

Управление в организационных системах

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.5. 061

doi: 10.30987/2658-6436-2024-2-54-64

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ СУДНА НА КАЧЕСТВО ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ

Михаил Алексеевич Мельников¹, Валерий Иванович Плющаев²

^{1,2} Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

¹ kaf_radio@vsuwt.ru, <http://orcid.org//0009-0006-4598-9934>

² kaf_radio@vsuwt.ru, <http://orcid.org//0000-0001-6120-3782>

Аннотация. Авторулевые являются неотъемлемой частью современных судов. Однако в настоящее время появляется много задач, в том числе в области безэкипажного судовождения, требующих использования новых алгоритмов управления и привлечения новых средств контроля навигационных параметров. В частности, для решения таких задач как удержание судна на заданной траектории, автоматизации расхождения судов и подобных, необходимо иметь средства непрерывного контроля местоположения судна. Для этого могут быть использованы приемники глобальных навигационных спутниковых систем. Для моделирования процессов управления необходимо знать распределение ошибок позиционирования современных приборов. Известны работы, где показано, что на длительных интервалах времени (сутки и более) погрешности позиционирования можно считать случайным процессом с гауссовским распределением. В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований распределение ошибок позиционирования судового навигационного приемника, работающего в системах GPS и ГЛОНАСС, в совмещенном режиме GPS/ГЛОНАСС, а также в указанных режимах с дифференциальными поправками. Показано, что на временных интервалах секунды – минуты (характерных для судовых систем управления) погрешности позиционирования навигационного приемника нельзя представить случайным процессом с гауссовским законом распределения. Приведены результаты математического моделирования процесса удержания судна на заданной траектории с использованием экспериментальных значений погрешностей датчика позиционирования. Для исследований использована математическая модель инновационного судна с колесно-движительным рулевым комплексом. Создан алгоритм, позволяющий удерживать судно на заданной траектории с приемлемой для практического применения точностью, соизмеримой с отклонениями, определяемыми конструктивными особенностями корпуса судна и его движителей.

Ключевые слова: колесное судно, динамические характеристики судна, спутниковые навигационные системы, погрешности измерения, алгоритмы управления, качественные показатели процесса управления, безэкипажное судовождение

Для цитирования: Мельников М.А., Плющаев В.И. Влияние погрешностей измерения координат судна на качество процесса управления // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №2 (24). С. 54-64. doi: 10.30987/2658-6436-2024-2-54-64.

Original article

Open Access Article

ERROR INFLUENCE OF MEASURING THE SHIP'S COORDINATES ON THE CONTROL PROCESS QUALITY

Mikhail A. Melnikov¹, Valery I. Plyushchaev²

^{1,2} Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

¹ kaf_radio@vsuwt.ru, <http://orcid.org//0009-0006-4598-9934>

² kaf_radio@vsuwt.ru, <http://orcid.org//0000-0001-6120-3782>

Abstract. *Autopilots are an integral part of modern ships. However, at present, many tasks are emerging, including the ones in the unmanned navigation field, requiring the use of new control algorithms and new means of monitoring navigation parameters. In particular, to solve such problems as keeping a vessel on a given trajectory, automating the ships' divergence and similar tasks, it is necessary to have means of continuous monitoring of the ship's location. For this purpose, receivers of global navigation satellite systems can be applied. To model control processes, it is necessary to know the distribution of positioning errors of modern devices. Some works show that over long time intervals (a day or more), positioning errors can be considered a random process with a Gaussian distribution. This paper presents the experimental study results of the distribution of positioning errors of a ship navigation receiver operating in the GPS and GLONASS systems, in a combined GPS/GLONASS mode, as well as in the indicated modes with differential corrections. The paper shows that at time intervals of seconds – minutes (characteristic of ship's control systems), positioning errors of the navigation receiver cannot be represented by a random process with a Gaussian distribution law. The paper presents the results of a mathematical modelling of the process of holding a ship on a given trajectory using experimental values of positioning sensor errors. For the research, a mathematical model of an innovative ship with a wheel-propulsion steering complex is used. An algorithm is created that makes it possible to keep a vessel on a given trajectory with an accuracy acceptable for a practical use, commensurate with deviations determined by the design features of the ship's hull and its propulsors.*

Keywords: wheeled vessel, dynamic characteristics of the ship, satellite navigation systems, measurement errors, control algorithms, quality indicators of the control process, unmanned navigation

For citation: Melnikov M.A., Plyushchayev V.I. Error Influence of Measuring the Ship's Coordinates on the Control Process Quality. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 2 (24). pp. 54-64. doi: 10.30987/2658-6436-2024-2-54-64.

Введение

В настоящее время для автоматического управления движением судна по курсу используются различные виды авторулевых [1, 2]. Несмотря на их различие, основным законом управления при автоматической стабилизации курса является пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД). Основную информацию для формирования управляющих воздействий авторулевой получает от компаса и датчика угловой скорости. Авторулевые обеспечивают автоматическое ведение судна по заданному курсу в течение продолжительного времени, а также возможность изменения курса [2].

Реализация алгоритма управления движением судна по заданной траектории требует использования, кроме курса и угловой скорости вращения корпуса [3], дополнительных навигационных параметров. Для оценки величины отклонения от заданной траектории могут быть использованы глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС).

Цель данной статьи – изучить влияние погрешностей измерения координат судна с использованием ГНСС на качество процесса управления движением судна по заданной траектории.

Экспериментальные исследования погрешностей измерения координат с использованием ГНСС

В работах [4, 5] приведены результаты натуральных экспериментов по исследованию характеристик точности позиционирования навигационных приемников при их работе с системами ГЛОНАСС, GPS, а также в совмещенном ГЛОНАСС/GPS режиме. Измерения проводились на открытой местности с дискретностью 1 с в течении 8 суток [4] и 7 суток [5]. В качестве иллюстрации на рис. 1 представлены результаты измерений погрешности позиционирования с использованием системы ГЛОНАСС, полученных авторами [4]. На рис. 1, а – ошибки местоопределения в системе ГЛОНАСС на плоскости (где $\sigma_r = 4,7$ м – среднеквадратичная погрешность), на рис. 1, б показаны гистограммы распределения ошибок позиционирования соответственно по широте и долготе за 8 суток [4]. Аналогичные результаты (рис. 3, в), полученные за 7 суток, приведены в [5].

