



ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА МОРСКИХ СУДАХ АСТРОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Л.Л. Милерис, курсант

e-mail: mileris0506@icloud.com

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»



Е.В. Мулина, курсант

e-mail: sailor.marina@yandex.ru

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»



В.С. Сидоренко, курсант

e-mail: bezdushniy2000@mail.ru

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Н.О. Кириллов, канд. техн. наук, доц.

e-mail: sudovod@bga.gazinter.net

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

С.В. Ермаков, канд. техн. наук

e-mail: esv.klgd@mail.ru

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В статье проанализированы причины возможной недоступности глобальных навигационных спутниковых систем, которая может иметь место вследствие природных катаклизмов, внешнего вмешательства с использованием технических средств подавления сигнала и спуфинга, а также по инициативе государства, владеющего и управляющего спутниковой системой. Тем самым обоснована значимость методов и средств мореходной астрономии для решения навигационных задач. Проведен анализ достоинств и недостатков этих методов и средств и показаны пути их совершенствования и развития, один из которых заключается в автоматизации измерений и вычислений астронавигационных параметров. Рассмотрены исторические, технические и экономические аспекты астронавигационных систем, сформулированы принципы их построения и обоснована необходимость разработки и внедрения таких систем на современных морских судах.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы, мореходная астрономия, астронавигационные системы

ВВЕДЕНИЕ

Функциональные обязанности судоводителя на современном морском судне определяются необходимостью решения двух связанных задач. Первая из них – расчет целенаправленного пути судна, который должен быть построен таким образом, чтобы с меньшими затратами выполнить рейсовое задание и одновременно обеспечить навигационную безопасность. Вторая задача судоводителя заключается в постоянном мониторинге фактического места и элементов движения судна. До появления глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) последняя задача решалась штурманом в основном методом счисления, однако эти системы сделали основным второй метод – метод обсерваций, поменяв его со счислением местами по критерию «основной-резервный». Вместе с тем судоводитель сегмент ГНСС не обладает абсолютной надежностью, а сам спутниковый сигнал может быть заблокирован оператором системы или иными лицами, организациями и государствами со злонамеренной целью дезориентирования потребителя. Для того чтобы судоводитель не остался «без глаз» в центре океана, на помощь приходят классические методы мореходной астрономии, которые можно реализовать не только вручную – при помощи секстана, звездного глобуса и пеленгатора, но и автоматизируя процесс посредством судовых астронавигационных систем. Последние уже давно нашли свое применение на военно-морском флоте, но до настоящего времени пока не получили признания на флоте гражданском.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом настоящего исследования является астронавигационная система (АНС) – средство навигационного оборудования морских судов, предназначенного для автоматизированного определения координат места судна посредством слежения за небесными естественными ориентирами (звездами и планетами), измерения астронавигационных параметров и обработки результатов измерений вычислительным устройством системы.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – обоснование необходимости внедрения на морских судах астронавигационных систем и принципов построения судовой АНС.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- проведен анализ уязвимости глобальных навигационных спутниковых систем как основного средства для определения места судна в современном судовождении;
- проведена оценка достоинств и недостатков методов и средств мореходной астрономии, являющихся единственной альтернативой ГНСС при определении места судна в открытом море;
- обоснованы пути повышения эффективности использования методов мореходной астрономии;
- проведен ретроспективный анализ развития АНС на военно-морском флоте;
- обоснованы принципы построения АНС, перечень задач, подлежащих решению этими системами на борту морского судна, и структурно-функциональная схема судовой астронавигационной системы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе исследования были использованы как эмпирические (в частности, наблюдение), так и теоретические (анализ и синтез, аналогия) методы исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Глобальные навигационные спутниковые системы дают возможность вахтенному помощнику капитана практически непрерывно знать место с точностью порядка 10 м. Такая высокая эффективность, производительность и точность ГНСС, обеспечиваемые, на первый взгляд, в любой момент времени практически в любой точке Мирового океана, успешно скрывают уязвимые места средств спутниковой навигации от потребителей и заставляют по-

следних абсолютно доверять координатам, выдаваемым судовой аппаратурой ГНСС.

