Фогилев, Василий Александрович. Аналитические методы обработки и точность астронавигационных обсерваций : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.19 / Фогилев Василий Александрович; [Место защиты: Гос. мор. акад. им. адмирала С.О. Макарова].- Санкт-Петербург, 2012.- 157 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/91

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ "МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

**На правах рукописи**

**04201351307**

**Фогилев Василий Александрович**

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ТОЧНОСТЬ АСТРОНАВИГАЦИОННЫХ ОБСЕРВАЦИЙ**

**Специальность 05.22.19 - эксплуатация водного транспорта, судовождение**

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Б. А. Вульфович**

**Санкт-Петербург - 2012**

**Содержание**

**Введение 4**

**Г лава 1. Аналитические методы обработки астронавигационных обсерваций . 12**

1. **Анализ погрешностей астрономических обсерваций, присущих методу линий положения 12**
2. **Прямой аналитический метод обработки астрономических обсерваций ... 28**
3. **Аналитический метод Гаусса обработки астрономических обсерваций ... 31 Глава 2. Итерационный метод обработки астрономических обсерваций 35**
4. **Теория и рабочие алгоритмы итерационного метода 35**
5. **Сходимость итерационного процесса 54**

**Глава 3. Результаты эксперимента и их обработка методом линий положения. 58**

1. **Материалы эксперимента в море 58**
2. **Обработка серии с малым числом наблюдений 60**
3. **Результаты обработки экспериментального материала методом линий**

**положения и оценка точности обсерваций 68**

**Глава 4. Результаты обработки экспериментальных данных с помощью итерационного метода 81**

1. **Обработка результатов эксперимента методом итераций и оценка точности обсерваций 81**
2. **Сравнительный анализ результатов при обработке экспериментального**

**материала методом линий положения и с помощью метода итераций 90**

**Глава 5. Астрономические обсервации по трем звездам 98**

1. **Теоретические основы итерационного метода обработки астрономических обсерваций по трем звездам 98**
2. **Экспериментальные материалы астрономических обсерваций**

**по трем звездам 99**

1. **Результаты обработки выполненных астрономических обсерваций**

**по трем звездам методом линий положения и оценка точности обсерваций ..101**

1. **Обработка экспериментальных данных методом итераций и оценка точности астрономических обсерваций по трем звездам 114**

**з**

1. **Сравнительный анализ результатов при обработке экспериментальных астрономических обсерваций по трем звездам методом линий положения и с**

**помощью метода итераций 125**

**Заключение 135**

**Литература 138**

**Приложения 149**

**П. 1. Акт внедрения результатов диссертационной работы 150**

**П.2. Акт внедрения результатов диссертационной работы 152**

**П.З. Акт внедрения результатов диссертационной работы 154**

**П.4. Авторское свидетельство 156**

**П.5. Авторское свидетельство 157**

**Введение**

**Известно, что основной задачей судовождения является обеспечение безопасности мореплавания при сокращении времени перехода между портами, что требует надежного определения места судна в море.**

**К сожалению, уровень навигационной аварийности в настоящее время остается довольно высоким. Так, только аварии в результате посадки на мель судов российского транспортного и промыслового флотов превышают треть от общего числа аварий, а число судов мирового флота, гибнущих по этой причине, составляет (учитываются суда валовой вместимостью 500 per. т и более) 30-35 % всех погибающих судов, и эти аварии часто сопровождаются человеческими жертвами. Объем разливов нефтепродуктов при посадке судов на мель примерно в два раза больше, чем при всех других видах аварий вместе взятых, что зачастую наносит непоправимый урон окружающей среде [35], [52], [95]. В связи с увеличением водоизмещения и скоростей судов средние убытки от каждой аварии возрастают, что является особенно ощутимым в условиях мирового финансового кризиса. Учитывая, что одной из главных целей снижения навигационной аварийности является охрана человеческой жизни на море и природной среды от загрязнения, следует отметить, что снижение навигационной аварийности имеет большое экономическое значение.**

**В судовождении штурманский метод является основным; он состоит в непрерывном ведении счисления и регулярных определениях места судна. Вопрос о методах, которые целесообразно применять для определения местоположения судна, - один из наиболее актуальных на сегодняшний день. Результаты обсерваций содержат информацию о положении судна относительно опасностей, служат для контроля и коррекции счисления. Если определения места выполняются достаточно часто или непрерывно, что возможно при автоматизации этого процесса, то счисление играет вспомогательную роль. В большинстве случаев навигационная безопасность зависит прежде всего от частоты и точности определений места, вследствие чего определение места судна относят к основным оперативным задачам навигации.**

**Теория определения места судна создавалась усилиями многих поколений ученых и моряков - представителей разных стран. Однако долгое время разные способы навигационных и астрономических определений разрабатывались без учета их взаимной связи. Ситуация существенным образом изменилась благодаря разработанному профессором В. В. Каврайским в 50-х годах XX века обобщенному методу линий положения [38]. Основное достоинство этого метода состоит в его универсальности, заключающейся в том, что он охватывает не только применяемые до настоящего времени способы определений, но и те, которые могут быть разработаны в будущем. Введение понятия "градиент навигационного параметра" оказалось исключительно важным не только для расчета элементов линий положения, но и для оценки точности как самих этих линий, так и обсервованного места судна.**

**Вместе с тем в результате развития навигационной и вычислительной техники, разработки автоматизированных комплексов и изучение свойств навигационной информации был выявлен ряд проблем, касающихся определения места и оценки его точности, которые, как оказалось, не охватываются обобщенным методом линий положения.**

