

ПОЛЮС ПОВОРОТУ



Навчальна програма для судноводіїв
Компетенція: маневрування судна

ПОЛЮС ПОВОРОТУ

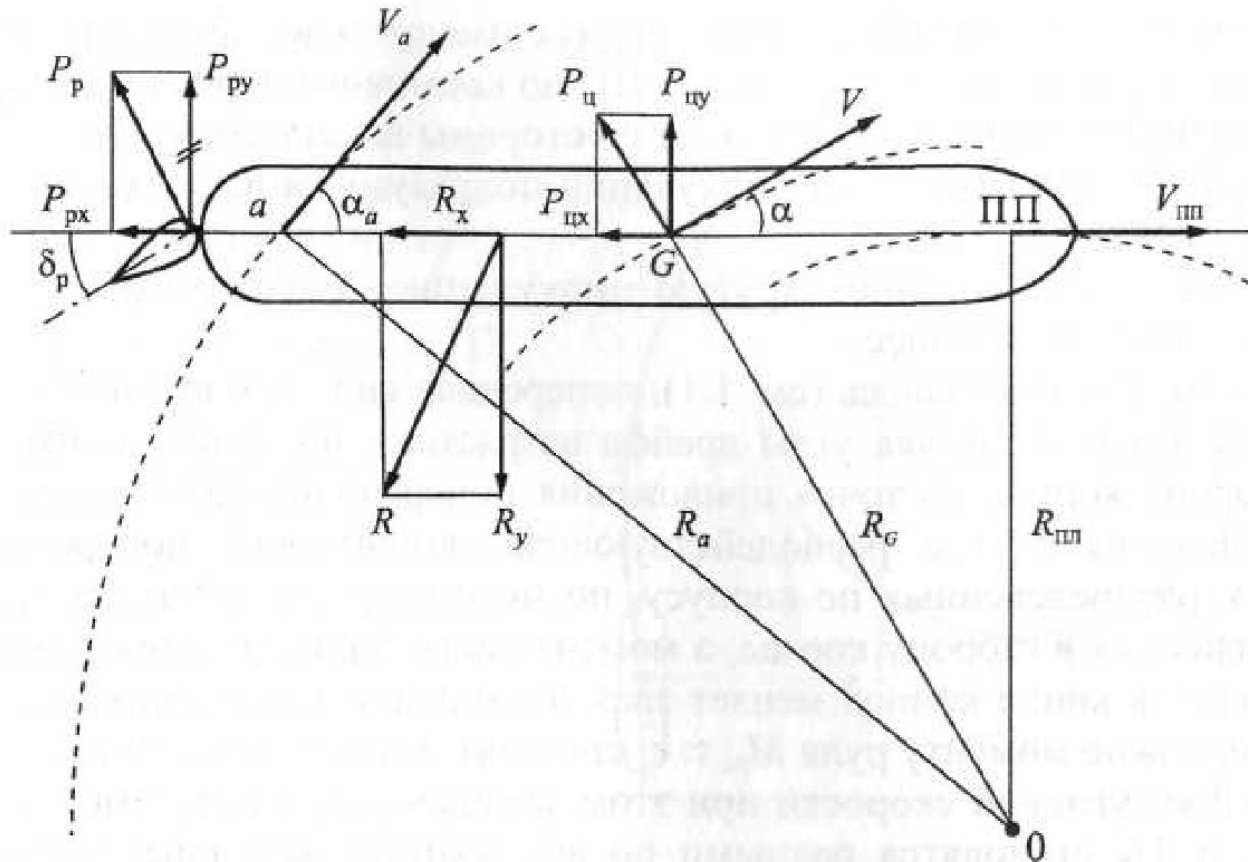
ПЛАН ЛЕКЦІЇ

1. Що таке полюс повороту
2. Криволінійний рух
3. Положення полюсу повороту
4. Використання буксирів
5. Вплив вітру на положення полюсу повороту
6. Вплив керма на положення полюсу повороту.
7. Інерція обертання і положення полюсу повороту
8. Вплив гребного гвинта на положення полюсу повороту
9. Задній хід і положення полюсу повороту
10. Рух назад судна, що обладнане рушієм типу AZIPOD
11. Базовий фізичний принцип: боковий рух та обертання
12. Переміщення ПП під впливом бокової сили
13. Експериментальне визначення положення ПП
14. Вплив положення ПП на ширину смуги руху, що займає судно під час повороту.
15. Метод розвороту судна з найменшим радіусом розвороту
16. Базові величини сил, що діють на судно

