



УДК 629.122

В.И. Мерзляков, к.т.н., ст. преподаватель ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ДВИЖЕНИЕ СУДНА С КОЛЕСНЫМ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ ПРИ НАЛИЧИИ НОСОВОГО ПОДРУЛИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Ключевые слова: судно с колесным движительно-рулевым комплексом, судно с КДРК и подруливающим устройством.

Не так давно в России появились принципиально новые суда с колесным движительно-рулевым комплексом (прект ПКС-40), у которых отсутствует традиционный руль. Управление движением осуществляется колесным движительно-рулевым комплексом (КДРК). В настоящее время идет работа над техно-рабочим проектом нового колесного пассажирского судна ПКС-180. Длина судна около 70 м, поэтому для повышения эффективности управления на судне будет установлено подруливающее устройство.

1. Судно с колесным ДРК и управление его движением

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.

Схема управления судном с помощью колесного ДРК при постоянной мощности, подводимой к гребным колесам, показана на рис. 1 [1].

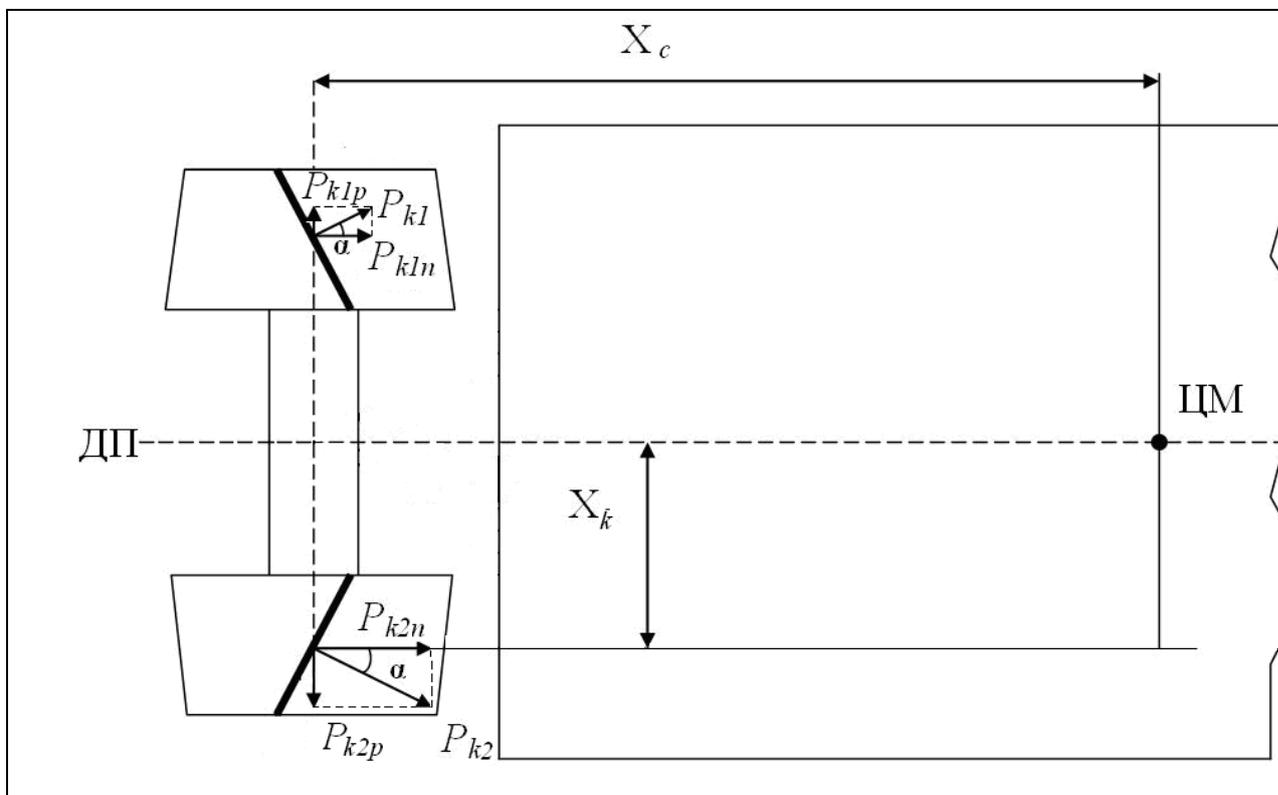


Рис.1 Схема управления судном с помощью колесного ДРК

ДП – диаметральной плоскости, ЦМ – центр массы судна, 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, X_c – расстояние от кормового транца до центра массы судна, X_k – расстояние от диаметральной плоскости до оси гребных колес.