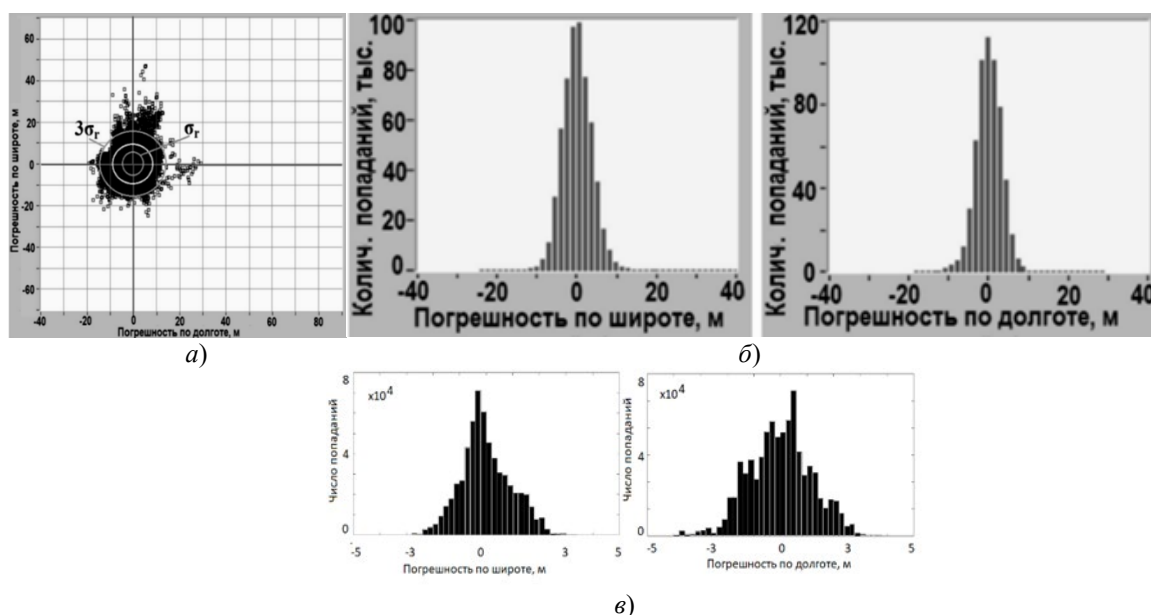


Рис. 1. Ошибки местоопределения в системе ГЛОНАСС (по результатам [3, 4])
 Fig. 1. Location errors in the GLONASS system (based on the results of [3,4])

Полученные результаты позволяют авторам [4, 5] сделать вывод о возможности аппроксимации погрешностей позиционирования навигационного приемника при моделировании работы навигационной системы случайным процессом с гауссовским законом распределения (следует отметить, что результат получен на интервале измерения в 7...8 суток).

Однако при управлении движением судна по заданной траектории требуется генерации управляющих воздействий на движительно-рулевой комплекс с интервалами от нескольких до десятков секунд. Поэтому вопрос о возможности аппроксимации погрешностей позиционирования навигационного приемника случайным процессом с гауссовским законом распределения остается открытым.

Для экспериментальной проверки был использован судовой приемник «ТРАНЗАС Т-701», который может работать в системах GPS и ГЛОНАСС, в совмещенном режиме GPS/ГЛОНАСС, а также в указанных режимах с дифференциальными поправками (ДП) [6]. Антенна приемника была установлена на крыше 10-этажного здания (в радиусе 500 м все постройки меньшей этажности), т.е. погрешность многолучевого приема отсутствовала. Измерения в разных системах проводились одновременно в течении одного часа с дискретностью в 1 с.

Результаты статистической обработки измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты статистической обработки измерений