ЩО ТАКЕ ПОЛЮС ПОВОРОТУ

Під час руху ЦВ по криволінійній траєкторії з радіусом R_G кожна точка по довжині судна При русі ЦВ по криволінійній траєкторії з радіусом R_G кожна точка по довжині судна описує відносно загального центра циркуляції O свою траєкторію, радіус кривизни якої відрізняється від R_G . При цьому кожна така точка має свій кут дрейфу, значення якого зростає по мірі віддалення в бік корми. В ніс від ЦВ кути дрейфу відповідно зменшуються.

Якщо з центра циркуляції O опустити перпендикуляр на діаметральну площину (ДП), то в отриманій точці ПП кут дрейфу буде дорівнювати нулю. Ця точка носить назву центру обертання або полюсу повороту.



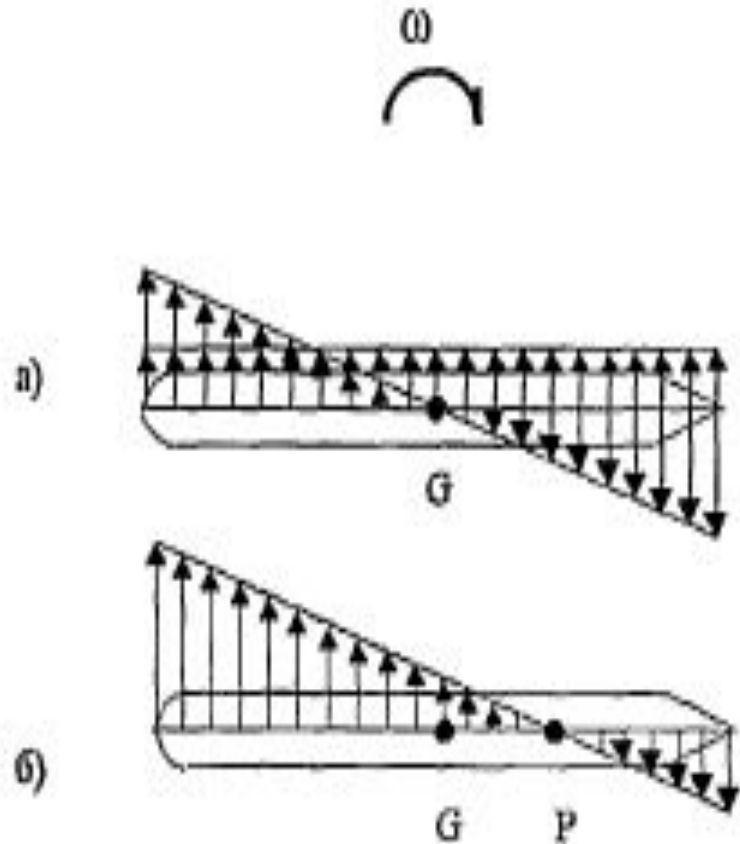
КРИВОЛІНІЙНИЙ РУХ

Криволінійний рух судна можна представити як сукупність поздовжнього, поперечного та обертального рухів. Зараз прийнята наступна схема представлення цього руху. Судно на циркуляції рухається поступально з кутом дрейфу, виконуючи обертальний рух навколо вертикальної вісі, що проходить через його центр ваги. Схема поперечних складових представлена на малюнку.

На малюнку позначені:

G - центр ваги судна; P - полюс повороту.