Глобальная навигационная спутниковая система GPS, являющаяся в современном мореплавании самой развитой и распространенной, изначально была запущена и использовалась исключительно для военных целей. По этой причине одной из основ реализации и функционирования данной системы является принцип «трех Р»: Preservation – сохранение качества предоставления услуг гражданским пользователям только за пределами театра военных действий; Protection – защита военной навигации в боевых действиях; Prevention – предотвращение использования GPS военным противником. «Предотвращение» в данном случае подразумевает возможность выборочного отключения или искажения спутниковых сигналов на определенных территориях. Проявление этого принципа можно было наблюдать в районах практически всех военных конфликтов, где тем или иным образом были затронуты интересы США. Проблемы с точностью места судна, полученного по GPS, или, более того, проблемы с получением места как такового, связанные с отсутствием сигнала, испытывали в таких районах за редким исключением все гражданские потребители [1].

В настоящее время существуют методы и средства внешнего подавления сигналов спутниковой навигации. Так, комплекс радиопомех приемникам системы глобальной радионавигации («Орбита-3.2»), разработанный белорусским конструкторским бюро «Радар», позволяет «закрыть» от спутниковых сигналов территорию радиусом 100 км [2]. Однако в настоящее время собрать устройство для постановки таких радиопомех не составляет большого труда и в домашних условиях, поэтому они могут быть созданы и использованы в неправомерных целях – например, пиратами и террористами.

Кроме обычных средств постановки радиопомех угрозу безопасности плавания несет умышленная внешняя фальсификация сигналов ГНСС, получившая название «спуфинг» (от англ. spoofing – подмена). Спуфинг – это подмена действительных сигналов от спутников более мощными сигналами от наземного устройства (спуфера). Спуфер, осуществляя широкополосную трансляцию сигналов, схожих с сигналами ГНСС (что затрудняет обнаружение спуфинга), заставляет судоводителя принимать за истинное то место судна, которое получено на основе сфальсифицированной «псевдоспутниковой» информации, и изменять курс судна так, как того хочет владелец спуфера.

В 2011 г. Королевская инженерная академия Великобритании заявила о существующей опасности национальной инфраструктуре, связанной с ее устойчивой зависимостью от спутниковой системы, находящейся в ведении другого государства, т. е. от системы GPS. В докладе академии отмечено, что эта зависимость неуклонно растет и в итоге может привести к катастрофе. При этом в отношении GPS использовалось новое понятие – «технонаркотик» [3]. Руководитель исследования доктор Мартин Томас следующим образом сформулировал выводы своей рабочей группы, полученные в результате анализа места GPS в обеспечении британской инфраструктуры: «Растущая зависимость от спутниковой навигации позволяет предположить катастрофические последствия технического сбоя, которые могут привести к серьезному экономическому ущербу или к гибели людей. Мы пришли к выводу о чрезмерной зависимости Великобритании от системы GPS» [3].

Британские эксперты классифицируют причины возможных отказов GPS на природные и антропогенные. В число первых входят природные аномалии и активность Солнца. Вторая группа причин связана с неправомерными действиями по глушению и искажению спутниковых сигналов. На основе результатов своих исследований Королевская инженерная академия выступила с инициативой исключения из свободного оборота технических средств радиоэлектронной борьбы и комплектов для них [3].

В настоящее время в процессе поэтапной модернизации ГНСС GPS правительство США планомерно реализует ряд мероприятий в рамках концепции так называемой «навигационной войны» (Nav War) [1]. Концепция предусматривает внедрение технических новшеств, значительно затрудняющих или делающих невозможным использование сигнала ГНСС GPS без санкции США. Мероприятия в рамках концепции «навигационной войны» позволяют США в любой момент без предупреждения в военных, экономических или политических целях огра-

ничить на любой территории доступ гражданских пользователей к сигналу ГНСС GPS.

Отечественная спутниковая система ГЛОНАСС в случае принятия решения правительством США об отключении или ограничении GPS успешно сможет предоставлять морским судам возможность глобального позиционирования. Однако остальные вероятные причины недоступности могут проявиться и в отношении этой системы.

При невозможности использования ГНСС в целях определения места судна в открытом море методом обсерваций остается единственное – использовать средства мореходной астрономии.

