

**Список литературы:**

[1] Мерзляков В.И. Математическая модель комплекса корпус – движитель судна с колесными гребными движителями // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 1 (февраль). – С 56–61.

*Л.С. Грошева, В.И. Мерзляков, А.С. Сидоров*  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА С КДРК ПО КУРСУ**

Описан принцип управления судном с колесным движительно–рулевым комплексом. Предложена структура системы управления движением судна по курсу.

В настоящее время в Нижнем Новгороде идут ходовые испытания судна с новым движительно-рулевым комплексом с применением гребных колес (колесным ДРК или КДРК). Это судно проекта ПКС 40 «Сура».

КДРК представляет собой два кормовых колеса с жестко установленными плицами винтовой формы по Российскому патенту № 2225327 от 30.11.2001 г.

Гребные колеса вращаются специальными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором. Система управления электроприводами гребных колес выполнена с использованием преобразователей частоты (ПЧ) фирмы Schneider Electric типа Altivar 71.

Использование КДРК позволяет уменьшить осадку судна, оптимизировать его размеры, повысить маневренные качества, обеспечить возможность работы без причальных сооружений и при этом снизить удельные показатели мощности энергетической установки.

У судна отсутствует традиционный орган управления (руль, поворотные насадки), а изменение величины и направления вектора тяги осуществляется путём изменения соотношения числа оборотов и направления вращения гребных колёс, имеющих независимый привод.

Силы действующие на судно с колесным ДРК при постоянной мощности, подводимой к гребным колесам показана на рис. 1.

Шевронные плицы гребных колес создают упор, а следовательно, и вектор тяги, направленный под углом  $\alpha$  к диаметральной плоскости судна (для судна «Сура»  $\alpha = 15^\circ$ ). Плицы располагаются так, чтобы при прямолинейном движении вперед отбрасываемый плицами поток был направлен в корму и к диаметральной плоскости. Такое расположение плиц за счет подгребания воды с бортов и обжатия струи способствует повышению пропульсивного КПД комплекса корпус-двигатель.

При вращении гребных колес с одинаковой угловой скоростью в одном направлении, силы  $P_{k1p}$  и  $P_{k2p}$  находятся на одной оси и направлены в разные стороны, т.е. суммарная рулевая сила, поворачивающая судно равна нулю.

Силы  $P_{k1n}$ ,  $P_{k2n}$  направлены вдоль судна параллельно ДП в одну сторону и создают суммарную силу тяги, равную  $P$ ,

$$P = P_{k1} + P_{k2},$$

под действием которой судно движется по прямой.

При изменении соотношения числа оборотов гребных колес будет меняться величина векторов тяги правого и левого колеса. Вектор суммарной тяги  $P$  будет изменять

как величину, так и направление. Таким образом, при правильном управлении вектором тяги, можно обеспечить движение судна в любую сторону.

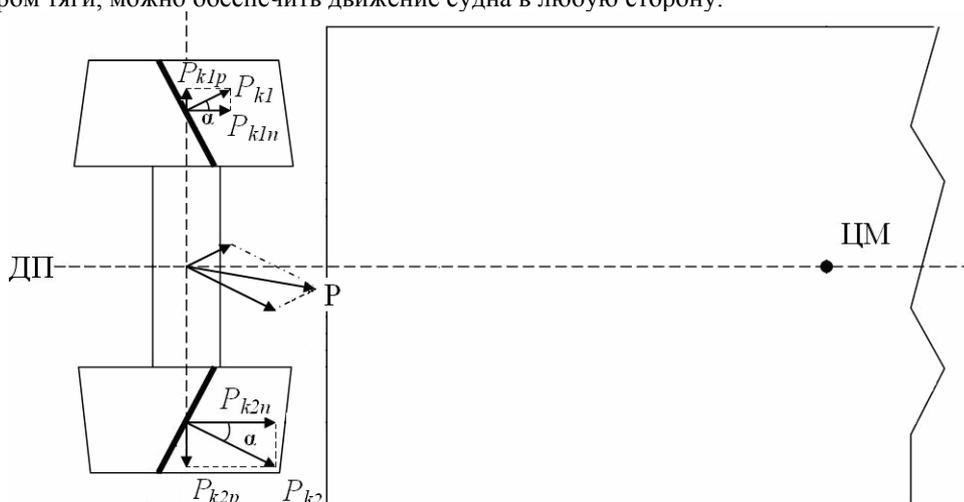


Рис. 1. Силы действующие на судно с колесным ДРК

ДП – диаметральной плоскость, ЦМ – центр массы судна,  $P$  – суммарный вектор тяги гребных колес,  $P_{k1}$ ,  $P_{k2}$  – вектор тяги левого и правого колеса соответственно,  $P_{k1n}$ ,  $P_{k2n}$  – продольная составляющая вектора тяги левого и правого колеса соответственно,  $P_{k1p}$ ,  $P_{k2p}$  – рулевая составляющая вектора тяги левого и правого колеса соответственно