Table 1

The results of statistical processing of measurements

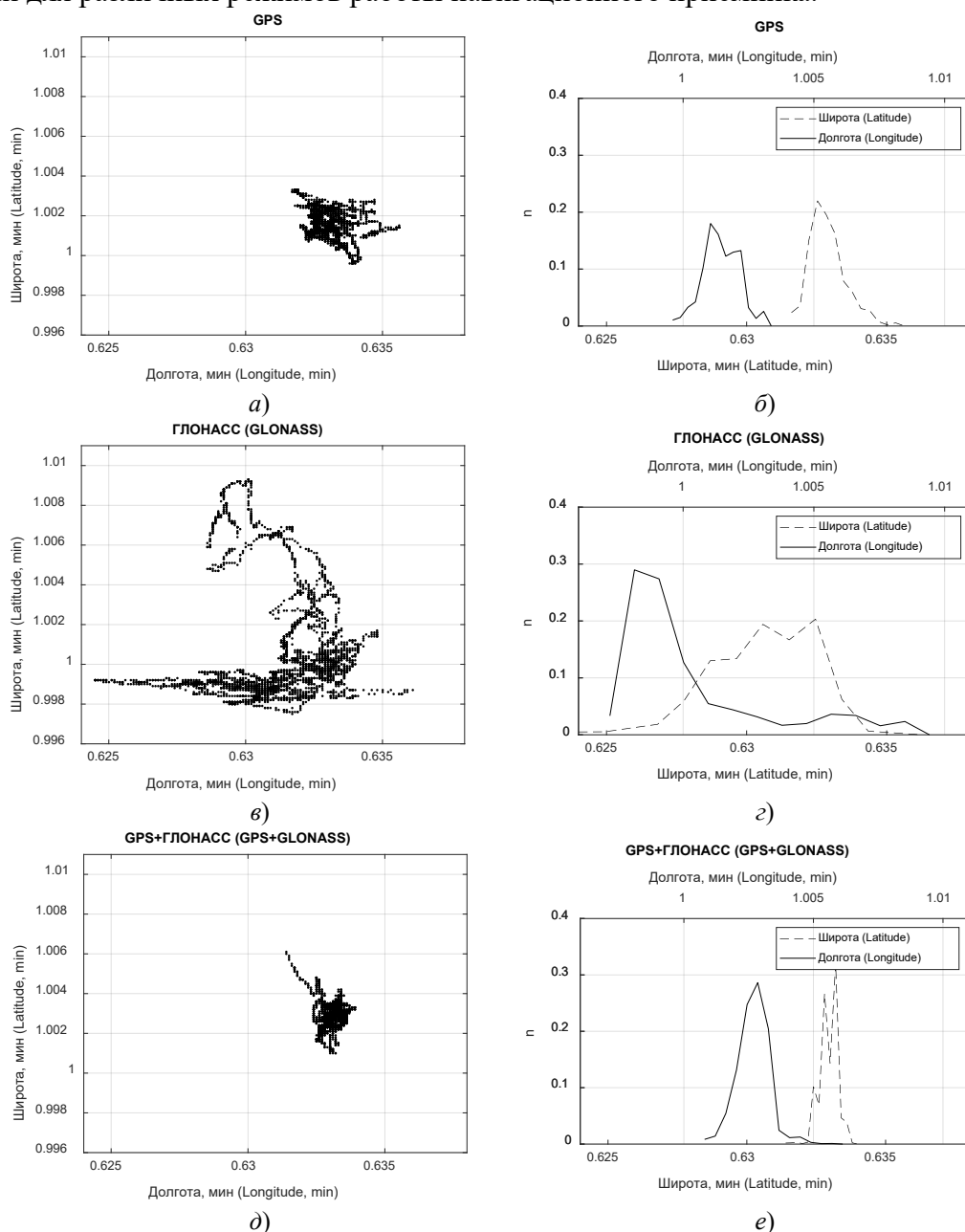
Параметр\Система		GPS	ГЛО-НАСС	GPS + ГЛО-НАСС	GPS + ГЛО-НАСС + ДП	GPS + ДП	ГЛО-НАСС + ДП
Среднее значение	Широта	56° 19,63305'	56° 19,63110'	56° 19,63306'	56° 19,63304'	56° 19,63328'	56° 19,63327'
	Долгота	044° 01,00160'	044° 01,00071'	044° 01,00290'	044° 01,00180'	044° 01,00097'	044° 00,99987'
	HDOP	1,020	1,890	0,750	0,900	1,220	1,030
Среднеквадратическое отклонение, σ , м	По широте	1,149	1,945	0,592	1,098	1,316	0,957
	По долготе	0,736	5,175	0,620	1,890	0,821	2,243

Как и ожидалось, наилучшие результаты получены при совместном использовании GPS и ГЛОНАСС (среднеквадратическое отклонение σ не превышает 0,620 м). При столь малых

значениях σ дифференциальные поправки не дают снижения погрешности местоопределения. Эффект использования дифференциальных поправок заметен только для системы ГЛОНАСС (среднеквадратичная погрешность по каждой из координат снизилась почти вдвое).

На рис. 2 (а, в, д, ж, и, л) приведены результаты измерений координат приемником «ТРАНЗАС Т-701» в различных режимах (на каждом графике 3600 точек, снятых с интервалом 1 с). На осях графиков отложены отклонения от усредненной точки установки приемника ($56^{\circ} 19' \text{ с.ш.}$ и $44^{\circ} 00' \text{ в.д.}$) в долях минут.

Для проверки гипотезы о законе распределения случайных величин измерений на рис. 2 (б, г, е, з, к, м) показаны распределения относительных частот зафиксированных результатов измерений для различных режимов работы навигационного приемника.



