

УДК 527.62: 629.05: 004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ С КДРК

Мельников Михаил Алексеевич¹, старший преподаватель кафедры радиоэлектроники
e-mail: mikh.melnickow1999@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы влияния точности навигационных решений на качество работы системы автоматического управления речными судами с колесным движительно-рулевым комплексом. Исследуется влияние различных моделей и предельных величин погрешностей на работу системы управления при различных режимах движения.

Ключевые слова: речные суда, колесный движительно-рулевой комплекс, навигационные системы, погрешности, система управления судном, математическое моделирование.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF POSITIONING SYSTEM ERRORS ON THE QUALITY INDICATORS OF VESSEL WITH WPSS CONTROL

Mikhail A. Melnikov¹, Senior lecturer of the Department of Radio Electronics
e-mail: mikh.melnickow1999@yandex.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the impact of the accuracy of navigation solutions on the quality of the automatic control system for river vessels with a wheeled propulsion and steering system. The influence of various models and error limits on the operation of the control system in various driving modes is investigated.

Keywords: river vessels, wheeled propulsion and steering system, navigation systems, errors, vessel control system, mathematical modeling.

Особенностью систем автоматического управления речными судами в целом, и судами с колесным движительно-рулевым комплексом (КДРК), в частности [1], является потребность в высокоточной навигации (метровая или субметровая точность навигационного решения). Данная потребность обусловлена следующими факторами: ограниченность зоны маневрирования шириной фарватера, отсутствие зоны безопасности между подвижными объектами, насыщенность движения на водных путях. Надежность навигационного решения оказывает влияние, как на качественные параметры управления [2], так и на безопасность судоходства в целом.

Для решения навигационной задачи на судах применяется несколько подходов (штурманская прокладка, инерциальная навигация), наиболее распространенным стало использование глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС). Широкое применение спутниковых навигационных систем на флоте стало большим шагом в решении навигационной задачи, а также в задаче обеспечения безопасности судоходства. Иногда заявленной точности местоопределения недостаточно для применения в заданных условиях (в узкостях, портах, на реках).

Для повышения точности решения навигационной задачи применяют несколько основных методов: использование мультисистемных приемников, многочастотные приемники, системы дифференциальной коррекции [3]. Локальные системы дифференциальной коррекции, работающие в режиме кинематики в реальном времени, могут обеспечить сантиметровую точность фиксированного решения и метровую точность текущего решения.

Обычно в литературе, распределение погрешности местоопределения глобальных спутниковых навигационных систем описывается нормальным (Гауссовым) распределением. Однако, рассматривая поведение системы на малых временных промежутках (которые, как раз наиболее применимы при моделировании динамических систем) можно заметить, что характер распределения значительно отличается (рисунок 1).