**Для астронавигационных определений места на практике до сих пор используется метод линий положения в его графоаналитическом варианте. Толкование понятия линии положения только как касательной к изолинии сохранилось и после В. В. Каврайского, который рассматривал касательную лишь как один из вариантов линий положения. Разрабатывая метод линий положения, В. В. Каврайский специально приспосабливал его к меркаторской проекции для работы вручную с использованием таблиц и графических построений. Для этого разности долгот заменяются отшествиями, а уравнения линий положения приводятся к нормальному виду путем деления на модули градиентов, что позволяет строить линии положения единообразно при любом их происхождении. При решении задач с помощью электронных вычислительных машин (ЭВМ) названные преобразования лишь усложняют алгоритмы и оказываются излишними.**

**Следует отметить, что в практике решения основных задач навигации произошли существенные изменения, которые нуждаются в обобщении. Во-первых, были разработаны практические рекомендации на базе новых теоретических разработок, посвященных методике определения места судна [7], [74], [80]. Во-вторых, в связи с развитием глобальных спутниковых навигационных систем требуется обобщение особенностей практического использования этих систем. В-третьих, широкое распространение на судах получили навигационные комплексы и информационные системы. Анализ ряда навигационных аварий и разработка прикладного программного обеспечения для ЭВМ автоматизированных комплексов свидетельствуют о том, что вопросы выбора безопасного пути судна, оценки точности определений его места и оценки надежности навигации также нуждаются в обобщении.**

**Актуальность работы. Внедрение в современную практику судовождения новейших спутниковых систем и ЭВМ для определения места судна не умаляет значимости традиционных методов навигации, в частности астрономических. Применение методов мореходной астрономии с использованием магнитного компаса и простейшего лага-вертушки обеспечивает автономную ориентировку судна в открытом море, что чрезвычайно важно в наше время, когда аварийные ситуации и террористические акты на море практически непредсказуемы.**

**Астрономические методики получения обсервованного места судна имеют три существенных преимущества по сравнению с современными навигационными системами.**

**Во-первых, это отмеченная выше автономность, ибо небесные светила являются природными "датчиками" навигационной информации и этих датчиков достаточно много, что позволяет одновременно выполнять измерения для расчета элементов нескольких изолиний (изостадий, циклических кривых) или их линий положения. Небесные светила позволяют определять координаты судна в любой части Мирового океана. Практически нет препятствий для выполнения астрономических обсерваций при выходе из строя электрооборудования.**

**Во-вторых, астрономические обсервации весьма дешевы вследствие использования при выполнении наблюдений простейших приборов: секстана, хронометра, секундомера, звездного глобуса и калькулятора (программи­руемого).**

**В-третьих, в условиях возрастающих угроз со стороны международного терроризма в открытом море при выходе из строя навигационного оборудования или систем энергообеспечения, в случаях природных катаклизмов, а также при нестабильной работе навигационных систем или отсутствии спутниковых сигналов [4] единственными доступными способами обсервации остаются классические методы мореходной астрономии.**

**Как и любые виды обсерваций в открытом море, астрономические методы обладают рядом недостатков. Одни недостатки изначально присущи этим методам, другие допускают если не полное устранение, то существенное ослабление их влияния.**

**К недостаткам, изначально затрудняющим применение астрономических методов, следует отнести ограниченность временного интервала в периоды сумерек, когда достаточно четко видна линия горизонта при допустимой яркости звезд; нередкое наличие облачности; невысокую точность измерения высот светил, ибо техника таких измерений граничит с искусством; необходимость синхронизации момента измерения высоты в вертикале светила с показаниями секундомера; возможные серьезные погрешности в измерении высоты светила вне его вертикала.**

**Широкое внедрение сверхдорогих стабилизирующих устройств, инфракрасной техники и интегрирующих систем существенно удорожило бы астрономические обсервации, обесценив указанные выше преимущества классического метода мореходной астрономии, заключающиеся главным образом в элементарной технической базе и независимости от исправной работы энергосистем судна. А именно с помощью методов классической**

**астронавигации были сделаны все географические открытия и успешно осуществлялось торговое мореплавание с XVI и вплоть до первой половины XX века.**

**Метод определения географических координат места судна по высотам двух и более небесных светил, измеренным в произвольных азимутах, является наиболее универсальным. При наблюдении двух светил точность определения места судна (ер;** *X)* **зависит не от величин азимутов, а лишь от их разности [50]. При астрономическом определении места судна в ночное время суток всегда можно почти одновременно измерить высоты двух и более ярких звезд. В светлое время суток астронавигационные обсервации могут быть выполнены по Солнцу и Луне. Выполнение серий наблюдений, состоящих из определения трех и более значений, позволяет существенно ослабить влияние случайных погрешностей и исключить систематическую погрешность. Кроме того точность ночных астрономических обсерваций практически не зависит от погрешностей в определении пройденного расстояния и истинного курса судна, т. е. от погрешностей навигационного счисления.**

**К недостаткам астрономических методов, которые допускают ослабление или устранение их влияния, относится главным образом традиционная графоаналитическая методика обработки измеренных высот, основанная на методе линий положения.**

**Несмотря на этот недостаток и ряд менее существенных, а также снижение интереса к мореходной астрономии, методы астронавигации не утратили своей актуальности. Согласно Международной конвенции ПДМНВ-78 "Правила дипломирования моряков и несения вахты", разработанной и утвержденной Международной морской организацией (ИМО) (глава И, разделы A-II/1, A-II/2), в состав обязательных минимальных требований для дипломирования капитанов, старпомов и вахтенных помощников капитана судов валовой вместимостью 500 per. т и более входит умение использовать небесные тела для определения местоположения судна. Критерием оценки этого умения является определение местоположения судна с помощью астрономических методов с вероятностной обеспеченностью 95 % [66].**