В современной мореходной астрономии зачастую применяются только навигационный секстан и высотный метод, т. е. для определения координат места судна судоводитель должен найти высоту светила. Вместе с тем подобная реализация высотного метода имеет некоторые недостатки, в число которых входят:

- возможность измерять только один астронавигационный параметр – высоту светила;
- единственным светилом, которое можно наблюдать днем, является Солнце;
- невозможность измерений навигационного параметра в сложных метеоусловиях (ограниченная видимость, сильная облачность), т. к. в основе этих измерений лежит необходимость одновременно наблюдать визуально светило, высота которого измеряется, и видимый горизонт;
- точное и грамотное измерение высоты возможно только уверенным, обладающим соответствующими умениями и навыками пользователем секстана, из чего вытекает необходимость в постоянных тренировках.

Помимо высотного существуют также и другие методы мореходной астрономии, а именно: азимутальный, разностно-азимутальный, скоростно-высотный, скоростно-азимутальный, высотно-азимутальный. Общим недостатком всех этих методов является необходимость наличия специальных устройств, измеряющих с достаточно высокой точностью астронавигационные параметры.

Очевидно, что повышение эффективности использования астрономических способов определения места судна и поправки курсоуказания невозможно без применения современных высокотехнологичных технических средств и методов обработки астронавигационной информации.

Так, к примеру, замена навигационного секстана на радиосекстан «Самум», который измеряет исходящие от Солнца радиоволны, повышает вероятность определения местоположения судна с 7 до 75%. В свою очередь, использование радиооптического секстана «Сайга», эффективность которого не зависит от погодных условий, повышает вероятность до 100%.

Типовая последовательность действий судоводителя при определении места судна или поправки курсоуказания выглядит следующим образом: 1) оценка астронавигационной обстановки, т. е. расчет времени восхода и захода Солнца, начала утренних и вечерних сумерек, подбор светил для наблюдений; 2) подготовка и проверка измерительных приборов; 3) измерение астронавигационных параметров (высоты, азимута, разности азимутов и т. д.); 4) опознание неизвестного светила (при необходимости); 5) получение истинных значений астронавигационных параметров; 6) приведение значений навигационных параметров к одному моменту; 7) расчет элементов линий положения (высотных, азимутальных, разностно-азимутальных и т. д.); 8) расчет обсервованных координат места судна или поправки курсоуказания; 9) расчет и анализ точности координат места судна или поправки курсоуказания; 10) использование полученной астронавигационной информации для целей судовождения.

При традиционной ручной обработке астрономических наблюдений около 40% времени уходит на вычисление местных часовых углов и склонений светил. Автоматизировать обработку измерений позволяет специализированное программное обеспечение (например, «Электронный альманах» – программа, разработанная Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом Министерства обороны России). Вместе с тем подобная автоматизация является частичной, касающейся только обработки измерений, но не их выполнения.

На основе вышесказанного можно сделать следующий вывод о существовании двух основных путей повышения эффективности использования методов мореходной астрономии:

- увеличение количества измеряемых астронавигационных параметров;
- использование специальных технических средств измерений и их обработки.

В отличие от флота гражданского на военно-морском флоте уже несколько десятилетий ведутся разработки технических средств автоматизации методов мореходной астрономии. Первым результатом таких разработок стали секстан с искусственным горизонтом ГИМС-3, созданный в начале 50-х годов прошлого века на Свердловском оптико-механическом заводе, а также зенитный перископ с астроизмерительным устройством ПЗНГ, который был разработан в ЛОМО – Ленинградском оптико-механическом объединении.

На следующем этапе развития астронавигации (в 60-е годы) появились используемые в составе навигационных комплексов астронавигационные системы «Лири-I», «Лири-II» и «Сегмент», а вероятность их применения увеличилась с 18 до 43%.

В 1972 г. принят на вооружение прецизионный оптический перископный астрокорректор «Волна». Существенные изменения претерпели методы навигационных определений в оптическом диапазоне. Так, использование телевизионных приемных систем обеспечило пеленгование звезд днем, в условиях интенсивной солнечной засветки в разрывах облаков, а ночью – слабых звезд. В итоге средняя вероятность навигационного определения выросла до 74%. Параллельно с оптическими средствами развивались радиоастронавигационные системы, в основе применения которых лежали методы, мало зависящие от метеоусловий. Метод выделения полезного сигнала здесь известен: прием в максимально возможной полосе частот и получение сигнала на выходе приемника в узкой полосе вблизи частоты модуляции. В 1965 г. на вооружение был принят радиосекстан «Самум», в 1972 г. – радиооптический секстан «Сайга», в 1976 г. – радионавигационная система «Снегирь».