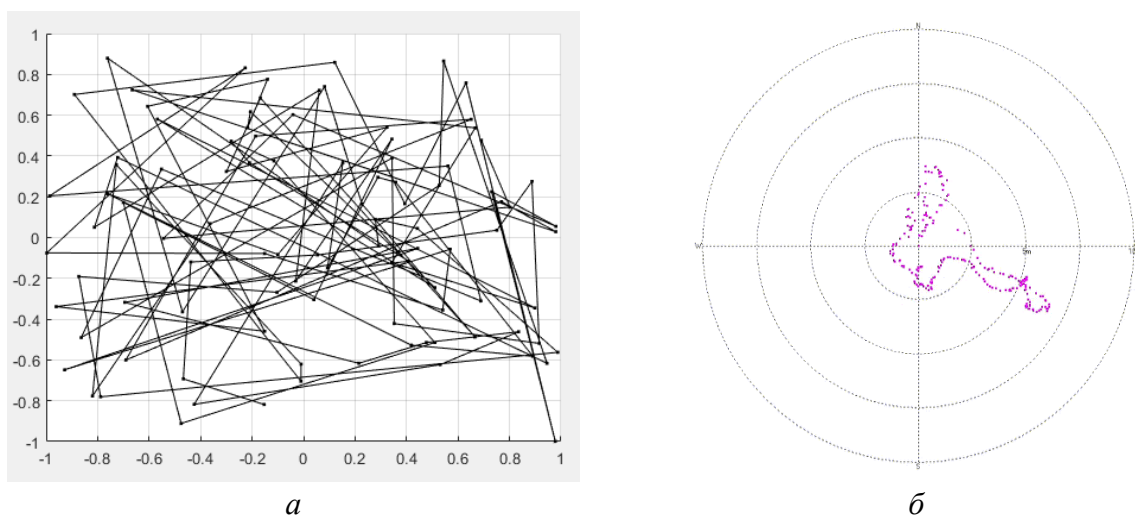


Рисунок 1 – Выборка случайной величины с нормальным распределением (а) и выборка реального распределения (б) для статичной антенны

Интересна применимость выборок навигационных решений, полученных статичным приемником, для моделирования погрешностей каналов измерения в судовой системе управления.

Для определения реально существующих в оборудовании ошибках, был проведен эксперимент, в ходе которого была записана траектория движения судна, математическая модель которого впоследствии будет подвергнута исследованию. Для записи траектории использован спутниковый компас «МИРАН» СК-2 [4].

Из полученной траектории выбран условно прямолинейный участок (рисунок 2а). При более подробном изучении было показано, что на участке присутствует влияние управляющего воздействия судоводителя. Для выделения именно погрешности местоопределения, траектория была аппроксимирована полиномом. Вычисленная, затем, разность траектории и линии тренда принята как величина погрешности местоопределения (рисунок 2в).