**В ряде ведущих морских держав (США, Великобритания, Франция) совершенствованию методов измерения высот и обработки астрономических обсерваций уделяется большое внимание. Например, в США на курс мореходной астрономии в морских академиях отводится 133 ч (модельный курс ИМО предусматривает 128 ч). В Морской академии ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет" (МГТУ) объем такого курса увеличен с 73 до 112 ч [114].**

**Очевидно, что высокотехнологичные страны осознают важность совершенствования классических методов мореходной астрономии, учитывая их преимущества, перечисленные выше.**

**Дешевизна, а также независимость методов мореходной астрономии от исправной работы энергетических систем судна обеспечивается, как было отмечено выше, простотой инструментальной базы, а также необходимостью использования лишь двух-трех пособий. Исходная процедура астрономической обсервации - измерение высот светил секстаном остается неизменной в течение сотен лет. Как было отмечено выше, процедура снятия высот светил граничит с искусством и практическое владение навыками ее выполнения является предметом профессиональной гордости моряков.**

**Учитывая современные реалии, следует отметить, что особенно актуальным является развитие методов обработки измеренных высот. Применяемая до настоящего времени графоаналитическая методика обработки остается фактически единственной изучаемой в морских академиях мира, что странным образом сочетается с признанием важности самой дисциплины. Безусловно, это не должно препятствовать пересмотру классических методов обработки информации.**

**В основе предлагаемой работы лежит известная идея отказа от использования для определения места судна общепринятого метода линий положения (касательных) и последующей графической прокладки этих линий на бумаге. Вместо линий положения (касательных) рассматриваются исходные изолинии-изостадии - малые круги на небесной сфере со сферическими радиусами** *z0l* **= 90° -** *h0l.*

**При таком подходе, во-первых, отпадает необходимость в выполнении трудоемкого расчета счислимых значений высот, во-вторых, устраняется принципиальная погрешность от замены изолиний (дуг кривых) их линиями положения (касательными к этим дугам), на которую накладывается погрешность графического построения. В итоге обсервованное место судна** *М0* **как точка пересечения изолиний будет находиться гораздо ближе к истинному месту, чем точка пересечения касательных к изолиниям (линиям положения). Общая погрешность при этом может достигать нескольких миль при плохом знании счислимого места в упомянутых выше критических ситуациях.**

**Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо решить следующие задачи:**

1. **Выполнить анализ графоаналитического и аналитических методов обработки астронавигационных обсерваций.**
2. **Разработать оптимальный алгоритм автоматизированной обработки астронавигационных обсерваций, основанный на одном из аналитических методов обработки - итерационном.**
3. **Провести сравнительный анализ результатов обработки материалов натурного эксперимента по традиционной графоаналитической методике и по разработанному в рамках проведенного исследования методу итераций.**
4. **Выполнить анализ реальной точности астронавигационных обсерваций на основе GPS (Global Position System) координат судна.**
5. **Разработать методику обработки серии измерений навигационного параметра с малым числом наблюдений с учетом критерия внутренней сходимости.**
6. **Разработать тренажерную систему и методику обучения измерению высот светил в лабораторных условиях.**

**Названные и примыкающие к ним проблемы нечасто, но все же привле­кают внимание специалистов. Они обсуждаются в научных статьях и на конфе­ренциях, но в повседневной практике судовождения решаются нечасто и не нашли отражения в учебной и технической литературе, предназначенной для обучения судоводителей. Предлагаемую работу следует рассматривать как одну из попыток реализовать указанные выше цели.**

Описание механизмов решения поставленных выше задач последовательно представлено в главах диссертационной работы.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Исходя из результатов выполненной работы, можно сделать вывод о том, что основная роль методов мореходной астрономии в настоящее время заключается в том, что они остаются общедоступными и позволяют обеспечить автономное резервное определение места судна с достаточной точностью для осуществления безопасного мореплавания в условиях открытого моря при чрезвычайных обстоятельствах.**

**Внедрение в практику судовождения новейших спутниковых систем и ЭВМ для определения места судна не умаляет роли традиционных методов навигации, в частности астрономических, ввиду их полной автономности и использования простейших технических средств, что чрезвычайно важно в настоящее время, когда аварийные ситуации, сбои и нестабильная работа спутниковых навигационных систем, природные катаклизмы, а также террористические акты на море практически непредсказуемы.**

**Учитывая современные реалии, основной вектор дальнейшего развития астронавигации заключается в совершенствовании методов обработки результатов измерения высот светил. Применяемая до настоящего времени графоаналитическая методика остается фактически единственной изучаемой в морских учебных заведениях мира. В основе выполненной работы лежит идея отказа от использования для определения места судна общепринятого метода линий положения (касательных) и последующей графической прокладки этих линий на бумаге. Вместо линий положения (касательных) рассматриваются исходные изолинии-изостадии - малые круги на небесной сфере со сферическими радиусами z0, = 90° — /г0/.**

**В соответствии с поставленными целями в диссертации получены следующие результаты:**

1. **Выполнен подробный и всесторонний анализ графоаналитического и аналитических методов обработки астронавигационных обсерваций. Выявлены значительные погрешности аналитического и геометрического характера, присущие графоаналитической методике при больших переносах;**