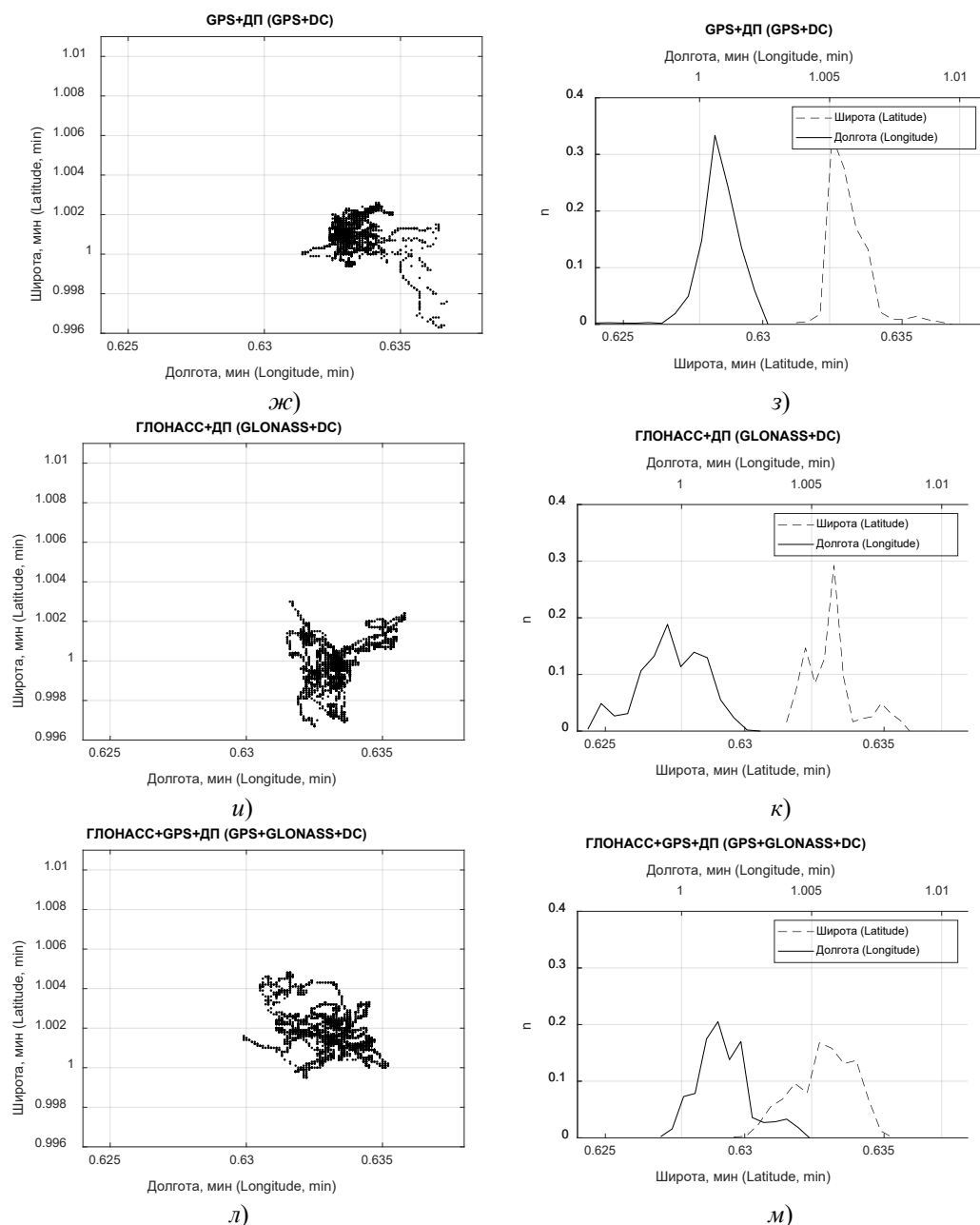


Рис. 2. Результаты измерения местоположения при работе приемника в различных режимах (а, в, д, ж, и, л) и интервальные распределения (б, г, е, з, к, м), вычисленные на основе измерений
Fig. 2. Location measurement results during receiver operation in various modes (a, в, д, ж, и, л) and interval distributions (б, г, е, з, к, м) calculated based on measurements

На графиках $n = n_i/n_0$ – нормированная относительная частота появления измеренной величины n_i в заданном интервале, $n_0 = 3600$ – объем выборки. Отклонения от усредненной точки установки приемника ($56^{\circ} 19'$ с.ш. и $44^{\circ} 00'$ в.д.) для широты и долготы на осях приведены в долях минут.

Вид кривых распределения, приведенных на рис. 2 (б, г, е, з, к, м), позволяет сделать вывод, что погрешности позиционирования навигационного приемника нельзя представить случайным процессом с гауссовским законом распределения, во всяком случае, на приведенной выборке в 3600 измерений в течении 1 часа.

Анализ характера погрешностей измерения координат с использованием ГНСС

На рис. 4 а, б представлены две произвольные выборки из 200 точек (с интервалом в 1 с) из 3600 результатов измерений, полученных в режиме GPS+ ГЛОНАСС+ ДП (см. рис. 2, ж).

Ошибка по долготе (ДР) меняется в пределах от -1 до 2,5 м, по широте (ШР) – в пределах -0,7 до 0,7 м.

На эти графики нанесены изменения широты (ШН) и долготы (ДН), полученные с использованием генератора случайных чисел (ГСЧ) с гауссовским законом распределения. Распределение измеренных величин отклонений в выборке из 3600 измерений в течении часа приближается к виду нормального распределения (рис. 5, *з*). Характеристики генератора случайных чисел и реальные данные, полученные при измерениях в режиме GPS+ ГЛОНАСС+ ДП, показаны на рис. 5 (среднее и среднеквадратичное отклонения генератора случайных чисел совпадает с соответствующими характеристиками массива данных, полученного в режиме GPS+ ГЛОНАСС+ ДП). Здесь отклонения по широте и долготе пересчитаны в метры.

В реальной выборке наблюдается сильная временная корреляция координат. В качестве иллюстрации на рис. 4, *в* представлены взаимокорреляционные функции трех 30-ти элементных выборок (номер 1, 2 и 3) по 30 с, сдвинутых относительно друг друга на 10 элементов (рис. 3), и исходной экспериментальной выборки из 3600 элементов, полученные при измерениях в режиме GPS+ГЛОНАСС+ДП (см. рис. 5 *а, б*).

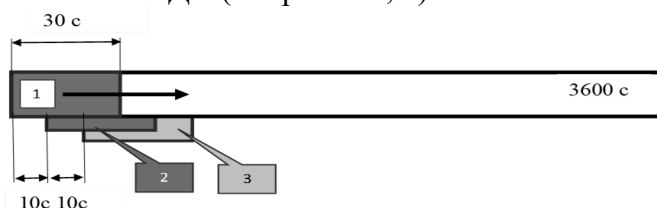


Рис. 3. Порядок вычисления взаимокорреляционных функций
Fig. 3. The order of calculation of the intercorrelation functions

