

УДК 629.542

Д.Н. Гудков, И.В. Тихонов

Киевская государственная академия водного транспорта  
им. гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Киев

## СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВ КАК ЭРГАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

В статье рассмотрены основные современные системы динамического позиционирования судов как эргатический инструмент повышения уровня безопасности мореплавания. Проведен анализ существующих системных решений динамического позиционирования по их типам и устройству. Проведен анализ актуальности и целесообразности использования рассмотренных системных решений и возможность их применения на судах в зависимости от рода их деятельности.

**Ключевые слова:** судно, динамическое позиционирование, математическая модель судна, эргатическая система, безопасность мореплавания.

### Введение

По результатам анализа материалов мировой статистики аварийных морских происшествий основными причинами аварийных случаев на морском транспорте являются: ошибки судоводительского состава в управлении судном; недостаточная квалификация членов экипажей судов; неисправности и износ механизмов и оборудования судов; невнимательность судовладельцев к вопросам безопасности на море.

При этом ошибки судоводителей являются основной причиной аварий на морском транспорте.

Роль системы динамического позиционирования как эргатической системы повышения безопасности мореплавания – свести к минимуму возможную ошибку судоводителя за счет дистанционного управления группой пропульсивных механизмов, тем самым сводя к минимуму ручное управление этими механизмами, требующего наличия значительного опыта судоводителя и длительного повышенного внимания при управлении.

**Системы динамического позиционирования (системы ДП)** – компьютеризированные системы, позволяющие производить автоматическое точное удержание судна на заданном курсе и в заданном местоположении, а также управлять движением судна

точно по установленным оператором параметрам.

**Динамически позиционируемое судно** – судно с механическим двигателем на ходу, имеющее ход относительно воды, использующее для обеспечения движения либо удержания заданного местоположения свой собственный пропульсивный комплекс (без участия других судов, без постановки на якорь и швартовки) и приборы для определения абсолютного либо относительного местоположения и курса.

### Основной материал

На сегодняшний день в мире существует два основных вида системных решений для систем динамического позиционирования:

1. Системы ДП на принципе формирования управляющего сигнала Пропорционально-интегрально-дифференциального контроллера (ПриД-контроллер).

2. Системы ДП, построенные на принципе использования математической модели управления.

**Системы ДП, построенные на принципе формирования управляющего сигнала ПриД-контроллера.** Пропорционально-интегрально-дифференциальный контроллер (ПриД-контроллер) (рис. 1) – эргатическое устройство в управляющем контуре с обратной связью.

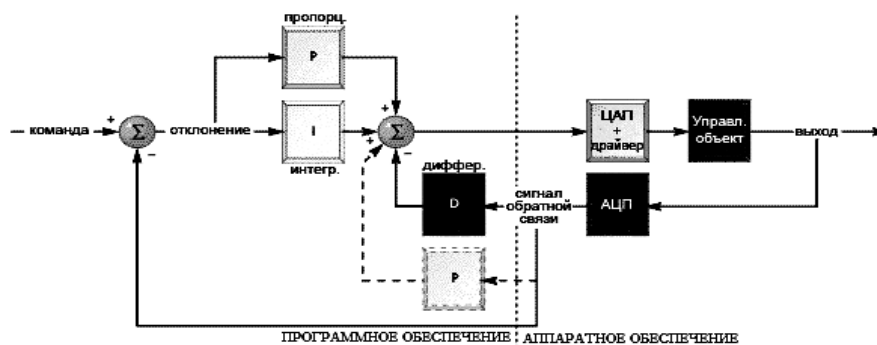


Рис. 1. Схема системы ДП с использованием ПриД-контроллера

Используется в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимой точности и качества переходного процесса. ПриД-контроллер формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первый из которых пропорционален разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования), второй является интегралом сигнала рассогласования, а третий – производная сигнала рассогласования [1].