**так, средняя результирующая погрешность положения одной высотной линии составляет порядка 4,4'. При этом время обработки данных достигает 45-50 мин. Показана нецелесообразность применения любого из двух аналитических методов обработки: как алгебраического, так и метода Гаусса. К наиболее значительным их недостаткам следует отнести: весьма сложные логические и схемы прикладных вычислительных систем, высокие технические требования к аппаратным средствам, отсутствие промежуточного контроля и автоматической корректировки вычислительного процесса.**

1. **Обоснована целесообразность обработки астронавигационных обсерваций с помощью итерационного метода; разработан его алгоритм и программа обработки для стандартного программируемого калькулятора, что занимает не более 35-40 с. В чрезвычайных ситуациях, при выходе из строя навигационного оборудования или систем энергообеспечения этот метод позволяет максимально быстро и точно получить обсервованное место судна. При этом критерий сходимости в |0,2'| обеспечивается несколькими итерационными циклами в районе счислимого места. При использовании специальной математической программы на ЭВМ время итеративной обработки сокращается до 5-6 с.**
2. **Представлены итоги детального сравнительного анализа результатов обработки материалов натурного эксперимента по традиционной графоаналитической методике и по разработанному методу итераций. Доказано, что при этом радиальная погрешность уменьшается с 3,4 до 2,9' (при вероятности *Р =* 95 %) для астрономических обсерваций по двум звездам и с 3,0 до 2,2' (при вероятности *Р =* 95 %) для астрономических обсерваций по трем звездам.**
3. **Экспериментально определены апостериорные реальные точности астронавигационных обсерваций по двум звездам и трем звездам, вычисленные с использованием координат GPS в качестве счислимых координат судна, что подтверждает истинность величин радиальной погрешности 2,9 и 2,2 м. мили соответственно.**
4. **Предложена к внедрению разработанная методика нахождения вероятнейшего значения результата из серии малого числа измерений навигационного параметра, основанная на критерии внутренней сходимости - с использованием весов отдельных измерений, обратно пропорциональных сумме квадратов их отклонений друг от друга.**
5. **Разработана уникальная программная система, специальная тренажерная установка, а также методика обучения измерению высот светил в аудиторных условиях, что позволяет повысить качество учебного процесса на судоводительских факультетах морских учебных заведений мира.**

**Результаты выполненных исследований прежде всего необходимо внедрять в учебный процесс морских учебных заведений мира. Это позволит их выпускникам при несении штурманской вахты использовать аналитические методы во время выполнения астронавигационных определений места судна. Полученные результаты в доступной форме должны найти отражение в учебниках, учебных пособиях по мореходной астрономии, а затем и в офици­альных инструкциях и пособиях для судоводителей как в Российской Федерации, так и за ее пределами.**

**ЛИТЕРАТУРА**

1. **Анисимов, А. Н. Модель многопараметрического контроля состояния безопасной эксплуатации судна и ее структурный анализ / А. Н. Анисимов, В. И. Меньшиков, Д. М. Фургаса // Вестн. МГТУ : труды Мурман. гос. техн. ун-та. - 2007. - Т. 10, № 4 - С. 594-599.**
2. **Асламова, В. С. Вычислительная математика / В. С. Асламова,**
3. **Г. Колмогоров, Н. Н. Ступакова. - Ангарск : Изд-во АГТА, 2003. - 82 с.**
4. **Баклицкий, В. К. Корреляционно-экстремальные методы навигации /**
5. **К. Баклицкий, А. Н. Юрьев. - М. : Радио и связь, 1982. - 256 с.**
6. **Бермишев, А. А. Некоторые результаты эксперимента по исследованию навишационной обстановки при переходе по Северному пути / А. А. Бермишев // Новости навигации. - 2007. - № 4. - С. 23-28.**
7. **Богоуславский, И. А. Методы навигации и управления по неполной статистической информации / И. А. Богоуславский. - М. : Машиностроение, 1970.-256 с.**
8. **Большаков, В. Д. Теория математической обработки геодезических измерений / В. Д. Большаков, П. А. Гайдаев. - М. : Недра, 1977. - 367 с.**
9. **Большаков, В. Д. Теория ошибок наблюдений / В. Д. Большаков. - М. : Недра, 1983. -223 с.**
10. **Вагущенко, Л. Л. Выявление промахов навигационных измерений / Л. Л. Вагущенко // Судовождение : сборник. - 1977. - Вып. 21. - С. 15-20.**
11. **Вагущенко, Л. Л. Обработка навигационных данных на ЭВМ / Л. Л. Вагущенко. - М. : Транспорт, 1985. - 144 с.**
12. **Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. - М. : Наука, 1973.-564 с.**
13. **Видуев, Н. Г. Математическая обработка геодезических измерений /**