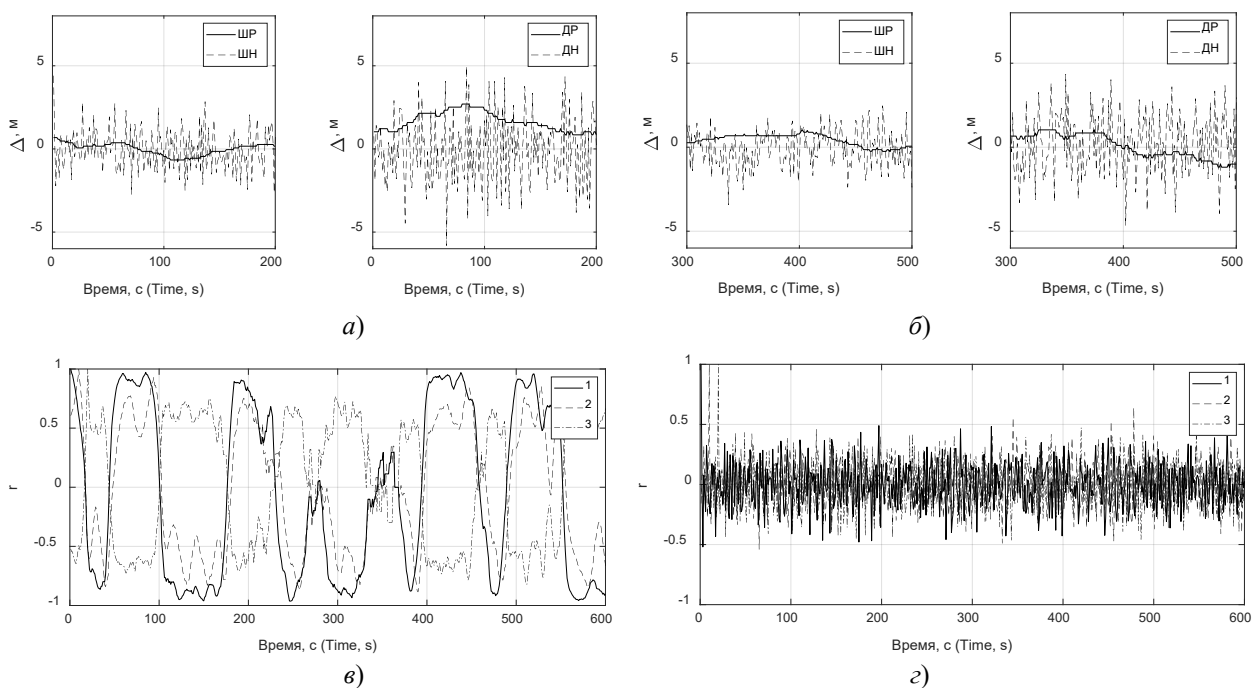


Рис. 4. Сравнение реальных зависимостей погрешностей местоопределения и теоретических зависимостей при гауссовском законе распределения измеренных величин

Fig. 4. Comparison of real dependences of location errors and theoretical dependences under the Gaussian distribution law of measured quantities

Как видно из рис. 4, *в*, коэффициент взаимной корреляции в основном превышает $\pm 0,4$ (сильная корреляция на малых интервалах времени, характерных для систем управления). На рис. 4, *з* показаны взаимокорреляционные функции трех 30-ти элементных выборок (номер 1, 2 и 3) по 30 с, сдвинутых относительно друг друга на 10 элементов, и выборки в 3600 элементов, полученной для генератора случайных чисел с гауссовским законом распределения. Коэффициент взаимной корреляции в этом случае не превышает $\pm 0,3$.

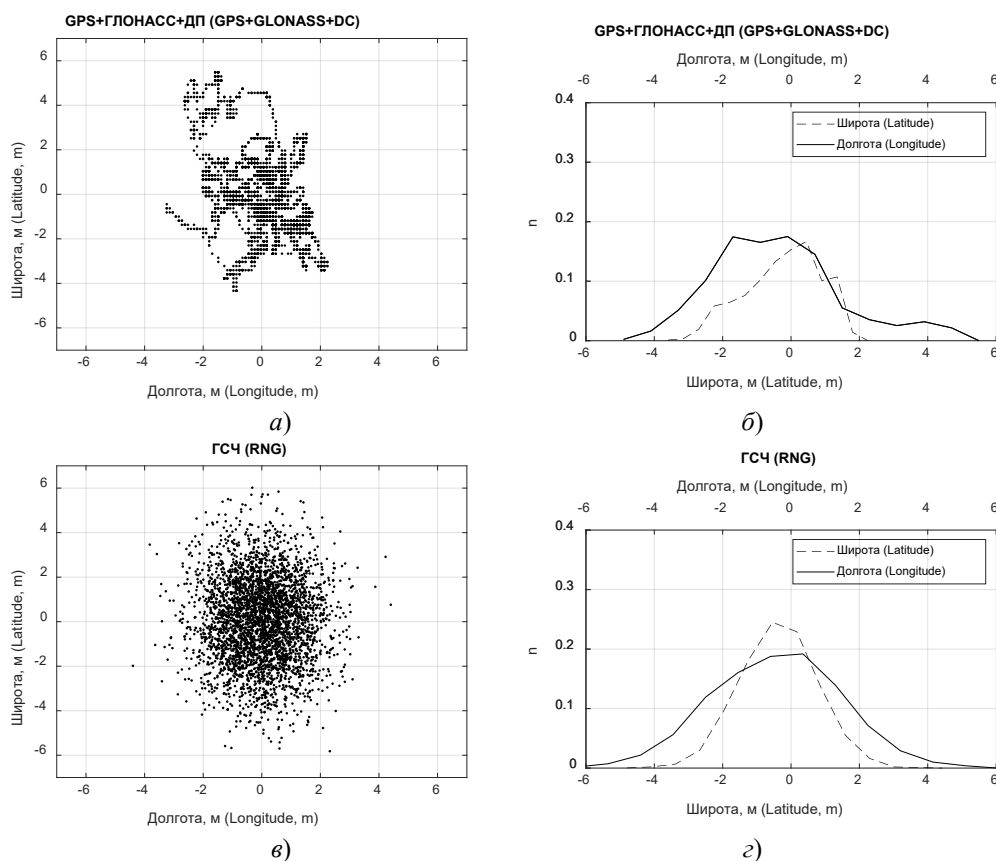


Рис. 5. Сравнительные характеристики ГСЧ и реальных результатов при приёме в режиме ГЛОНАСС+GPS+ДП

Fig. 5. Comparative characteristics of GPS and real results when receiving in GLONASS+GPS+DC mode

Таким образом, при моделировании динамики судна с учетом погрешностей измерения навигационных приборов некорректно представлять погрешности позиционирования навигационного приемника случайным процессом с гауссовским законом распределения.