**Системы ДП, построенные на принципе использования математической модели управления.** Математическая модель – это математическое представление реальности [2]. Модель представляет собой математическое обоснование и описание того, как судно реагирует на внешние силы и (или) перемещается в зависимости от суммарного воздействия сил, приложенных к нему. Модель также представляет собой математическое описание гидродинамических и аэродинамических характеристик судна, таких как: масса судна, площадь смоченной поверхности корпуса, площадь парусности и момент инерции судна и т.д. Модель при этом должна быть описана математически настолько точно, насколько это практически макси-

мально возможно, а реакции на любые внешние силы должны быть точно измерены и рассчитаны [3].

Разница между этими двумя решениями состоит в том, что системы, контролируемые ПриД – контроллером, могут скорректировать систему (вернуть в первоначальное состояние) только лишь после того, когда система уже вышла из состояния равновесия. Системы, работающие на принципе математической модели, могут прогнозировать (предугадывать) отклонения от первоначального состояния, и таким образом использовать корректировки с упреждением – прежде, чем такое отклонение имеет место.

**Рассмотрим более подробно систему ДП, построенную на принципе использования математической модели** (рис. 2). Эти системы ДП являются более надежными по отношению к изменениям параметров системы и окружающей среды. Системы ДП на основе математической модели могут также позволять судну оставаться в заданной позиции в течение некоторого промежутка времени (5 – 15 минут, в зависимости от условий окружающей среды) в случае утраты работоспособности (потери сигнала) всех систем определения местоположения.

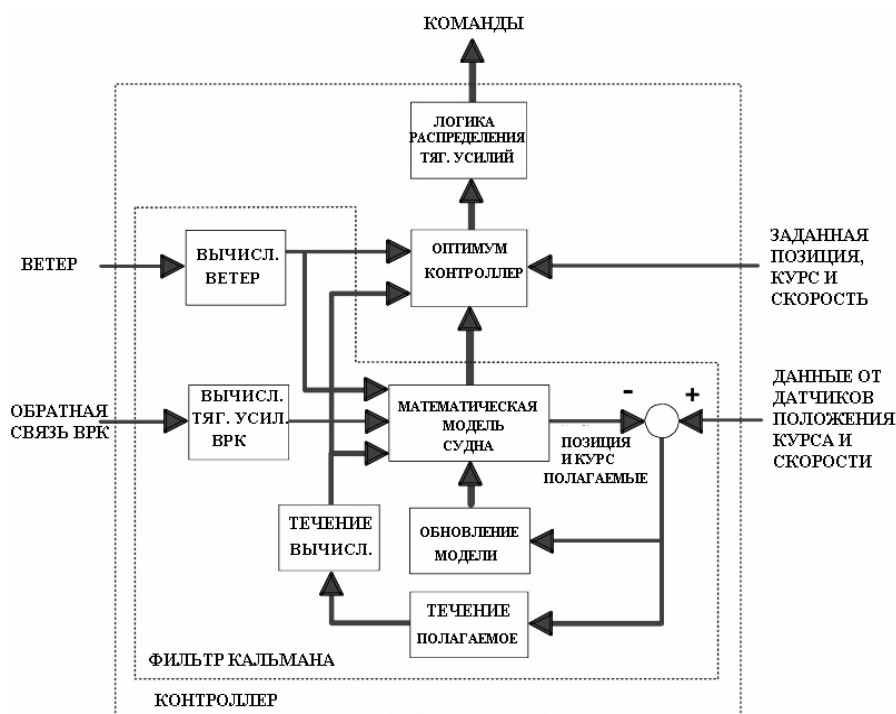


Рис. 2. Система ДП, построенная на математической модели

Позиция, курс, скорость и другие параметры задаются оператором и затем обрабатываются компьютером системы ДП. Компьютер, в свою очередь, генерирует управляющие сигналы на движители судна и основные его системы. Система ДП всегда вырабатывает и распределяет оптимально необходимое количество тяги на каждый элемент пропульсивного комплекса (главный движитель и подруливающие устройства).