**Н. Г. Видуев, А. Г. Григоренко. - Киев. : Вища шк., 1978. - 376 с.**

1. **Виленкин, Н. *Я.* Метод последовательных приближений / Н. *Я.* Ви­ленкин. - М. : Наука, 1968. - 108 с.**
2. **Воскобойников, Ю. Э. Программирование и решение задач в пакете MatchCAD / Ю. Э. Воскобойников, В. Ф. Очков. - Новосибирск : Изд-во НГАСУ, 2002.- 136 с.**
3. **Вульфович, Б. А. Методы расчета основных элементов навигационных изолиний / Б. А. Вульфович. - М. : Пищ. пром-сть, 1974. - 156 с.**
4. **Вульфович, Б. А. Об оценке навигационного параметра по малой серии наблюдений / Б. А. Вульфович, В. А. Фогилев // Эксплуатация морского транспорта : ежеквартальный сб. науч. статей. - 2009. - № 1 (55). - С. 29-32.**
5. **Вульфович, Б. А. Повышение реальной точности результатов измерений в навигации / Б. А. Вульфович, В. А. Фогилев // Тезисы докл. науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. работников и курсантов ГМА им. адм. С. О. Макарова. - СПб, 2009. - С. 240-245.**
6. **Вульфович, Б. А. Реальная оценка точности места судна, определенного астрономическими методами / Б. А. Вульфович // Записки по гидрографии. - 1989. -№ 223. - С. 25-31.**
7. **Вульфович, Б. А. Оценка параметров малых рядов наблюдений / Б. А. Вульфович // Записки по гидрографии. - 1994. - № 230. - С. 20-24.**
8. **Вульфович, Б. А. Специфика и реальная точность астрономических обсерваций в высоких широтах / Б. А. Вульфович, Р. С. Сорокин, В. А. Фогилев // Наука и образование - 2006 [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-техн. конф. / Мурман. гос. техн. ун-т. Электрон, текст дан. (16 Мб). - Мурманск : МГТУ, 2006. - 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). - С. 938-939. - Гос. per. НТЦ "Информрегистр" № 0320501517 от 23.11.2005 г.**
9. **Вульфович, Б. А. Реальная точность астрономических обсерваций по двум звездам / Б. А. Вульфович, В. А. Фогилев // Наука и образование - 2007 [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-техн. конф. / Мурман. гос. техн. ун-т. - Электрон, текст дан. (18 Мб). - Мурманск : МГТУ, 2007. - 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). - С. 1066-1072. - Гос. per. НТЦ "Информрегистр" № 0320700491 от 05.03.2007 г.**
10. **Вульфович, Б. А. Обработка астрономических обсерваций по звездам с помощью пакета прикладных математических программ / Б. А. Вульфович,**

**В. А. Фогилев // Наука и образование - 2008 [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-техн. конф. / Мурман. гос. техн. ун-т. - Электрон, текст дан. (20 Мб). - Мурманск : МГТУ, 2008. - 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). - С. 168— 171. — Г ос. per. НТЦ "Информрегистр" № 0320800238 от 21.01.2008 г.**

1. **Вульфович, Б. А. Основы судовождения / Б. А. Вульфович. - Мурманск : МГТУ, 2008. - 150 с.**
2. **Вульфович, Б. А К вопросу о применении современных информационных технологий при астронавигационном определении места судна / Б. А. Вульфович, В. А. Фогилев // Вестн. МГТУ : труды Мурман. гос. техн. ун-та. - 2008. - Т. 11, № 3. - С. 446-450.**
3. **Вульфович, Б. А. Экспериментальное определение точности астрономических обсерваций по двум звездам при обработке по методу линий положения / Б. А. Вульфович, В. А. Фогилев, Р. С. Сорокин // Вестн. МГТУ : труды Мурман. гос. техн. ун-та. - 2008. - Т. 11, № 3. - С. 442-445.**
4. **Гаврюк, М. И. Астронавигационные определения места судна / М. И. Гаврюк. - М. : Транспорт, 1973. - 176 с.**
5. **Гаврюк, М. И. Использование малых вычислительных машин при решении задач судовождения / М. И. Гаврюк. - М. : Транспорт, 1980. - 237 с.**
6. **Галошин, И. А. Последовательное уточнение места судна с учетом взаимной связи определений / И А. Галошин // Гидрография и гидрометео­рология : сборник. - 1974. - Вып. 3. - С. 34^10.**
7. **Ганьшин, В. Н. Геометрия земного эллипсоида / В. Н. Ганылин. - М. : Недра, 1967,- 115 с.**
8. **Гаспаров, Д. В. Малая выборка / Д. В. Гаспаров, В. И. Шаповалов. - М. : Статистика, 1978. -248 с.**
9. **Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика /**

**В. Е. Гмурман. - М. : Высш. шк., 1987. - 499 с.**

1. **Гольдфайн, И. А. Векторный анализ и теория поля / И. А. Гольдфайн. - М. : Наука, 1968. - 128 с.**
2. **Громов, Г. Н. Дифференциально-геометрический метод навгации / Г. Н. Громов. - М. : Радио связь, 1986. - 384 с.**
3. **Денисов, К. Н. Автоматизация последовательного вычисления**

**координат места судна / К. Н. Денисов, А. Е. Сазонов, Ю. М. Филиппов // Судовождение. - 1960. - Вып. 1. - С. 83-87.**

1. **Денисов, К. Н. Механизация и автоматизация вычислительных работ в судовождении / К. Н. Денисов, Г. А. Караськов, Е. В. Якшевич. - М. : Транспорт, 1969. - 144 с.**
2. **Долматов, Б. П. Сравнительная оценка таблиц и пособий мореходной астрономии / Б. П. Долматов. - М. : Транспорт, 1965. - 139 с.**
3. **Долматов, Б. П. Автоматизация навигационных и промысловых**

**расчетов / Б. П. Долматов, В. А. Орлов, Ю. В. Шишло. - Мурманск. : Кн. изд-во, 1977. - 175 с.**

1. **Дьяконов, В. Ф. Определение места судна по солнцу / В. Ф. Дьяко­нов. - JI. : Мор. транспорт, 1958. - 240 с.**
2. **Дьяконов, В. Ф. Применение косвенного аналитического метода**

**определения широты и долготы места судна при машинном решении задач мореходной астрономии / В. Ф. Дьяконов // Судовождение : сборник. - 1969. - Вып. 10.-С. 71-84.**

1. **Дьяконов, В. Ф. Применение способа наименьших квадратов для решения задач судовождения / В. Ф. Дьяконов, JI. Ф. Черниев, А. П. Демин // Судовождение : сборник. - 1974. - Вып. 14. - С. 67-73.**
2. **Загускин, В. JI. Справочник по численным методам решения**