Экспериментальные данные сняты для фиксированной географической точки. При движении судна координаты меняются и, строго говоря, в каждой новой точке траектории мы имеем свой закон распределения погрешностей определения местоположения. Однако, учитывая, что при решении задач управления рассматриваются весьма ограниченные перемещения судна (масштаб в пространстве десятки – сотни метров, масштаб во времени секунды – минуты), приемники ГНСС работают с одним созвездием спутников, при одинаковых параметрах тропосферы, ионосферы и других факторов, можно полагать, что распределения погрешностей определения местоположения будет одинаковы в разных точках траектории движения судна [7].

Далее, при моделировании влияния погрешностей навигационных приемников на динамику судна, будут использованы экспериментальные значения погрешностей датчика позиционирования, приведенные во втором разделе.

Влияние характера погрешностей местоопределения судна на динамику процесса управления

Для исследования влияния характера погрешности определения местоположения на динамику судна воспользуемся математической моделью инновационного колесного судна «Золотое кольцо», приведенную в [8]. В [9, 10] подробно исследованы динамические характеристики судна при реализации алгоритма удержания судна на заданной траектории при ветровом воздействии. Для формирования управляющих воздействий на гребные колеса используется вспомогательная функция [11]:

$$Rul = k_{\alpha} \cdot (\alpha - \alpha_z) + k_{\omega} \cdot \omega + k_{\gamma} \cdot (y - y_z),$$

где α , α_z – текущий и заданный угол курса; ω – угловая скорость судна; $(y - y_z)$ – отклонение от заданной траектории движения; k_{α} , k_{ω} , k_{γ} – коэффициенты пропорциональности.

Моделирование проводилось при следующих условиях:

- для измерения значений курса и угловой скорости используются идеальные датчики (погрешность измерения равна 0);
- судно движется по траектории, совпадающей с осью x с максимальной скоростью;
- боковой ветер (скорость 5 м/с) появляется при $t = 300$ с, при $t = 600$ с ветер исчезает.

Результаты работы алгоритма удержания судна на прямолинейной траектории (при использовании «идеальных» датчиков измерения курса и угловой скорости, $k_\alpha = 10$, $k_\omega = 40$, $k_\gamma = 0,16$) приведены на рис. 6 (здесь $\Delta y, m$ – отклонение от заданной прямолинейной траектории).

Использование навигационного датчика с систематической составляющей погрешности в 0,5 и 1,0 м (такого же порядка погрешности получены при экспериментальных исследованиях, табл. 1) не приводит к неприемлемому снижению качественных показателей процесса управления (кривые 2 и 3 на рис. 6). Система управления является статической по отношению к возмущающему воздействию (т.е. при постоянном воздействии ошибка так же стремится к постоянному значению, зависящему от величины воздействия). Траектория смещается на величину погрешности измерения отклонения Δy , при этом угол дрейфа составляет 1,5 градуса.

Результаты моделирования процесса удержания судна на заданной траектории при аппроксимации погрешностей позиционирования навигационного приемника случайным процессом с гауссовским законом распределения (см. рис. 5, в, з), представлены на рис. 7. При этом алгоритм управления не в состоянии обеспечить движение судна по заданной траектории. Для случая с гауссовским законом распределения легко реализовать алгоритм, обеспечивающий устойчивое движение судна с использованием текущего среднего значения отклонения на выборке определенной длины. В работе он не рассматривается, поскольку реальные навигационные датчики имеют другую картину распределения погрешностей позиционирования.

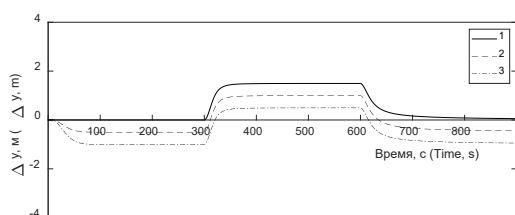


Рис. 6. Базовый вариант динамических характеристик судна
Fig. 6. The basic version of the dynamic characteristics of the vessel

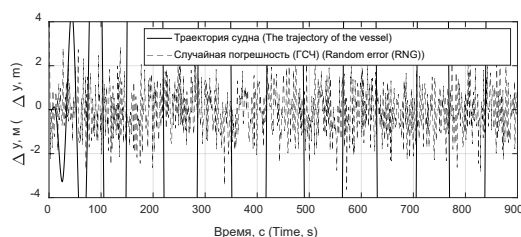


Рис. 7. Динамика судна при аппроксимации погрешности датчика случайным процессом с гауссовским распределением
Fig. 7. The dynamics of the vessel when approximating the error of the positioning sensor by a random process with a Gaussian distribution

На рис. 8 показаны результаты работы алгоритма удержания судна на заданной траектории при использовании для моделирования погрешности датчика позиционирования экспериментальных данных (см. рис. 5, а, б) без ветрового воздействия, на рис. 9 – при ветровом воздействии (с 300 по 600 секунду).