Для управления курсом судна система ДП использует данные, поступающие от одного или нескольких гирокомпасов, в то время как данные как минимум от одной абсолютной или относительной системы определения местоположения (например: система GPS, гидроакустическая система или лазерно-лучевая система) позволяют системе ДП контролировать местоположение судна. Отклонения от заданного курса или позиции автоматически

обнаруживаются системой ДП и соответствующие корректировки вносятся посредством управляющих сигналов.

Математическая модель учитывает влияние тех же сил, которые действуют и на само судно. Сила ветра вычисляется в зависимости от измеренной скорости и направления ветра, в то время как сила упора рассчитывается как сила вырабатываемой тяги винторулевым комплексом, разворот лопастей, обороты и (или) направление вырабатываемой им силы.

Также используется алгоритм оценки влияния морских течений и волн и сил, вызванных этими факторами. Выходные данные математической модели судна оценивают оптимальное положение судна и скорость в каждой из трех степеней свободы: продольной, поперечной осей и оси вращения.

Сама по себе модель не может дать точных данных о реальном положении судна. Тем не менее, с помощью использования фильтра Кальмана [4], [5], модель может непрерывно корректироваться. Гирокомпасный курс судна, данные о позиции судна, поступающие от систем определения местоположения, используются в качестве входных данных для системы DP.

Данные сравниваются с прогнозируемыми (оценочными) данными, рассчитанными математической моделью.

Расхождение рассчитывается, сравнивается и в дальнейшем используется для корректировки вычисления внутри математической модели в изме-

нившейся ситуации. Графически это можно представить следующим образом (рис. 3). Использование математической модели судна и фильтра Кальмана имеет следующие преимущества перед системами с ПриД-регуляторами:

1. Оптимальная фильтрация помех и возмущений при определении курса и местонахождения судна.

2. Оптимальное сочетание данных, поступающих из различных систем определения абсолютного и относительного местонахождения. Математическая модель позволяет получить поправку для каждой используемой системы позиционирования и, взвесив данные (точность, стабильность, повторяемость) своих измерений в соответствии с каждой системой, определяет степень надежности и приоритет для входных данных.

3. В случае потери входных данных от системы определения абсолютного или относительного местоположения, модель обеспечивает достаточно точный режим "счисления", при котором система способна выполнять относительно точное позиционирование в течение некоторого промежутка времени.

Фильтр Кальмана широко используется в инженерных и эконометрических приложениях. Кальмановская фильтрация является важной частью теории управления, играет большую роль в создании систем управления. Фильтр Кальмана и линейно-квадратичный регулятор делают возможным решение большинства фундаментальных задач в теории управления [6].