Шевронные плицы гребных колес создают упор, а следовательно, и вектор тяги, направленный под углом α 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 в одном направлении, силы P_{k1p} и P_{k2p} находятся на одной оси и направлены в разные стороны, то есть разворачивающий судно момент M_k , определяемый тягами колес, будет таким:

$$M_k = M_{k1p} + M_{k2p} = P_{k1p}X_k + P_{k2p}X_k$$

где, M_{k1p} , M_{k2p} – моменты, создаваемые тягами правого и левого колес без учета боковых сил взаимодействия колеса с корпусом.

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. суммарный момент, разворачивающий судно равен нулю. При работе колес «враздрай» (вращение в разные стороны) с угловыми скоростями, при которых составляющие P_{k1p} и P_{k2p} равны и направлены в одну сторону, они создадут момент M_k , 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, т.е. судно совершит разворот на месте.

Момент поворота M_k , создаваемый колесами, зависит не только от величины и направления тяг колес, но и от следующих данных:

- расстояния между центрами колес $-2X_k$,
- угла α к диаметральной плоскости судна (для судов серии ПКС-40 $\alpha = 15^\circ$),
- формы кормы судна (взаимодействия колеса с корпусом).

Взаимодействие колеса с корпусом состоит в том, что работающее только со стороны одного борта на передний ход колесо ускоряет поток, обтекающий кормовые обводы, и давление на корпус падает. Возникшая за счет разницы давлений сила уклоняет корму в сторону работающего колеса. При работе только одного колеса на задний ход корма будет уклоняться в противоположную сторону под влиянием натекающего на корпус отбрасываемого колесом потока. Если колеса работают враздрай, то на кормовые обводы будет действовать суммарная сила P_6 и разворачивающий судно момент M_k будет таким:

$$M_k = M_{k1p} + M_{k2p} = P_{k1p}X_k + P_{k2p}X_k + P_6X_c$$

При вращении гребных колес с одинаковой угловой скоростью в одном направлении силы P_{k1n} , P_{k2n} направлены вдоль судна параллельно ДП в одну сторону, а P_{k1p} , P_{k2p} компенсируют друг друга. Поэтому суммарная сила тяги будет равна

$$P = P_{k1} + P_{k2} = P_{k1n} + P_{k2n},$$

и судно будет двигаться по прямой.

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 [2].

В настоящее время идет работа над техно-рабочим проектом нового колесного пассажирского судна ПКС-180. Длина судна около 70 м ширина почти 12 м. Для обеспечения эффективного управления носовой оконечностью судна в состав оборудования включено носовое подруливающее устройство (ПУ). Обычно НПУ создают силу тяги в направлении, перпендикулярном ДП судна независимо от работы главных движителей и рулевого устройства, но некоторые типы НПУ могут использовать любое направление.

2. Силы, действующие на судно при работе подруливающих устройств.

Сила подруливающего устройства создается за счет реакции струи воды, отбрасываемой движителем (насосом, винтом и т.п.). Если струя отбрасывается на правый борт – сила упора P_{Π} направлена на левый борт, и наоборот. Величина упора определяется выражением:

$$P_{\Pi} = \rho Q v$$

где: ρ – массовая плотность воды; Q – производительность движителя; v – скорость выхода воды из трубы ПУ. Поскольку тяга ПУ, как правило, направлена перпендикулярно к ДП судна, движение судна (при отсутствии ветра и течения) под действием только ПУ, сводится к вращению судна. Однако это вращение неизбежно сопровождается перемещением судна в сторону оконечности, на которой находится ПУ, т.е. вращение на месте невозможно. Сила упора ПУ приложена в оконечности судна, тогда центр поворота располагается между ЦМ и противоположной оконечностью судна. При отсутствии хода рекомендуется выбирать значение тяги ПУ (в ньютонах) как [2]:

$$P_E = 40A_y, \text{ или} \\ P_E = 40Ld$$

где A_y – площадь проекции надводной части на ДП, m^2 ; L – длина судна, м; d – средняя осадка судна, м.

При наличии хода на стороне, соответствующей выходу потока из трубы появляется область пониженного давления, тем большая, чем больше скорость движения. Картина распределения давления по поверхности корпуса для четырех значений скорости хода приведена на рис. 2 [3].