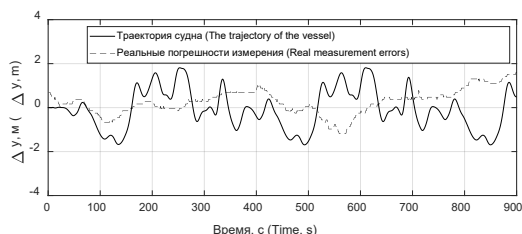


Рис. 8. Динамика судна без ветрового воздействия при использовании для моделирования погрешности датчика позиционирования экспериментальных данных
Fig. 8. The dynamics of the vessel without wind action when using experimental data to simulate the error of the positioning sensor

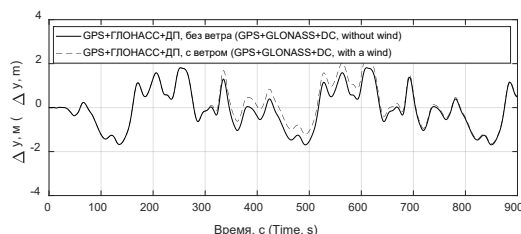


Рис. 9. Динамика судна при ветровом воздействии при использовании для моделирования погрешности датчика позиционирования экспериментальных данных
Fig. 9. The dynamics of the vessel under wind influence when using experimental data for modeling the error of the positioning sensor

В результате решения системы дифференциальных уравнений на каждом шаге получается набор параметров, характеризующих поведение судна: скорость (продольная и поперечная), частоты вращения гребных колес, курс судна и угол дрейфа, угловая скорость вращения относительно центра масс, пройденный путь и отклонение от траектории. Каждую секунду к вычисленному значению отклонения от траектории добавляется очередное, экспериментально полученное значение погрешности навигационного приемника (из массива на рис. 5, а). В одном массиве 3600 точек, для моделирования использовались произвольно вырезанные массивы из 900 точек. Как показали результаты моделирования, выбор массива в начале, середины или в конце исходной последовательности не меняет качественные показатели процесса управления. Такой же результат дают и выборки из других массивов (см. рис. 2).

Предложенный алгоритм обеспечивает удержание судна на заданной траектории с приемлемой точностью. Отклонения судна от заданной траектории не превышает ± 2 м, что вполне приемлемо для судна длиной 83 м (см. рис. 8). При появлении ветра (см. рис. 9) траектория смещается на величину, пропорциональную внешнему воздействию (статическая система управления). При этом характер изменения поперечной координаты определяется характером изменений погрешности навигационного прибора.

На рис. 10 приведены параметры процесса управления при изменении силы и направления ветра на 360° – скорость судна V , частоты вращения гребных колес n_1 и n_2 , угол дрейфа $\alpha_{др}$, отклонение от траектории Δy . Ось времени разбита на интервалы по 300 с, в каждом интервале меняются параметры внешнего воздействия. В качестве модели распределения погрешностей навигационного приемника использовалась экспериментальная зависимость (см. рис. 5, а).

Судно «Золотое кольцо» в силу своих конструктивных особенностей имеет сложную зависимость крутящего момента, вызванного ветровым воздействием, от направления ветра [9]. Алгоритм обеспечивает удержание судна на заданной траектории в пределах от 3,5 м до 4 м при изменении направления ветра на 360° и среднеквадратичной погрешности измерения местоположения порядка 1 м. Это приемлемые показатели для судна длиной 83 м и шириной 14 м.

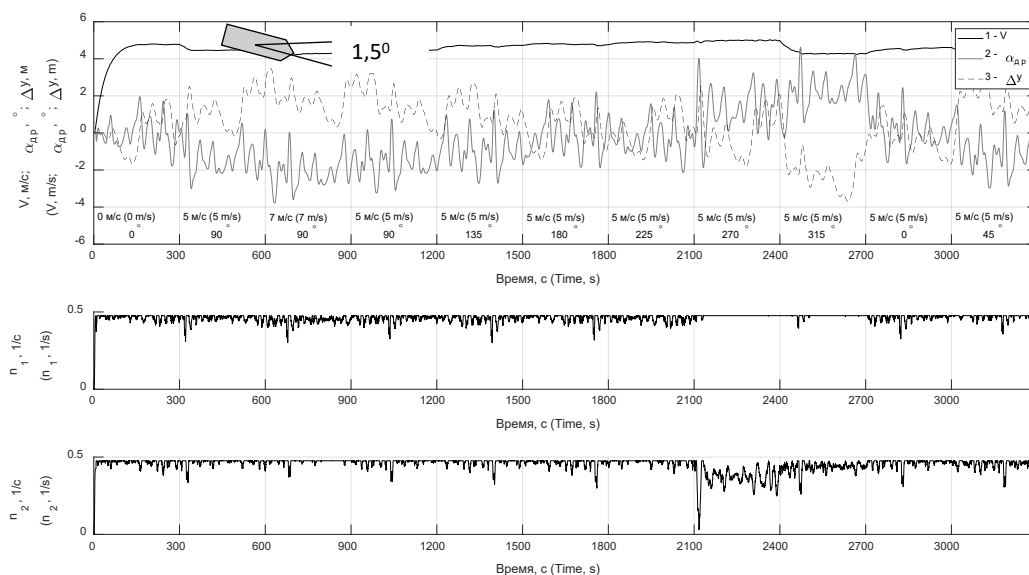


Рис. 10. Динамика судна при изменении скорости и направления ветра на 360° при использовании для моделирования погрешности датчика позиционирования экспериментальных данных
Fig. 10. The dynamics of the vessel when the wind speed and direction change by 360° when using experimental data for modeling the error of the positioning sensor

Заключение

При реализации сложных алгоритмов управления судном (удержание судна на заданной траектории, переход судна на заданную циркуляцию, расхождение судов и пр.) требуются датчики контроля местоположения судна. В качестве таковых могут использоваться приемники ГНСС.

При моделировании динамических процессов управления судном необходимо использовать адекватные модели характера поведения погрешностей позиционирования навигационных приемников.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что аппроксимировать погрешности позиционирования навигационного приемника случайным процессом с гауссовским законом распределения можно лишь на значительных интервалах времени (часы и более). На более коротких интервалах времени, характерных для функционирования судовых систем управления (секунды, минуты), модель нормального распределения результатов навигационных определений неприемлема. При моделировании работы алгоритмов управления судном целесообразно использовать экспериментальные зависимости погрешностей измерения местоположения.

Как показывают результаты исследования, возможно реализовать алгоритмы, обеспечивающие удержание судна на заданной траектории с приемлемой точностью. Отклонения от траектории, вызванные погрешностями измерения координат навигационными приборами, соизмеримы с величиной отклонений, определяемых конструктивными особенностями корпуса судна и его движителей.