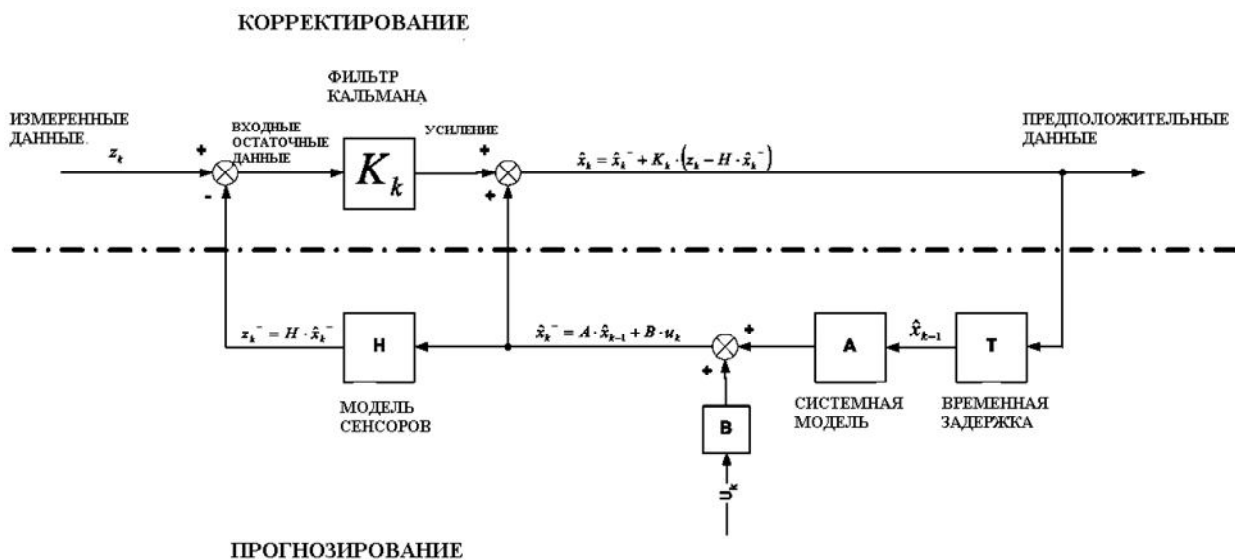


Рис. 3. Схематическая блок-диаграмма фильтра Кальмана

**Оптимизирующий контроллер** (рис. 2) является частью системы ДП, построенной на принципе математической модели. Цель данного контроллера – расчет равнодействующей сил, которая должна быть сгенерирована двигателями для удержания судна в нужном положении, или для обеспечения движения

точно с заданными оператором курсом и скоростью. Результатом этого расчета является равнодействующая сила, называемая силой спроса, которая состоит из:

1. Обратной связи смещения из исходной позиции.
2. Упреждение ветра.
3. Обратной связи по течению.

**Обратная связь смещения из исходной позиции.** Установочные данные положения и курса, заданные оператором системы ДП, поступают в оптимизирующий контроллер. Далее вычисляется разница между поступившими и исходными данными, и производится фильтрация данных позиции и курса судна, а также между требуемой и фактической скоростью. Эти разницы умножаются на коэффициент усиления, вычисляемый с помощью фильтра Кальмана, и в результате рассчитываются силы моментов, необходимые для приведения судна в заданное местоположение и направления движения.

Силы моментов состоят из двух частей:

- восстанавливающий момент силы, который пропорционален отклонению между фактическим и требуемым положением и направлением движения судна;

- демпфирующий момент, который пропорционален отклонению между фактической и требуемой скоростью вращения ВРК.

Коэффициенты усиления управляющих сигналов рассчитываются и корректируются, чтобы оптимизировать управление с максимальной эффективностью и минимальными энергопотреблением.

**Упреждение воздействия силы ветра.** Используется с целью противодействия силам ветра как можно быстрее в случае внезапного изменения его силы или направления. Это означает, что система ДП противодействует ветровым силам, как только они будут обнаружены, не позволяя судну сместиться с заданной позиции.

**Обратная связь по течению.** Несмотря на использование режима упреждения ветра для упреждения смещения судна и удержания его в позиции или в движении с заданными параметрами, под воздействием сил, которые не измеряются непосредственно (волны, течения, резкие порывы ветра) судно все-таки может сместиться из начального положения. Для устранения такого смещения система оценивает эти силы в течении продолжительного периода времени, а затем вычисляет усредненные командные сигналы, применительно к преобладающим силам, которые подаются для противодействия им.

Оптимизирующий контроллер также дает возможность оператору перейти в полуавтоматический режим управления и, используя джойстик системы ДП, двигать и вращать судно вручную, контролируя тягу ВРК.

**Логика распределения тягового усилия движителей.** Оптимизирующий регулятор рассчитывает силу компенсирующего момента для продольной и поперечной оси, а также на вращательный момент. Эти силы моментов затем распределяются на различные движители судна: винты, рули и

подруливающие механизмы которые включаются в систему точно в таком количестве, которое необходимо для создания вектора тяги ВРК, достаточного для удержания судна в устойчивой позиции, либо для его движения точно по заданной траектории. Оптимальный алгоритм распределения тяги повышает надежность и эффективность системы в целом, а так же позволяет минимизировать расход топлива и снижать износ механизмов.

## Выводы

Обе рассмотренные в статье системы являются эргатическими и предназначены для повышения уровня безопасности мореплавания и снижения воздействия человеческого фактора при выполнении достаточно сложных операциях точного удержания судна в позиции или движения точно по заданным параметрам.