**алгебраических и трансцендентных уравнений / В. JI. Загускин. - М. : Физматгиз, 1960. - 216 с.**

1. **Зайцев, В. В. Численные методы для физиков. Нелинейные уравнения и оптимизация : учеб. пособие / В. В. Зайцев, В. М. Трещев. - Самара : Изд-во СГУ, 2005.- 86 с.**
2. **Зельдович, Я. Б. Элементы прикладной математики / Я. Б. Зельдович,**
3. **Д. Мышкис. - М. : Наука, 1967. - 646 с.**
4. **Земляновский, Д. К. Теоретические основы безопасности плавания судов / Д. К. Земляновский. - М. : Транспорт, 1973. - 224 с.**
5. **Зурабов, Ю. Г. Определение взаимной корреляции ошибок измерений / Ю. Г. Зурабов // Судовождение и связь : тр. ЦНИИМФ. - 1970. - Вып. 124. -**

**С. 14-25.**

1. **Каврайский, В. В. Астрономия и геодезия / В. В. Каврайский. - М. : Издание Управления начальника Гидрогр. службы ВМФ, 1956. - 360 с.**
2. **Кемиц, Ю. В. Теория ошибок измерений / Ю. В. Кемиц, В. Д. Боль­шаков. - М. : Недра, 1967. - 175 с.**
3. **Кемиц, Ю. В. Математическая обработка зависимых результатов измерений / Ю. В. Кемиц. - М. : Недра, 1970. - 188 с.**
4. **Кожухов, В. П. Математические основы судовождения / В. П. Ко­жухов, В. В. Григорьев, С. М. Лукин. -М .: Транспорт, 1987. - 231 с.**
5. **Козырь, Л. А. Применение ЭКВМ в судовождении / Л. А. Козырь,**
6. **Т. Кондрашихин // Мор. флот. - 1976. - № 4. - С. 33-34.**
7. **Кондрашихин, В. Т. Обработка информации для программированного плавания судов / В. Т. Кондрашихин // Судовождение и связь : тр. ЦНИИМФ. - 1961.-Вып. 39.-С. 12-17.**
8. **Кондрашихин, В. Т. Оценка точности обсерваций при взаимо­зависимых ошибках наблюдений / В. Т. Кондрашихин // Судовождение и связь : тр. ЦНИИМФ. - 1963. -Вып. 102.-С. 51-55.**
9. **Кондрашихин, В. Т. Определение статистических характеристик навигационной информации / В. Т. Кондрашихин // Судовождение и связь : тр. ЦНИИМФ. - 1968. - Вып. 97. - С. 3-13.**
10. **Кондрашихин, В. Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения / В. Т. Кондрашихин. - М. : Транспорт, 1969. - 256 с.**
11. **Кондрашихин, В. Т. Астрономические определения места судна и поправки компаса / В. Т. Кондрашихин. - М. : Транспорт, 1971. - 111 с.**
12. **Кондрашихин, В. Т. Зависимость между точностью и надежностью навигации / В. Т. Кондрашихин // Судовождение и связь : тр. ЦНИИМФ. - 1973.-Вып. 173. -С. 41-49.**
13. **Кондрашихин, В. Т. Определение места судна / В. Т. Кондрашихин. - М. : Транспорт, 1989. - 232 с.**
14. **Котельников, Р. Б. Анализ результатов измерений / Р. Б. Котельни­ков. - JI. : Энергоатомиздат, 1986. - 144 с.**
15. **Коугия, В. А. Геодезические сети на море / В. А. Коугия, А. И. Со­рокин. - М. : Недра, 1979. - 272 с.**
16. **Коугия, В. А. Геодезические измерения с помощью искусственных спутников Земли : учеб. пособие / В. А. Коугия. - СПб. : С.-Петерб. гос. ун-т путей сообщения, 1997. - 31 с.**
17. **Красавцев, Б. И. Мореходная астрономия / Б. И. Красавцев,**

**Б. П. Хлюстин. - JI. : Мор. транспорт, 1960. - 492 с.**

1. **Красавцев, Б. И. Инструменты и методы мореходной астрономии /**

**Б. И. Красавцев. - М. : Транспорт, 1966. - 86 с.**

1. **Левитский, В. А. Алгоритм вычисления видимых экваториальных координат звезд на любой момент текущего года с помощью малогабаритных электронных клавишных вычислительных машин / В. А. Левитский // Судовождение : сборник. - 1976. - Вып. 20. - С. 5-14.**
2. **Лесков, М. М. Инструменты и методы мореходной астрономии / М. М. Лесков, М. И. Гаврюк. - М. : Транспорт, 1964. - 136 с.**
3. **Лукьянов, В. Ф. К вопросу определения и предвычисления оценок коэффициента корреляции / В. Ф. Лукьянов // Геодезия и аэрофотосъемка : изв. вузов. - 1969. - Вып. 5. - С. 41—44.**
4. **Макаров, Г. В. Поисковый метод оценки точности места судна / Г. В. Макаров // Судовождение : сборник. - 1980. - Вып. 25. - С. 131-135.**
5. **Макаров, Г. В. Оценка точности при поисковых методах уравнивания / Г. В. Макаров, В. А. Афанасьев, Б. А. Афанасьев // Геодезия и картография. - 1981.-№ 11.-С. 20-22.**
6. **Мальцев, Б. А. Использование разновременных линий положения в судовождении / Б. А. Мальцев. - М. : Мор. транспорт, 1962. - 140 с.**
7. **Международная конвенция ПДМНВ-78/95. - СПб. : ЗАО ЦНИИМФ, 1996. - 522 с.**
8. **Меньшиков, В. И. Элементы теории управления безопасностью судоходства / В. И. Меньшиков, В. М. Глущенко, А. Н. Анисимов. - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2000. - 242 с.**
9. **Морозов, В. П. Курс сферической геодезии / В. П. Морозов. - М. : Недра, 1979. - 296 с.**
10. **Никифоров, Б. И. Системы координат, уклонения отвесных линий и точность обсерваций / Б. И. Никифоров, С. И. Запасский // Гидрография и гидрометеорология : сборник. - 1972. - Вып. 1. - С. 3-7.**
11. **Никифоров, Б. И. Систематические погрешности / Б. И. Никифоров // Гидрография и гидрометеорология : сборник. - 1974. - Вып. 4. - С. 21-30.**
12. **Никифоров, Б. И. Математическая обработка зависимых величин / Б. И. Никифоров, Г. В. Макаров. - М. : Рекламинформбюро ММФ, 1976. -100 с.**
13. **Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. - JI. : Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.**
14. **Пустыльник, Н. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Н. И. Пустыльник. - М. : Наука, 1968. - 288 с.**
15. **Ривкин, С. С. Статистическая оптимизация навигационных систем /**