Як видно зі схеми, сукупність поступального та обертального рухів призводить до різних значень куту дрейфу по довжині судна. У випадку лише поступального руху з кутом дрейфу без обертального руху значення куту дрейфу однакове по усій довжині судна, у випадку лише обертального руху за відсутності поступального куту дрейфу у точці P дорівнює нулю, у всіх інших точках кут дрейфу дорівнює 90° . У випадку суміщення обертального руху навколо центра ваги G та поступального руху з кутом дрейфу, що характерно для переважаючої більшості маневрів суден, в точці P кут дрейфу дорівнює нулю, тобто напрямок вектору швидкості в цій точці співпадає з лінією ДП та обертання судна здійснюється навколо неї. Ця точка називається полюсом повороту.



ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮС ПОВОРОТУ

Положення полюсу повороту на судні залежить від форми судна, руху судна, величини та точки прикладення різноманітних сил, що діють на судно. Не можна казати, що ПП є фіксованою точкою, його положення є наслідком руху судна та фактично переміщуються уздовж корпусу судна.

Як правило, можна вважати, що на судні, що не має ходу відносно води, ПП знаходиться по другий бік міделю, від сили, що діє на судно. Наприклад, кермо або інша поперечно сила, що діє в кормовій частині судна, утворює ПП попереду міделю.

Коли судно отримує поздовжній рух відносно води, то це результат дії рушійної сили, якою може бути сила гребного гвинта, або інерція судна, а лобовий опір діє у протилежному напрямкові. Лобовий опір, це опір води попереду судна, що витискується судном, яке рухається. Чим швидше йде судно, тим більший лобовий опір. Величину лобового опору можна вважати такою, що дорівнює приблизно $\frac{1}{4}$ рушійної сили, коли судно йде з постійною швидкістю. Це у якійсь мірі довільна оцінка, тому що величина лобового опору змінюється в залежності від форми судна та його швидкості. При збільшенні опору тертя, що викликане обростанням корпусу, буде зменшуватися швидкість судна і, як наслідок цього, знижуються частка лобового опору у загальному опорі води. Однак використовуємо середнє значення, що дорівнює 25% для уявлення про лобовий опір, що виражений у цифрах, який можна використовувати в ситуаціях, коли сили, що діють на судно, представлені чисельними величинами. Тоді тимчасове зниження або збільшення відсоткового відношення вкаже на прискорення або уповільнення руху судна.

Відношення $R_{\text{лоб}} / F_{\text{рух}}$ (де $R_{\text{лоб}}$ - лобовий опір; $F_{\text{рух}}$ - рушійна сила) грає важливу роль при визначенні положення ПП, коли суднові, що має поздовжній рух, надається обертальний рух.

Початковий ПП на судні, що прямує переднім ходом з постійною швидкістю, буде знаходитися приблизно в $\frac{1}{4}$ довжини судна від носа; на заднім ходові він розташовується приблизно в $\frac{1}{4}$ довжини від корми.

Обертальний рух може бути результатом декількох сил, що діють на судно одночасно, Тоді положення ПП залежить від величини та точки прикладення цих сил. Постільки центр обертання зміщується зі змінням величини або під час зсуву точки прикладення цих сил що діє на судно, декілька сил створюють зусилля, ступінь якого змінюється в залежності від положення центру обертання.