При работе колес «враздрай» (вращение в разные стороны) с одинаковой угловой скоростью составляющие  $P_{k1p}$  и  $P_{k2p}$  создадут момент  $M_1$ , разворачивающий судно. Составляющие  $P_{k1n}$ ,  $P_{k2n}$  будут одинаковы по величине и направлены в разные стороны, т.е. никаких сил в продольном направлении они создавать не будут, однако за счет того, что  $P_{k1n}$ ,  $P_{k2n}$  приложены в разных точках, возникнет момент  $M_2$  разворачивающий судно в ту же сторону, что и момент  $M_1$ , т.е. судно совершит разворот на месте.

Из рис.1 видно, что изменяя соотношение числа оборотов и направление вращения гребных колес, можно обеспечить любое направление движения судна, поворот и разворот на месте при маневрировании, в том числе и при движении задним ходом. Однако из-за особенности конструкции колес пропульсивный КПД на заднем ходу ниже примерно на 10% чем на переднем, следовательно, управляемость на заднем ходу будет несколько хуже.

Для управления частотой и направлением вращения гребных колес на судне «Сура» используются два командконтроллера «джойстик». Направление вращения колес задается отклонением рукоятки джойстика в сторону движения (вперед или назад), а частота вращения (дискретно) величиной отклонения – чем больше отклонение, тем больше частота вращения. Управление каждым колесом раздельное. Однако это, казалось бы, очевидное решение серьезно затрудняет работу судоводителя. Ходовые испытания судна «Сура» выявили некоторые проблемы.

Наиболее тяжелым, с точки зрения управления, является режим маневрирования с малой скоростью: отход от причала и подход к нему, шлюзование и т.д. Режим маневрирования характеризуется тем, что судно должно двигаться в любом направлении и вращаться вокруг вертикальной оси. Судоводитель в этом случае должен согласованно манипулировать двумя джойстиками так, чтобы создать вектор тяги нужного направления и величины. Разумеется, это не простая задача и от судоводителя потребуются и повышенное внимание и определенные навыки.

На судах традиционной постройки судоводителю предоставляются отдельные органы управления для каждого устройства: рулей, силовых установок, поворотных колонок и т.д., и управление каждым таким устройством имеет гораздо большую независимость от других, чем на судне «Сура».

При движении по прямой судоводитель должен удерживать судно на заданном курсе. Испытания показали, что при управлении сразу двумя джойстиком, т.е. перераспределении частот вращения сразу двух гребных колес, судоводитель с большим трудом удерживает судно на курсе.

Другая проблема состоит в том, что при изменении загрузки судна меняется величина погруженности плиц и, как следствие, эффективность работы колеса. Таким образом, возникает необходимость в дистанционном измерении положения гребных колес и оперативной его коррекции.

Вообще говоря, все эти проблемы разрешимы с помощью современных средств автоматизации. В простейшем случае судоводителю может быть предоставлена информация о параметрах управления, например частота вращения каждого колеса, направление и величина вектора тяги, положение гребных колес. Опираясь на эти данные, судоводитель будет контролировать правильность манипуляций джойстиком. Такая система в настоящее время уже установлена на судне [1].

Однако судном управляет человек и задача автоматики – облегчить работу этого человека, избавив его от множества рутинных операций. В идеале, судоводитель должен задать простым и понятным способом курс и скорость судна, а какие при этом будут частоты вращения каждого колеса для него не важно. Таким образом, хорошо организованная автоматизированная система не должна предлагать судоводителю задавать непосредственно положение исполнительных органов, например частоту вращения каждого колеса или направление вектора тяги, а должна рассматривать в качестве объекта управления судно в целом. Для того чтобы такое управление стало возможным, система управления должна обеспечивать:

- прием заданий от органов управления, расположенных в рубке в виде курса и скорости судна;
- определение координат и положения судна в пространстве, а так же непрерывное их отслеживание;
- вычисление частоты оборотов каждого колеса в соответствии с полученными заданиями и согласованное управление частотными приводами;
- простой и понятный человеко-машинный интерфейс, не отвлекающий судоводителя от контроля за окружающей обстановкой.