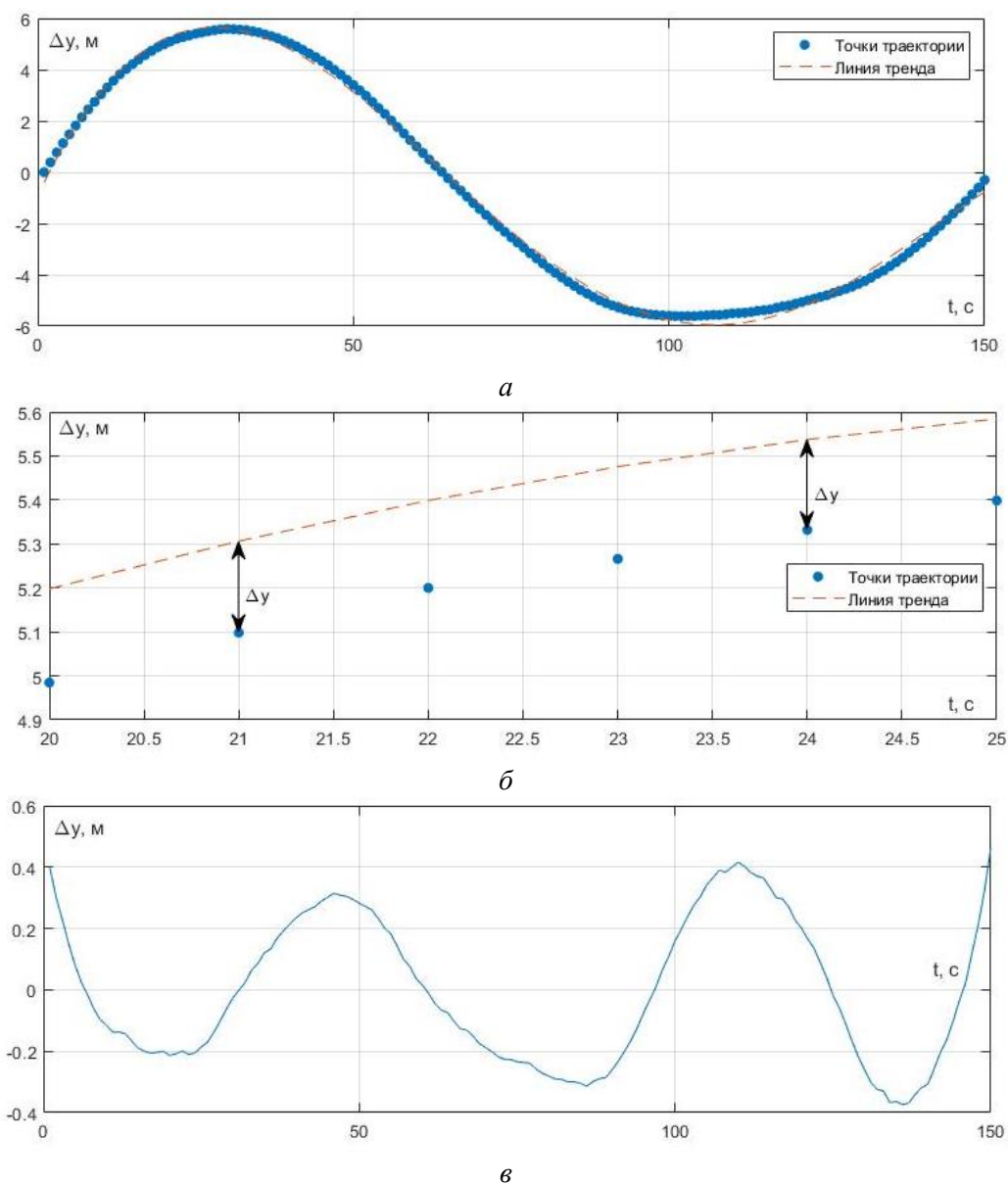


Рисунок 2 – Аппроксимируемый участок траектории и линия тренда (а), фрагмент траектории с рисунка 2а с указанием величины ошибки местоопределения (б) и зависимость ошибки местоопределения от времени (в)

Следующим этапом стало исследование влияния полученных погрешностей на качественные параметры работы системы автоматического управления судном. Исследование проводилось на математической модели. В рамках исследования проведено моделирование движения судна в следующих режимах: движение по прямолинейной траектории, движение по прямолинейной траектории с поворотом на угол менее 90° , движение по прямолинейной траектории с поворотом на угол более 90° , движение по сложному маршруту [5]. Во всех предложенных режимах, при воздействии любого из описанных вариантов погрешности (с нормальным распределением, реальное распределение погрешностей местоопределения для статичного приемника, реальное распределение погрешностей местоопределения для динамического объекта), система управления работала штатно, судно удерживалось на заданной траектории с допустимыми погрешностями.

Внешние условия (близость высокого берега или высоких зданий, наличие мостов, линий электропередачи и других схожих объектов) могут оказывать негативное влияние на качество навигационного решения. Для исследования влияния данного фактора были проведены эксперименты, в которых предложенные погрешности кратно масштабировались (рисунок 3). В результате, система управления функционировала штатно даже при предельной величине ошибки 15 метров (большая предельная величина не исследовалась, так как в условиях внутренних водных путей, такая ошибка является недопустимой для систем автоматического управления).

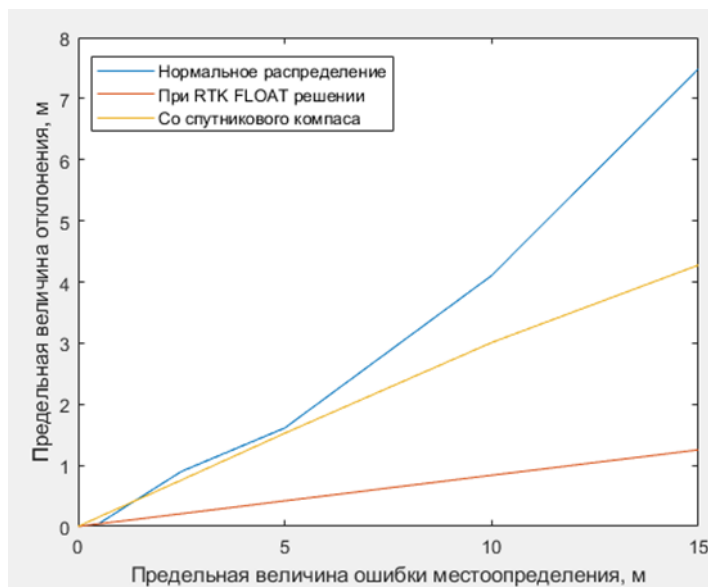


Рисунок 3 – Зависимость предельного отклонения от заданной траектории от предельной величины ошибки навигационного решения