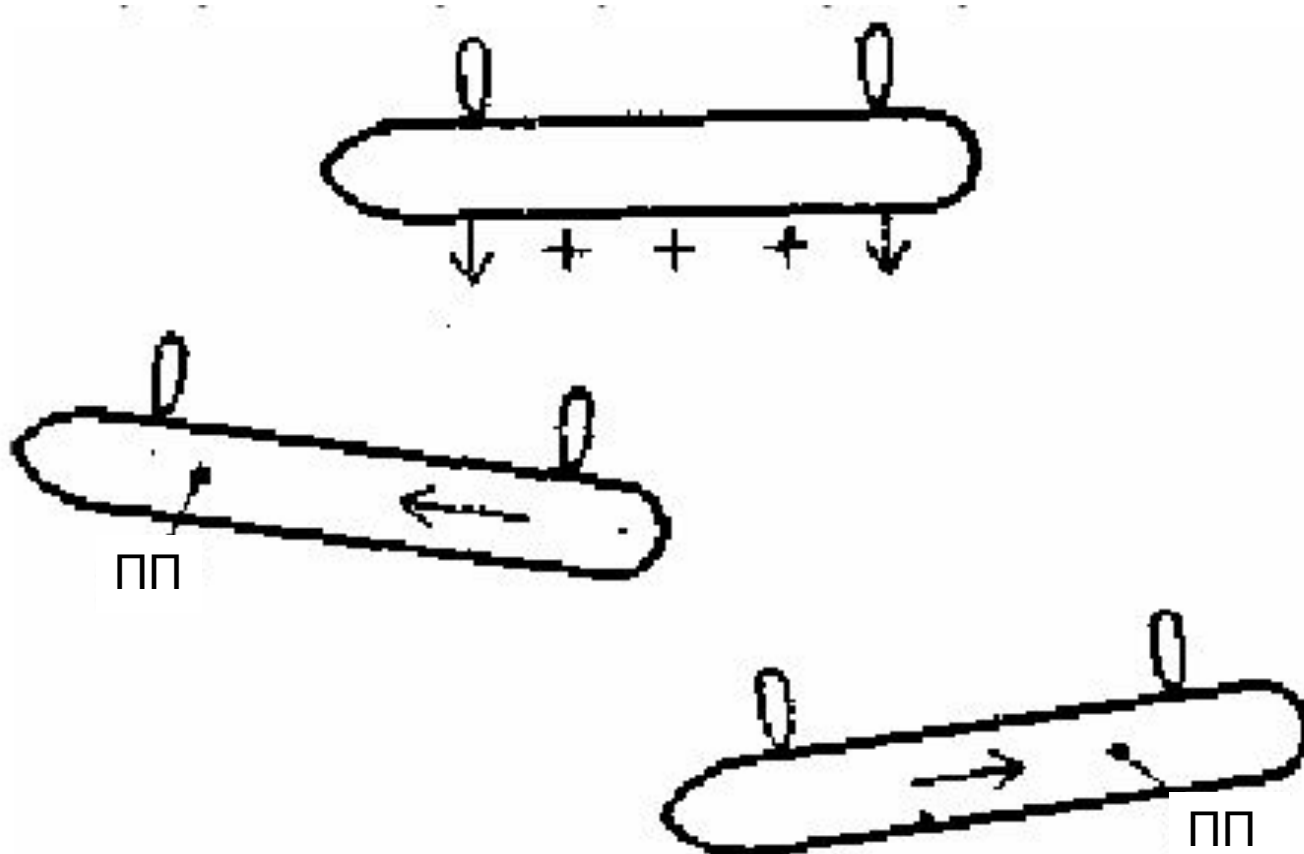
Рух вперед зміщує ПП в ніс, внаслідок чого зменшуються ефективність зусилля бокового упору на носові судна. Рух назад зміщує ПП в корму, у результаті чого поперечні зусилля, що прикладаються до судна, викликають зворотнє обертання судна.

ВИКОРИСТАННЯ БУКСИРІВ

Коли буксири штовхають з рівними зусиллями на рівних відстанях від міделю, ми бачимо, що поздовжній рух судна призводить до обертального руху, як побічного результату дії поперечних сил, прикладених до судна буксирами. Навпаки, коли виникає розворот і буксири штовхають з рівними зусиллями, ми можемо зробити висновок, що судно має поздовжній рух відносно води.

Якщо розворот не потрібен, ми можемо або зменшити зусилля буксиру, який викликає обертальний ефект, або зупинити поздовжній рух судна відносно води. Зміна напрямку поздовжнього руху призведе у кінцевому рахунку до зміни напрямку обертального руху.

Інші поперечні сили, такі як бортовий вітер, від дії НПП та керма будуть подібним же чином піддаватися впливу поздовжнього руху судна.