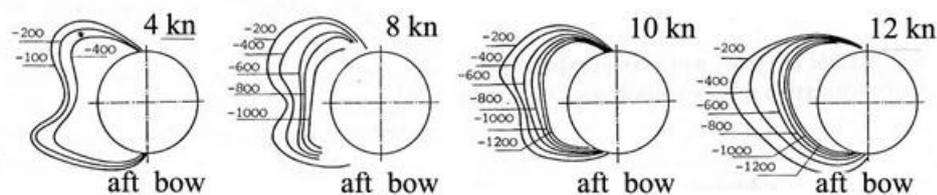


Рис. 2. Распределение давления по поверхности корпуса для четырех значений скорости хода

Разрезание приводит к возникновению боковой силы на корпусе, действующей в сторону, противоположную направлению тяги гребного колеса. Таким образом, эффективность ПУ с ростом скорости хода снижается до 30-40% по сравнению с отсутствием хода.

Возможно использовать ПУ на переднем ходу для улучшения управляемости, однако движение судна вперед смещает точку приложения поперечных сил сопротивления тоже вперед. Центр вращения (ЦВ) также переместится вперед, вследствие чего уменьшится эффективное действие ПУ. В то же самое время расстояние между точкой упора КДРК и ЦВ увеличивается, что в свою очередь увеличивает эффективное усилие КДРК. Особенно эффективно действие ПУ при одерживании поворота судна, в том числе и при движении по инерции.

Еще эффективнее оказалось использование ПУ на заднем ходу, поскольку центр вращения смещается назад, и поперечная сила ПУ на заднем ходу не будет зависеть от скорости хода. Принято считать, что ЦВ на судне, следующем передним ходом с постоянной скоростью, будет находиться примерно в 1/4 длины судна от носа; на заднем ходу он располагается примерно в 1/4 длины от кормы. Это усредненная оценка, поскольку положение ЦВ определяется действием нескольких сил, а также зависит от формы корпуса и скорости движения судна.

Движение судна лагом и оборот на месте так же можно выполнять, используя носовое ПУ и КДРК. Для выполнения движения лагом вправо нужно включить носовое ПУ на правый борт, левое колесо на задний ход, правое – на передний. Если момент от движителей M_k будет равен моменту от ПУ, создающего упор вправо, то судно разворачиваться не будет и за счет сил R_{k1p} и R_{k2p} и РПУ будет двигаться лагом (рис.3). Результирующая сила Y приложена в этом случае к центру масс.

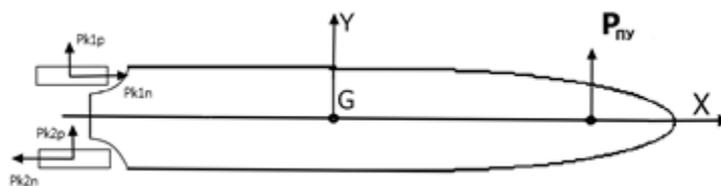


Рис.3. Силы действующие на судно при движении лагом

Для разворота на месте носовое ПУ нужно включить в сторону поворота, движители враздрай (внешний вперед, внутренний – назад, рис). Вращение судна будет происходить вокруг центра масс G.

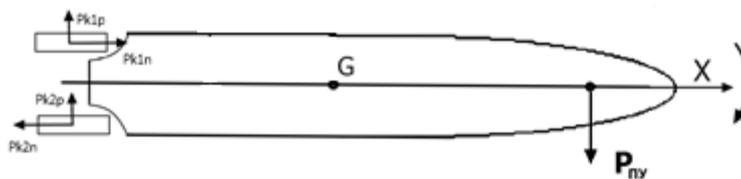


Рис.4. Силы действующие на судно при вращении

Список литературы:

- [1] Мерзляков В.И. Математическая модель комплекса корпус – движитель судна с колесными гребными движителями // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. –2012. –№ 1. – С.56-61.
- [2] Грошева Л.С., Мерзляков В.И., Плющаев В.И. Синтез алгоритма управления движением судна с колесным движительно-рулевым комплексом // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 2. – С. 34–39.
- [3] Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна. Справочник. – Л.: Судостроение, 1988. – 360 с.
- [4] Управляемость судна при работе подруливающего устройства. [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <http://refac.ru/upravlyaemost-sudna-pri-rabote-podrulivayushhego-ustrojstva>. -Загл. с экрана. (Дата обращения: 10.05.2017)

THE MOVEMENT OF THE VESSEL WITH WHEELED PROPULSION-STEERING COMPLEX IN THE PRESENCE OF A BOW THRUSTER

Merzlyakov V.I.

Keywords: a ship with paddle wheels, vessels with wheeled propulsion-steering complex, the vessel with wheeled propulsion-steering complex and thruster

Not so long ago appeared in Russia a fundamentally new vessels with wheeled propulsion-steering complex (project PKS-40), which do not have a traditional steering wheel. It is controlled by a wheeled propulsion-steering complex. Currently preparing techno-working project of a new wheel passenger ship PKS-180. The ship's length is about 70 m, therefore for increase of efficiency of management of a vessel installed thruster.