Системы ДП, основанные на использовании математической модели – более сложные и дорогостоящие устройства, но, в то же время, более надежные и точные. Эти системы актуальны и найдут свое применение на судах технического флота и буксирах, работающих в непосредственной близости к объектам (буровым платформам, судам на якоре, гидротехническим сооружениям), где в виду сложности выполняемых работ и ограниченном пространстве необходимо постоянное точное и надежное прогнозируемое позиционирование. Данные системы также дают возможность объектам водного транспорта в случае отказа приборов определения местоположения оставаться в заданной позиции в течении некоторого времени, сохраняя тем самым высокий уровень безопасности мореплавания в таком нештатном случае. Последующие корректировки местоположения производятся оператором в соответствии со сложившимися условиями.

Системы динамического позиционирования на принципе формирования управляющего сигнала ПриД-контроллера найдут свое применение на любом типе судов, в том числе и на маломерных судах, где необходимо повысить уровень безопасности в целом, но в то же время не требуется применение высокоточных, надежных, но и более сложных и дорогостоящих систем.

Следует также отметить, что в виду сложности устройства и освоения систем, основанных на математической модели судна, необходима качественная подготовка и периодическое повышение квалификации операторов ДП в специализированных центрах подготовки.

В свою очередь управление аналоговыми системами на принципе формирования управляющего сигнала ПриД-регулятора подразумевает использование системы ДП судоводителями любого уровня, прошедшими непродолжительный курс подготовки.

## Список литературы

1. Tim Wescott. PID Without a PhD – <http://roboforum.ru>.
2. A Mathematical Representation of Reality. (Encyclopaedia Britannica).
3. Jon Holvik, Kongsberg Simrad Inc. (Houston). Basics of Dynamic Positioning. DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE, October 13 – 14, 1998.
4. Greg Welch, Gary Bishop. An Introduction to the Kalman Filter. TR 95-041, Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill. April 5, 2004.
5. Olivier Cadet, Transocean Offshore Deepwater Drilling Inc. (Houston). Introduction to Kalman Filter and its Use in Dynamic Positioning Systems – DYNAMIC POSITIONING CONFERENCE, September 16 – 17, 2003.
6. Бесекеерский В. А. Теория систем автоматического управления. 4-е изд. / В. А. Бесекеерский, Е.П. Попов. – С. Пб.: Изд-во «Профессия», 2003. – 751 с.
7. Сайт habrahabr.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://habrahabr.ru/post/140274/>.
8. Техническая документация судов, оснащенных системами ДП: “Bourbon Liberty 200” Series и “Bourbon Liberty 300” Series.

Поступила в редколлегию 15.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, доц. Д.П. Пашков, Национальный университет обороны им. И. Черняховского, Киев.

## СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІЮВАННЯ СУДІВ ЯК ЕРГАТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВАННЯ

Д.М. Гудков, І.В. Тихонов

У статті розглянуті основні сучасні системи динамічного позиціонування суден як ергатичний інструмент підвищення рівня безпеки мореплавства. Проведено аналіз існуючих системних рішень динамічного позиціонування за їх типами і складом. Проведено аналіз актуальності та доцільності використання розглянутих системних рішень та можливість їх використання на судах в залежності від роду їх діяльності.

**Ключові слова:** судно, динамічне позиціонування, математична модель судна, ергатична система, безпека мореплавства.

## THE SYSTEMS OF DYNAMIC POSITIONING OF COURTS AS ERGATICHIY ARE INSTRUMENT OF INCREASE OF SAFETY OF NAVIGATOR

D.M. Gudkov, I.V. Tikhonov

This article describes the basic modern dynamic positioning systems as ergatic tools for improving of navigation safety. The analysis of existing dynamic positioning solutions by type and facility. The analysis of the relevance and usefulness of the considered system solutions and the possibility of their use on vessels, depending on the nature of their activities.

**Keywords:** vessel, dynamic positioning, mathematical model, ergatic system, safety of navigation.