В дальнейших разработках был реализован метод пространственно-частотной фильтрации, позволивший уменьшить влияние собственного радиоизлучения атмосферы и подстилающей поверхности. Так, в 1980 г. был принят на вооружение прецизионный радиоастронавигационный комплекс «Салют».

Для надводных кораблей работы по созданию АНС не носили столь направленного и последовательного характера. В основном на них устанавливались без существенных изменений АНС подводных лодок.

В настоящее время в состав штурманского вооружения подводных лодок и надводных кораблей ВМФ РФ входят радиоастронавигационные комплексы (РАНК), работающие в радиодиапазоне (на длине волны 1-2 см) и оптическом ТВ-канале, и оптические астронавигационные системы, в том числе оптические астропеленгаторы (ОАП).

Лучшими существующими АНС третьего поколения, не имеющими аналогов за рубежом, являются РАНК «Салют», АНС «Заря» и ОАП «Чакон-Б». К перспективным АНС четвертого поколения можно отнести РАНК «Мечта-3» и АК «Град».

Следует отметить, что в конце 80-х годов проводились разработки астронавигационных систем для судов гражданского флота. Однако в силу известных политических событий исследования в этом направлении были свернуты. Кроме того, основными причинами, которые сдерживали разработку АНС для судов гражданского флота, являлись ограничения применения по гидрометеорологическим условиям, сложность конструкции, большие размеры, дороговизна и определенная закрытость информации. В настоящее время сформировался следующий комплекс объективных условий, позволяющий вернуться к разработке АНС:

- необходимость на судне эффективного резервного средства определения места судна и поправки курсоуказания в любых районах Мирового океана и при любых гидрометеорологических условиях и совершенствования средств и методов решения задач курсоуказания;
- имеющийся военно-морской опыт эксплуатации АНС и рассекречивание информации;
- готовность отечественных предприятий для выпуска и обеспечения АНС.

Построение судовой АНС должно быть основано на следующих принципах: 1) уни-

версальность, компактность, пригодность установки на судне любого назначения; 2) обеспечение максимума вероятности автоматизированного измерения одновременно нескольких астронавигационных параметров; 3) использование при построении комплектующих, уже освоенных промышленностью; 4) применение модульной конструкции, позволяющей варьировать функциональные возможности; 5) математическое обеспечение АНС должно позволять решать задачи мореходной астрономии автоматически, без привлечения МАЕ и Nautical Almanac, с возможностью автоматизированного периодического обновления астрономических координат; 6) простота интерфейса; 7) возможность комплексирования с другими судовыми навигационными приборами и системами; 8) стоимость серийной судовой АНС должна быть приемлемой для судовладельцев и судоходных компаний.

Автоматизированная судовая АНС должна решать следующие задачи: 1) автоматическое формирование плоскости искусственного истинного горизонта; 2) расчет экваториальных и горизонтных координат светил с целью наведения на светило измерительного устройства; 3) наведение на светило измерительного устройства и измерение астронавигационных параметров как в оптическом диапазоне, так и по радиоизлучению; 4) обработка всей измеренной астронавигационной информации в реальном масштабе времени, отображение результатов этой обработки и их трансляция в системы автоматического счисления; 5) определение места судна, направления географического меридиана, поправок систем и приборов курсоуказания; 6) определение и хранение точного времени; 7) оценка естественной освещенности.

Сформулированные принципы построения и задачи судовой АНС, опыт развития таких систем на военно-морском флоте позволяют сделать вывод о следующем перечне элементов, которые должны входить в состав судовой астронавигационной системы (рисунок): 1) система стабилизации в плоскости истинного горизонта; 2) измерительное устройство на стабилизированной в плоскости истинного горизонта платформе; 3) вычислительное устройство для обработки астронавигационной информации.