Управление судном с колесным движительно-рулевым комплексом осуществляется путем изменения частоты вращения колес для изменения скорости движения и соотношения частот вращения колес для изменения направления движения. Кроме того, частота вращения колес ограничена сверху предельной частотой вращения (для данного судна 0,5 об./с). При движении со скоростью $\frac{3}{4}$ от максимальной, номинальная частота вращения колес равна 0,375 об./с. При этом важным параметром, показывающим запас на изменение управляющего воздействия системы управления, является предельная разница скорости вращения колес (рисунок 4).

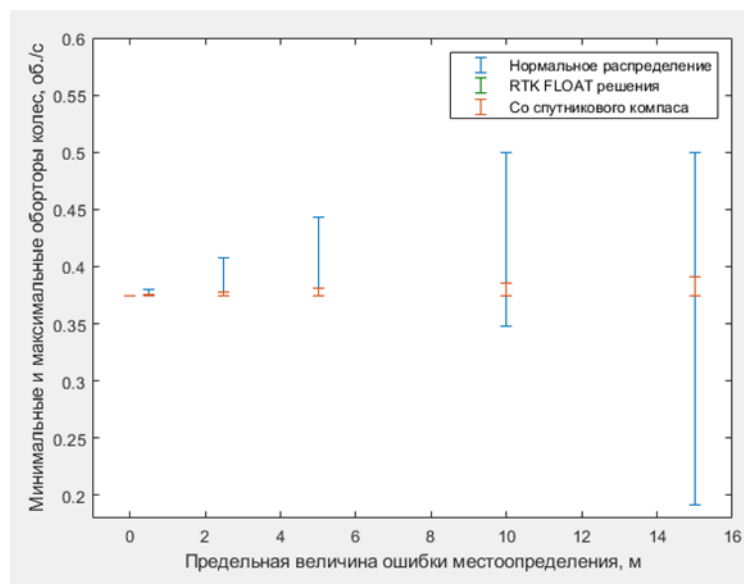


Рисунок 4 – Зависимость предельной разницы скорости вращения колес, от качества навигационного решения

Полученный результат говорит о применимости данных о качестве навигационного решения, полученные для статичной антенны, для моделирования процессов и определения качественных показателей системы управления судном.

Список литературы:

1. Бычков, В. Я. Исследование управляемости судна с колесным движительно-рулевым комплексом при внешних воздействиях / В. Я. Бычков, В. И. Плющаев // Великие реки - 2020 : Труды 22-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 27–29 мая 2020 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – С. 93. – EDN VDJNOE..
2. Мельников, М. А. Исследование влияния погрешностей измерения навигационных параметров на качество процесса управления безэкипажным судном / М. А. Мельников, В. И. Плющаев // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 73. – С. 196-205. – DOI 10.37890/jwt.vi73.326. – EDN TJGSEM..
3. 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.
4. Спутниковый компас | ГНСС | МИРАН | СК-2 / [Электронный ресурс] // МАРИНЭК : [сайт]. — URL: <https://seacomm.ru/catalog/sputnikovyy-kompas-gnss-miran-sk-2/> (дата обращения: 29.05.2026).
5. Грошева, Л. С. Динамика колесного судна при движении по кусочно - сшитой траектории при ветровом воздействии / Л. С. Грошева, В. И. Плющаев // Проблемы научно-практической деятельности. Поиск и выбор инновационных решений : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Казань, 12 декабря 2022 года. – Стерлитамак: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований", 2022. – С. 131-134. – EDN EBUPEB..