на плоскости цель (убегающий) движется по прямой, а догоняющий стремится совместиться с нею. Решение зависит от соотношения начальных данных и должно учитывать ресурсы управлений движущихся точек. Следующая задача посвящена дифференциальной игре быстрогодействия, в которой преследователь стремится минимизировать время до попадания в малую окрестность убегающего, а последний старается это время максимизировать. Находятся оптимальные управления для догоняющего и для убегающего.

В небольшой *второй части* обсуждается количественная оценка деятельности оператора, работающего в экстремальных условиях.

В *третьей части* главы продолжается обсуждение задачи максиминного тестирования, но для описания движения основания диссертант вводит расширенную модель машины Дубинса, предполагая возможность наклона основания на углы курса, тангажа и крена. Если при попытке решить задачу выбором чистых стратегий оказывается, что отсутствует седловая точка, то оптимальные стратегии игроков выбираются из класса смешанных стратегий.

*Четвертая часть* посвящена вычислению множеств достижимости игроков, по которым определяются возможности каждого из них. Здесь хочется отметить изящество выявления существования двух стационарных голономных связей, в конструировании которых использованы три первых интеграла системы дифференциальных уравнений линии визирования цели. Из-за наличия этих связей множество достижимости убегающего игрока оказывается трехмерным. Приведенное в диссертации описание пиксельного метода для определения множества достижимости демонстрирует громоздкость этого метода. Интересно, что использование пиксельного метода для определения множества достижимости дифференциальных уравнений линии визирования цели при разбиении равном 0.001, как следует из текста рассматриваемой работы, заняло 30 минут. Поэтому особенно удачным

оказывается предложенный автором быстрый метод подсчета достижимости системы дифференциальных уравнений, в которой неизвестные подчинены голономным связям. Важно, что применение этого метода в диссертации описано подробно, приводится методика нахождения оптимальных стратегий игроков, причем учитывается, что минимаксная программная стратегия догоняющего и максиминная программная стратегия убегающего лежат на границах множеств достижимости. Рассматриваются случаи необходимости перехода к отысканию смешанных оптимальных стратегий.

В *пятой части* главы обсуждаются компьютерный и динамический тренажеры целеуказания. Даются формулы для расчета управлений, приводящих игроков в требуемые положения, и два наглядных рисунка существования седловых точек в программных и смешанных стратегиях. Приводятся описание трехстепенного динамического стенда фирмы “Логос” и разработанного при участии автора диссертации алгоритма идентификации параметров стенда. Для проведения экспериментов строились многошаговые игры, состоявшие из одношаговых игр, изложенных в диссертации ранее. На компьютерном и динамическом стенде работало по пять испытуемых, каждый из которых производил трижды наведение на цель в течение тридцати секунд. Оценки их работы представлены на последнем рисунке диссертации, с выводами о полученных результатах оппонент не совсем согласен (см. Замечание 4).

В **Заключении** приводится довольно подробное тезисное описание содержания всех глав диссертации, при этом отмечены новые результаты автора и полученные им развития результатов других авторов.

В.В.Латонов, являющийся выпускником и аспирантом кафедры прикладной механики и управления МГУ, в своих исследованиях активно использовал богатый научно-методический материал, накопленный кафедрой. Помимо этого, в своей работе он профессионально пользуется современным аппаратом математического анализа, дифференциальных уравнений, высшей

геометрии, теории игр. Результаты его исследований отражены в четырех научных статьях, опубликованных в высокорейтинговых журналах, котируемых ВАК'ом, доложены на трех научных конференциях (в том числе на XII Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механике) и на семинарах ведущих кафедр теоретической механики России. Все это позволяет утверждать **актуальность избранной темы, высокую степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну** и не дает повода сомневаться в полученных результатах. Автореферат соответствует содержанию диссертации и позволяет составить достаточно полное представление о ней.

В целом представленная работа оставляет самое благоприятное впечатление, являясь законченным интересным исследованием, решившим на высоком научном уровне все поставленные в диссертации задачи. Но, тем не менее, и по ней, отвлекаясь от ряда небрежностей в тексте, касающихся правил орфографии и пунктуации, можно сделать ряд замечаний и комментариев.