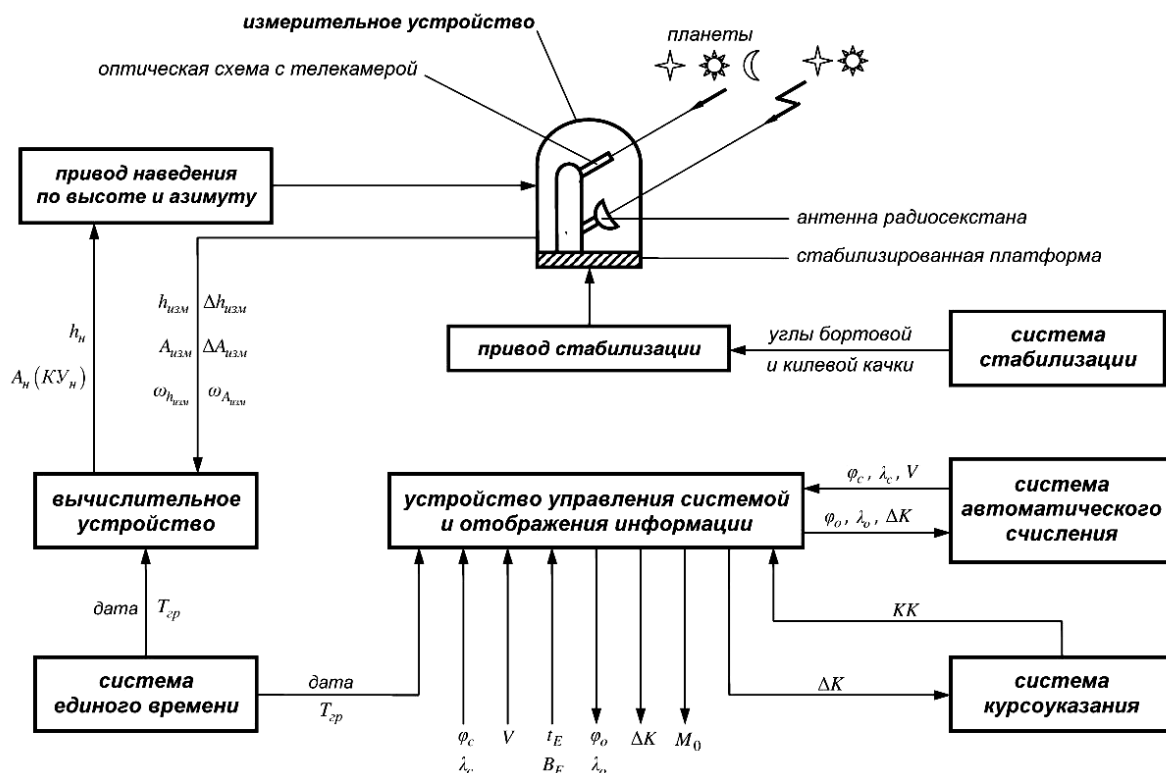


Рисунок – Структурно-функциональная схема автоматизированной судовой астронавигационной системы

Заявленный выше принцип модульности предусматривает возможность создания целого семейства судовых АНС для различных классов судов, различающихся по составу оборудования, техническим характеристикам и, естественно, по стоимости. Единными для таких систем должны оставаться математическое обеспечение и организация интерфейса пользователя системы.

Одним из важнейших элементов судовой АНС является система стабилизации в плоскости истинного горизонта, которая может быть реализована несколькими способами:

- при помощи малогабаритной бесплатформенной инерциальной навигационной системы на лазерных гироскопах;
 - на основе автономного судового гиروهоризонта;
 - с использованием ортогональной триады акселерометров,
- причем последний способ по совокупности ряда факторов видится наиболее перспективным. Использование акселерометрической системы стабилизации минимизирует число чувствительных элементов, обеспечивающих необходимую погрешность моделирования плоскости искусственного горизонта, и существенно снижает стоимость судовой АНС в целом.

Измерительное устройство в общем случае должно включать в себя платформу, стабилизированную при помощи специальной системы в плоскости истинного горизонта, и оптическую систему измерения и систему измерения по радиоизлучению светил (радиосекстан), установленные на стабилизированной платформе.

В основе оптической системы измерений предпочтительно использовать не традиционную для АНС ВМФ громоздкую и дорогостоящую систему линз и призм, а телевизионный канал наблюдений. Вероятность применения оптического канала составит при этом 74%.

Дальнейшее совершенствование измерительного устройства видится в использовании инфракрасного канала наблюдений, который обеспечивает наблюдаемость светил вне зависимости от яркости фона неба в дневное время суток и сумерки [4]. Кроме того, инфракрасный канал в меньшей степени зависит от метеоусловий и состояния воздушной массы земной атмосферы.