Кроме того должны также выполняться определенные требования к датчикам и исполнительным устройствам:

- исполнительные устройства должны обеспечивать плавное управление частотой оборотов гребных колес от нулевого до максимального значения;
- необходимо использование нескольких приемников GPS/ГЛОНАСС или спутникового компаса для определения координат и положения судна в пространстве;
- органы управления и отображения положения гребного колеса должны находиться в ходовой рубке для осуществления оперативной коррекции.

Такая система может быть реализована на базе промышленного панельного компьютера. Структурная схема одного из вариантов представлена на рис. 2.

Судоводитель с помощью джойстиков задает курс и скорость движения, которые отображаются на панели компьютера. Далее компьютер, используя данные с GPS/ГЛОНАСС приемников о положении судна в пространстве и математическую модель судна [2], рассчитывает частоты вращения каждого гребного колеса для движения по заданному курсу и передает их в частотные преобразователи для исполнения.

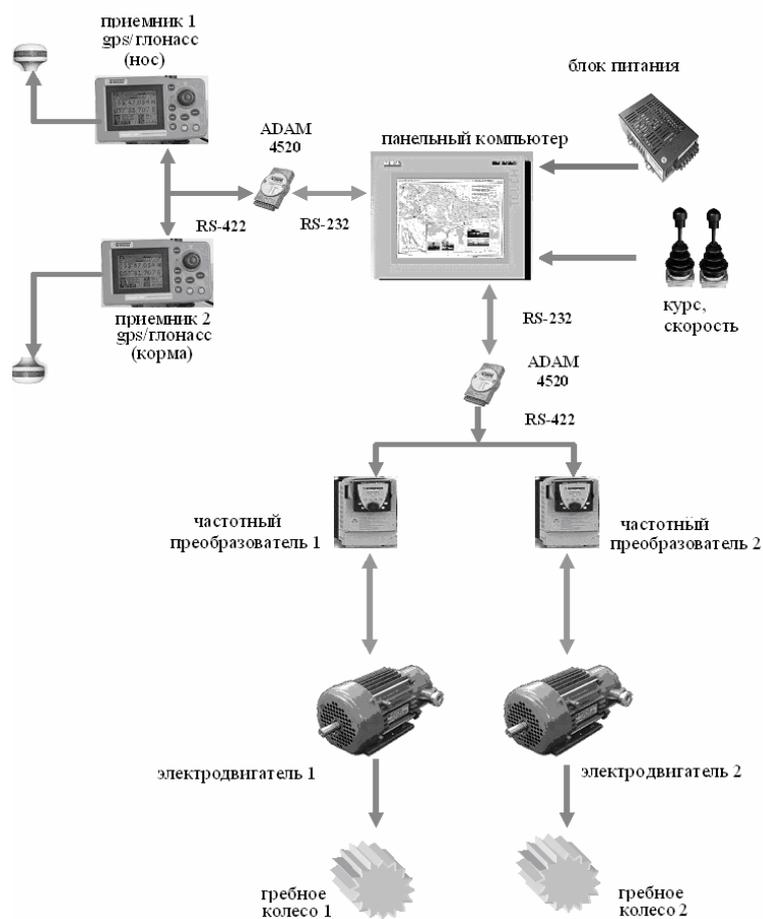


Рис. 2. Структура системы управления движением судна с КДРК по курсу

Кроме того, производится непрерывное измерение положения рамы с гребными колесами и автоматическое поддержание заданного уровня заглубления плиц.

Предложенная система не позиционируется как «Авторулевой», поскольку не освобождает судоводителя от функции управления судном, а лишь устраняет многозадачность управления (раздельное управление двумя независимыми гребными колесами), присущую данному типу судна.

#### Список литературы:

- [1] Грошева Л.С., Мерзляков В.И., Перевезенцев С.В., Плющев В.И. Контроль вектора тяги колесного движительного комплекса теплохода // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2011. – № 3. – С. 10–15
- [2] Мерзляков В.И. Математическая модель комплекса корпус – движитель судна с колесными гребными движителями // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 1 (февраль). – С. 56–61.