**С. С. Ривкин, Р. И. Ивановский, А. В. Костров. - JI. : Судостроение, 1976. - 280 с.**

1. **Рыбалтовский, Н. Ю. Практическая мореходная астрономия /НЮ. Ры- балтовский. - М. : Транспорт, 1964. - 126 с.**
2. **Сазонов, А. Е. Некоторые вопросы использования последовательного метода для решения задач судовождения / А. Е. Сазонов, Ю.М. Филиппов // Судовождение : сборник. - 1977. - Вып. 22. - С. 12-26.**
3. **Сазонов, А. Е. Вычислительная техника в судовождении / А. Е. Са­зонов. - М. : Транспорт, 1982. - 176 с.**
4. **Сазонов, А. Е. Автоматизация судовождения / А. Е. Сазонов, А. И. Ро­дионов. - М. : Транспорт, 1983. - 216 с.**
5. **Свешников, А. А. Основы теории ошибок / А. А. Свешников. - JI. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1972. - 124 с.**
6. **Скворцов, М. И. Систематические погрешности в судовождении / М. И. Скворцов. - М. : Транспорт, 1980. - 168 с.**
7. **Слатин, К. В. Толкаемые составы смешанного "река - море" плава­ния - решение важнейших проблем водного транспорта России / К. В. Слатин, Б. А. Атлас, М. И. Войников [и др.] // Судостроение. - 2010. - № 3. - С. 18-22.**
8. **Смирнов, Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии / Н. В. Смирнов, Д. А. Белугин. - М. : Недра, 1969. - 379 с.**
9. **Смирнов, Н. В. Об оценке максимального члена в ряду наблюдений /**

**Н. В. Смирнов // Теория вероятностей и математическая статистика : избр. тр.-М., 1970.-С. 128-132.**

1. **Соболев, В. И. Информационно-статистическая теория измерений /**

**В. И. Соболев. - М. : Машиностроение, 1983. - 224 с.**

1. **Сорокин, А. И. Трансалгебраические функции и их применение / А. И. Сорокин. - СПб. : Прогресс-Погода, 1996. - 91 с.**
2. **Сорокин, А. И. О влиянии закона распределения погрешностей измерения океанографических и навигационных параметров на доверительную вероятность оценки математического ожидания / А. И. Сорокин // Навигация и гидрография. - 2000. - № 9. - С. 43-46.**
3. **Сорокин, А. И. Труды по гидрографии и смежным наукам / А. И. Со­рокин. - СПб. : ЦКП ВМФ, 2008. - 408 с.**
4. **Филиппов, Ю. М. Теоретические основы судовождения / Ю. М. Фи­липпов, А. Е. Сазонов. - JL : Судостроение, 1970. - 312 с.**
5. **Филиппов, Ю. М. Строгое последовательное уточнение счислимого места в случае одновременных линий положения / Ю. М. Филиппов, А. Е. Са­зонов // Судовождение : сборник. - 1962. - Вып. 2. - С. 65-69.**
6. **Фирсов, Ю. Г. Совместная последовательная обработка навигацион­ных параметров в условиях океанского плавания / Ю. Г. Фирсов // Судовождение : сборник. - 1976. - Вып. 20. - С. 49-56.**
7. **Фирсов, Ю. Г. Определение места судна по разновременным навигационным параметрам с учетом их взаимозависимости / Ю. Г. Фирсов // Судовождение : сборник. - 1977. - Вып. 19. - С. 9-16.**
8. **Фогилев, В. А. Астрономические обсервации по двум звездам: реальная точность выполняемых вычислений / В. А. Фогилев // Эксплуатация морского транспорта : ежеквартальный сб. науч. ст. - 2008. - № 2 (52). -**

**С. 29-34.**

1. **Фогилев, В. А. Возможности альтернативных методов обработки астрономических обсерваций по звездам в море / В. А. Фогилев // Эксплуатация морского транспорта : ежеквартальный сб. науч. ст. - 2008. - № 3 (53). -**

**С. 41-43.**

1. **Фогилев, В. А. К вопросу о применении мореходной астрономии в современной практике судовождения / В. А. Фогилев // Естественные и технические науки. - 2009. - № 1 (39). - С. 347-349.**
2. **Фогилев, В. А. Использование мореходной астрономии для обес­печения безопасности мореплавания в начале третьего тысячелетия / В. А. Фо­гилев // Наука и образование - 2009 [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-техн. конф. / Мурман. гос. техн. ун-т. - Электрон, текст дан. (181 Мб). - Мурманск : МГТУ, 2009. - 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). -**