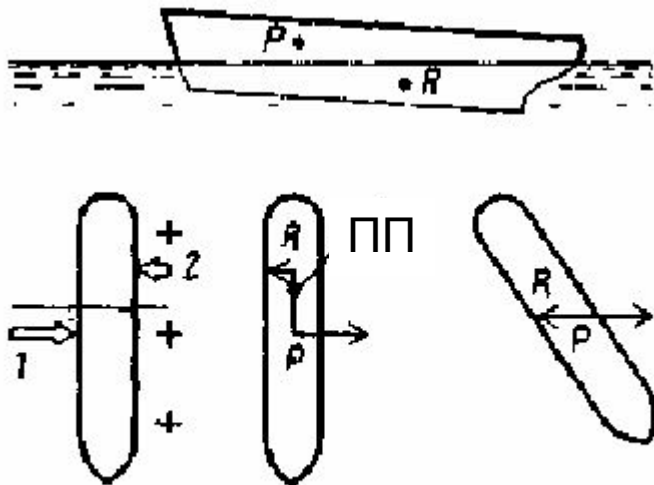
ВПЛИВ ВІТРУ НА ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ

Розглянемо порожнє судно, що не має ходу відносно води, т а на який впливає боковий вітер (малюнок ліворуч). Бортовий вітер викликає дрейф судна у підвітряний бік, і корпус зустрічає підводний опір.

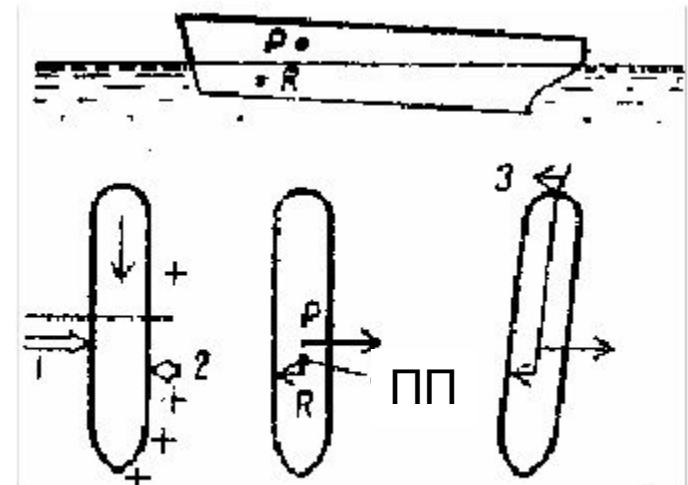
Так як судно має диферент на корму, підводна кормова частина судна зустрічає більший опір. Як результат, центр поперечного опору **R** буде знаходитися в корму від міделю.

На порожньому судні з високо піднятим носовим краєм передня частина судна буде витримувати більший вплив вітру, ніж кормова. Тиск вітру можна уявити вектором сили вітру, що діє на центр парусності **P**. Підводний опір може бути представлено вектором сили у точці **R**. До тих пір, поки точка **P** не буде знаходитися на одній вертикалі з точкою **R**, дві сили розвертають судно, а ПП, що з'являється при цьому, буде розташований між точками **P** та **R**.

На судні, що не має ходу відносно води, ПП буде розташований недалеко від міделю. Коли судно рухається переднім ходом, центр поперечного опору зміщується уперед, та зростає сила підводного опору (малюнок праворуч). Поперечна сила вітру розвертає судно таким чином, що виникає кут між ДП судна на наміченому курсом. Щоб контролювати цей кут та збалансувати силу вітру, нам необхідна поперечна сила в кормі – кермо. Розворот виникає, коли порушується рівновага поперечних сил.



Дія вітру на судно в баласті, що не має ходу відносно води:
1- вітер ; 2 – поперечний опір