Список источников:

1. Перспективы совершенствования судовых систем управления движением / В.Ю. Каминский, Д.А. Скороходов и др. // Морские интеллектуальные технологии/Marine intellectual technologies. – 2019. – № 3. – Т. 3. – С. 64-70.
2. Стельмашук С.В. Работа рулевого привода в следящем и позиционном режиме // Морские интеллектуальные технологии/Marine intellectual technologies. – 2021. – № 2. – Т. 2. – С. 73-79.
3. Малов А.С., Плющаев В.И., Спицина Ю.В. Экспериментальная проверка возможности использования разнесенных спутниковых навигационных приемников для определения параметров движения судна // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2017. – № 50. – с. 56-61.
4. Скрыпник О.Н., Арефьев Р.А., Арефьева Н.Г. Оценка характеристик погрешностей позиционирования комбинированных ГЛОНАСС/GPS приемников // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 10/2. – с. 296-301.
5. Бадмаев А.Б., Козиенко Л.В., Климов Н.Н. Сравнительный анализ погрешностей определения координат одночастотными GPS / ГЛОНАСС приемниками в статическом режиме // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62. – № 2. – С. 212-220.
6. Вознесенский Д.А., Шахнов С.Ф. Анализ текущего состояния покрытия ВВП РФ сетью контрольно-корректирующих станций дифференциальной подсистемы ГНСС ГЛОНАСС/GPS // Транспортное дело России. – 2022. – № 3. – С. 136-138.
7. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. М.:Эко – Трендз, 2003. – 326 с.
8. Бычков В.Я., Грошева Л.С., Плющаев В.И. Математическая модель судна с колесным движительно – рулевым комплексом «Золотое кольцо» // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Морская техника и технология. – 2018. – №3. – С. 36-46.

References:

1. Kaminsky VYu, Skorokhodov DA, et al. Prospects for Improving Marine Traffic Control Systems. Marine Intellectual Technologies. 2019;3(3):64-70.
2. Stelmashchuk S.V. Steering Drive Operation in the Tracking and Positioning Mode. Marine Intelligent Technologies. 2021;2(2):73-79.
3. Malov A.S., Plushaev V.I., Spitsina Yu.V. Experimental Verification of the Split Satellite Navigation Receivers Usage Possibility for Determining of the Ship Traffic Parameters. Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. 2017;50:56-61.
4. Skrypnik O.N., Arefiev R.A., Arefieva N.G. The Assessment of Positioning Error Characteristics of Combined Glonass/GPS Receivers. Modern High Technologies. 2019;10-2:296-301.
5. Badmaev A.B., Kozienko L.V., Klimov N.N. Comparative Analysis of Errors in Determining Coordinates with Single-Frequency GPS/GLONASS Receivers in Static Mode. Modern Technologies. System Analysis. Modeling. 2019;62(2):212-220.
6. Voznesensky D.A., Shakhnov S.F. Analysis of the Current State of the Coverage of the Russian Federation Inland Waterways by a Network of Control and Correction Stations of the Differential Subsystem GNSS GLONASS/GPS. Transport Business of Russia. 2022;3:136-138.
7. Soloviev Yu.A. Satellite Navigation and Its Applications. Moscow: Eco-Trends; 2003.
8. Bychkov V.Ya., Grosheva L.S., Plushaev V.I. Mathematical Model of the Vessel with Wheeled Propulsion-Steering Complex “Golden Ring”. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. 2018;3:36-46.

9. Бычков В.Я., Грошева Л.С., Плющаев В.И. Динамика судна с колесным движительно-рулевым комплексом в условиях внешних воздействий // Морские интеллектуальные технологии/Marine intellectual technologies. – 2019. – № 4 Т.2. – С.139-146.

10. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Анализ влияния погрешностей измерения параметров движения на качественные показатели процесса автоматического удержания судна с колесным движительно-рулевым комплексом на заданной траектории // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2017. № 51. – С. 46-55.

11. Грошева Л.С., Плющаев В.И. Адаптивный алгоритм удержания судна с колесным двигателем на курсе // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2015. – № 43. – С. 48-55.

9. Bychkov V.Ya., Grosheva L.S., Plushaev V.I. Dynamics of a Vessel with a Wheeled Propulsion-Steering Complex Under External Influences. Marine Intellectual Technologies. 2019;4(2):139-146.

10. Grosheva L.S., Plushaev V.I. Analysis of Movement Parameters Measurement Error Influence on the Quality Factors of the Automatic Hold Process of the Vessel with Wheel Propulsion and Steering System on a Specified Path. Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. 2017;51:46-55.

11. Grosheva L.S., Plushaev V.I. The Adaptive Algorithm of Keeping the Vessel with the Paddle Wheels on the Course. Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport. 2015;43:48-55.

Информация об авторах:

Мельников Михаил Алексеевич

аспирант Волжского государственного университета водного транспорта, SPIN-код: 1999-1608, AuthorID: 1215292, ORCID iD: 0009-0006-4598-9934

Плющаев Валерий Иванович

профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой радиоэлектроники Волжского государственного университета водного транспорта, SPIN-код: 4523-6972, AuthorID: 9274, ORCID iD: 0000-0001-6120-3782

Information about the authors:

Melnikov Mikhail Alekseevich

graduate student of Volga State University of Water Transport, SPIN-code: 1999-1608, AuthorID: 1215292, ORCID iD: 0009-0006-4598-9934

Plyushchaev Valery Ivanovich

Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Radio Electronics" of Volga State University of Water Transport, SPIN-code: 4523-6972, AuthorID: 9274, ORCID iD: 0000-0001-6120-3782

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 18.03.2024; одобрена после рецензирования 15.04.2024; принята к публикации 25.04.2024.

The article was submitted 18.03.2024; approved after reviewing 15.04.2024; accepted for publication 25.04.2024.

Рецензент – Федяева Г.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Fedyaeva G.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.