В [4] предлагается включить в состав АНС инфракрасный оптико-электронный автоматизированный канал, который будет обеспечивать измерение астронавигационных параметров более 100 светил в любое время суток по излучению этих светил в диапазоне 0,7-2,5 мкм. Такой канал даст вероятность определения обсервованного места судна порядка 0,99 (при облачности до 9 баллов). Однако к настоящему времени еще не сформирован каталог навигационных светил, несмотря на то, что для этого существуют все предпосылки – имеются достаточные данные по абсолютным спектральным распределениям энергии звезд в диапазоне ближнего инфракрасного излучения.

В процессе настоящего исследования по информации из открытых источников была проведена приблизительная оценка общей стоимости предлагаемых комплектующих астронавигационной системы (акселерометров, оборудования для телевизионного канала и т.д.), которая в итоге составила около 90000 руб. Для сравнения спутниковый компас Furuno SC-50 предлагается на рынке навигационного оборудования по цене более 200000 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящее время методы и средства мореходной астрономии являются единственными дублирующими по отношению к ГНСС методами и средствами для определения места судна в открытом море. В свою очередь, астрономические методы могут быть автоматизированы при помощи астронавигационных систем, что значительно увеличит вероятность применения этих методов, сократит время и повысит точность решения навигационных задач. При этом недостатки АНС, касающиеся технических и экономических аспектов их разработки и эксплуатации, могут быть устранены принятием во внимание при проектировке гражданской специфики задач и использованием высокотехнологичных компактных серийных комплектующих. В качестве базовой структурно-функциональной схемы

АНС может быть использована схема, предложенная в настоящей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов, Н. О. Современные средства и методы мореходной астрономии: учеб. пособие / Н. О. Кириллов. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – 97 с.
2. Комплекс радиопомех приемникам спутниковых РНС GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BeiDou «Оптима-3.2» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bsvt.by/ru/protivovozdushnaya-oborona/sredstva-reb-i-rer/kompleks-radiopomeh-priemnikam-sputnikovyh-rns-gps-glonass-galileo-beidou-optima-32> (дата обращения 22.04.2020).
3. Сидельников А. GPS-зависимость может привести к катастрофе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=95909> (дата обращения 22.04.2020).
4. Костин, В. Н. О коррекции навигационных параметров при работе астронавигационной системы в инфракрасном диапазоне излучения / В. Н. Костин, А. В. Лаврентьев // Навигация и гидрография. – 2017. – № 49. – С. 32-37.

SUBSTANTIATION OF THE NEED TO USE THE ASTRONAVIGATION SYSTEM IN MARINE VESSELS

L.L. Mileris, cadet
e-mail: mileris0506@icloud.com
Baltic Fishing Fleet State Academy
Kaliningrad State Technical University

E.V. Mulina, cadet
e-mail: sailor.marina@yandex.ru
Baltic Fishing Fleet State Academy
Kaliningrad State Technical University

V.S. Sidorenko, cadet
e-mail: bezdushniy2000@mail.ru
Baltic Fishing Fleet State Academy
Kaliningrad State Technical University

N.O. Kirillov, assistant professor
e-mail: sudovod@bga.gazinter.net
Baltic Fishing Fleet State Academy
Kaliningrad State Technical University

S.V. Ermakov, assistant professor
e-mail: esv.klgd@mail.ru
Baltic Fishing Fleet State Academy
Kaliningrad State Technical University

The article analyzes the reasons for the inaccessibility of global navigation satellite systems and the importance of the methods and means of navigational astronomy associated with this possibility for solving navigation problems. The historical, technical and economic aspects of astronavigational systems (ANS) are considered, proposals for their construction are formulated, and the need for the development and implementation of such systems on modern marine vessels is substantiated. The article analyzes the reasons for the inaccessibility of global navigation satellite systems, which can occur due to natural disasters, external interference using technical means of signal sup-

pression and spoofing, as well as on the initiative of the state owning and managing the satellite system. Thus, the significance of the methods and means of navigational astronomy for solving navigation problems is substantiated. An analysis of the advantages and disadvantages of these methods and means is made and ways of their improvement and development are substantiated, one of which is the automation of measurements and calculations of astronavigation parameters. The historical, technical and economic aspects of astronavigation systems are considered, the principles of their construction are formulated and the need for the development and implementation of such systems on modern marine vessels is substantiated.

Key words: *global navigation satellite systems, navigational astronomy, astronavigation systems*