1. В работе оппонент обучающемуся “оператору” называется либо “инструктором”, либо “водителем”. Предлагается называть его только “инструктором” (см. дополнительно следующий пункт).
2. В рассматриваемой работе изучается антагонистическая игра “оператор–инструктор”. В качестве продолжения темы диссертации интересно было бы построить кооперативную игру “оператор–водитель”, в которой второе лицо стремилось бы облегчить задачу оператора наведения линии визирования на цель. Именно здесь уместно употребление термина “водитель”. Очевидно, что такая игра способствовала бы важной цели – созданию сплоченного и высоко квалифицированного экипажа.

Более того, следующим этапом улучшения взаимодействия пары “водитель–оператор” можно предложить построить игру, отрабатывающую навыки для выполнения специфических маневров, препятствующих работе противоборствующего оператора (типа “противозенитных маневров”, применявшихся летчиками Второй мировой войны, когда они попадали в зону действия противовоздушной артиллерии противника).

3. Результаты проведенных экспериментов, изображенные на рис. 3.15, представляются недостаточно информативными. При наличии лишь трех попыток наведения визира на цель удалось выявить только тенденцию у проверяемых к обучению наведения на цель при использовании созданного математического обеспечения работы тренажера.

Более интересным было бы значительное увеличение количества подходов испытуемого к тренажеру с целью выяснения его устойчивого лучшего результата. В этом случае, во-первых, созданный комплекс выполнял бы именно свое предназначение тренажера, и, во-вторых, обработка результатов большого количества испытуемых дала бы возможность выработки обоснованного критерия профпригодности, которому должен удовлетворять проверяющийся для успешного исполнения функций оператора-наводчика линии визирования на цель. Отметим при этом, что конечные результаты, представленные на рис. 3.15, можно признать весьма посредственными, поэтому всем участникам полезна была бы именно тренировка на данных тренажерах (здесь использована преднамеренная тавтология).

Подчеркнем, что ряд высказанных рассуждений в той или иной мере были намечены в диссертации.



4. Желательно в дальнейшем учитывать более реальные движения платформы Стюарта, а не ограничиваться в основном моделью машины Дубинса (только в главе 3 частично рассматриваются более полно движения основания).
5. В диссертации для исследований активно применяется принцип максимума Понтрягина. В последнее время на кафедре теоретической и прикладной механики СПбГУ для решения ряда задач управления наряду с этим методом успешно применяется обобщенный принцип Гаусса, предложенный еще в 1983 году. Интересно было бы диссертанту посоветовать попытаться применить последний принцип в его последующих научных исследованиях.
6. В “Списке литературы”, насчитывающем 65 пунктов, излишнее внимание уделено перечислению тезисов докладов на различных конференциях А.В.Данилова, С.М.Зуева и Б.В.Трифоненко. В то же время не отражены как сами работы С.М.Зуева (кандидатская диссертация которого базировалась на методе В.В.Александрова построения обратной связи для стабилизации положения равновесия платформы динамического имитационного стенда), так и работы сотрудников той же кафедры теоретической и прикладной механики СПбГУ, опубликованные в “Докладах РАН” и в журнале “Вестник Санкт-Петербургского университета”, исследующие динамику нагруженной платформы Стюарта.

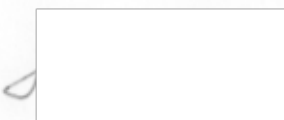
Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»

(по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель **ЛАТОНОВ Василий Васильевич** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры теоретической  
и прикладной механики  
математико-механического факультета  
«Федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования “Санкт-Петербургский  
государственный университет”  
(ФГБОУ ВО СПбГУ)»,  
профессор



ЮШКОВ Михаил Петрович

07 декабря 2019 г.

Контактные данные:

Тел.: +7-9[redacted], e-mail: [yushkovmp@mail.ru](mailto:yushkovmp@mail.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

01.02.01 – «Теоретическая механика»

Адрес места работы:

198504, Россия, Санкт-Петербург,  
Петергоф, Университетский пр., дом 28Д,



математико-механический факультет СПбГУ,  
кафедра теоретической и прикладной механики.  
Тел.: (812)-428-4165, (812)-428-4210;  
e-mail: [m.yushkov@spbu.ru](mailto:m.yushkov@spbu.ru)