**С. 1006-1008. - Гос. per. НТЦ "Информрегистр" № 0320900170.**

1. **Фогилев, В. А. Практическая реализация астронавигационных способов определения координат судна на основе новых принципов / В. А. Фо­гилев // Естественные и технические науки. - 2009. - № 3 (41). - С. 421-422.**
2. **Фогилев, В. А. Аналитические методы обработки астронавигационных обсерваций / В. А. Фогилев // Наука и образование - 2010 [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-техн. конф. / Мурман. гос. техн. ун-т. -**

**Электрон, текст дан. (139 Мб). Мурманск : МГТУ, 2010. - 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). - С. 1202-1204. - Гос. per. НТЦ "Информрегистр" № 0321000362.**

**ЮО.Щиголев, Б. М. Математическая обработка наблюдений / Б. М. Щи- голев. - М. : Наука, 1969. - 344 с.**

1. **Юдин, Ю. И. Маневренные характеристики судна как функции параметров его математической модели / Ю. И. Юдин, С. И. Позняков // Вестн. МГТУ : труды Мурман. гос. техн. ун-та. - 2006. - Т. 9, № 2 - С. 234-239.**
2. **Юдович, А. Б. Предотвращение навигационных аварий морских судов / А. Б. Юдович. - М. : Транспорт, 1989. - 224 с.**
3. **Ющенко, А. П. Способ наименьших квадратов / А. П. Ющенко. - JI. : Мор. транспорт, 1956. - 164 с.**
4. **Ющенко, А. П. Определение вероятного пути по ряду обсерваций / А. П. Ющенко // Судовождение : сборник. - 1964. - Вып. 4. - С. 8-13.**
5. **Якушенков, А. А. К теории оптимальной обработки навигационной информации и комплексированию навигационных систем / А. А. Якушенков // Судовождение и связь : тр. ЦНИИМФ. - 1966. - Вып. 73. - С. 3-13.**
6. **Якушенков, А. А. Автоматизация судовождения / А. А. Якушенков, К. Н. Денисов, В.Т. Кондрашихин [и др.]. - М. : Транспорт, 1967. - 364 с.**
7. **Якшевич, Е. В. Влияние степени достоверности априорной информации на точность определения места судна при астрономических наблюдениях / Е. В. Якшевич // Судовождение и связь : тр. ЦНИИМФ. - 1971. - Вып. 147.-С. 16-22.**
8. **Anderson, F. W. Is the Gaussian Distribution normal? / F. W. Anderson // Journal of the Institute of Navigation. - 1965. -№ 1. - P. 65-79.**
9. **Bowditch, N. The American Practical Navigator / N. Bowditch. - Maryland : National imagery and mapping agency, 1995. - 550 p.**
10. **DeWit, C. Optimal Estimation of a Multi-Star Fix / C. DeWit // Journal of the Institute of Navigation. - 1997. - № 24. - P. 67-71.**
11. **Feldman, S. Advances in Celestial Navigation / S. Feldman, P. K. Seidelmann, G. G. Barton // Naval Engineers Journal. - 1974. - № 35. - P. 65-76.**
12. **Geer, R. A. The Navigation Sensor System Interface Project / G. H. Kap­lan // Journal of the Institute of Navigation. - 1993. - № 46. - P. 238-244.**
13. **Hsu, D. A. Further analysis pf position error in navigation / D. A. Hsu // Journal of the Institute of Navigation. - 1980. - № 3. - P. 452-474.**
14. **Kaplan, G. H. Practical Sailing Formulas for Rhumb-Line Tracks on an Oblate Earth / G. H. Kaplan // Journal of the Institute of Navigation. - 1995. - №42.-P. 312-326.**
15. **Kaplan, G. H. Deterring the Position and Motion of a Vessel from Celestial Observations / G. H. Kaplan // Journal of the Institute of Navigation. - 1995.-№42. - P. 631-648.**
16. **Kaplan, G. H. A navigation Solutions Involving Changes to Course and Speed / G. H. Kaplan // Journal of the Institute of Navigation. - 1996. - № 43. - P. 469-482.**
17. **Levine, S. Strapdown Astro-Inertial Navigation Utilizing the Optical Wide-angle Lens Startracker / S. Levine, R. Dennis, K. L. Bachman // Journal of the Institute of Navigation. - 1991. - № 37. - P. 347-362.**
18. **Metcalf, T. R. On the Overdetermined Celestial Fix / T. R. Metcalf, F. T. Metcalf // Journal of the Institute of Navigation. - 1991. - № 38. - P. 79-89.**
19. **Severance, R. W. Overdetermined Celestial Fix by Iteration / R. W. Se­verance // Journal of the Institute of Navigation. - 1990. - № 36. - P. 373-378.**
20. **Watkins, R. Sight Reduction with Matrices / R. Watkins, P. M. Janiczel // Journal of the Institute of Navigation. - 1979. - № 25. - P. 447-448.**
21. **Vulfovich, B. The elements of celestial navigation / B. Vulfovich. - San Francisco, 1998. - 304 p.**
22. **Vulfovich, B. New Ideas for Celestial Navigation in the Third Millennium / B. Vulfovich, V. Fogilev // The Journal of Navigation. - 2010. - № 2. - P. 373- 378.**

Watkins, R. Sight Reduction with Matrices / R. Watkins, P. M. Janiczel // Journal of the Institute of Navigation. - 1979. - № 25. - P. 447-448