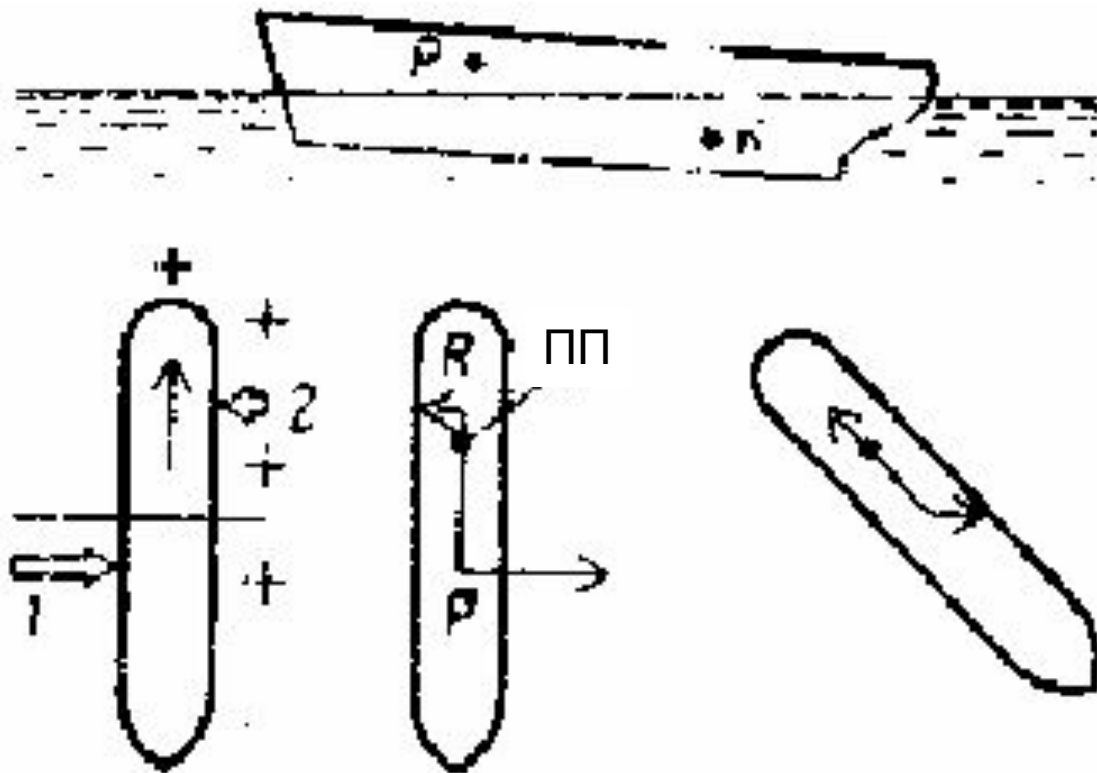
Дія вітру на судно на передньому ходові : 1 – вітер; 2 – поперечний опір; 3 - поперечна сила від дії керма

ВПЛИВ ВІТРУ НА ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ

Рух назад викликає зміщення центру поперечного опору в корму, що збільшує плече моменту сили бортового вітру. Коли судно йде назад, кермо не має ефективного впливу. Тому як потік, що утворюється гвинтом, не спрямовується більше на перо керма, кермо зустрічає тільки опір води, що призводить у результаті до малої поперечної сили від дії керма.

Судно сильніше зноситься під вітер, ніс швидше, ніж корма, так що на задньому ходові корма рухається на вітер, або, як кажуть, “шукає вітру”. Однак, корма піде на вітер тільки тоді, коли носу буде куди увалюватися. ПП зсувається далеко в корму, і сила вітру отримує велике плече.

Поперечний упор, що утворюється гвинтом правого обертання, коли він працює назад, легко долається сильним вітром з правого боку від носу.



Дія вітру на судно на заднім ходові :
1 – вітер; 2 - поперечний опір

ВПЛИВ КЕРМА НА ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ

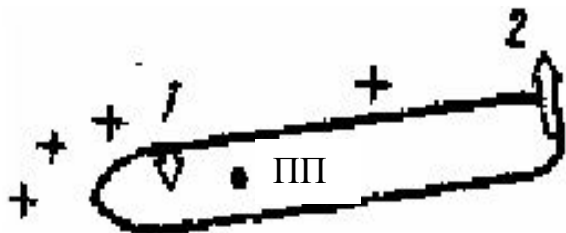
Якщо на судні, що має хід уперед, перекласти кермо, воно утворить поперечну силу в кормовій частині судна (малюнок ліворуч). Відразу ж, як тільки почнеться розворот судна, підводний опір починає створювати поперечну силу в носу. Як результат, отриманий поперечний опір в носу діє у напрямку, протилежному поперечній силі керма. Спочатку розглянемо вплив пропульсивної сили та керма на судно, що не має ходу відносно води, та дало хід уперед. Інерція судна протидіє прискоренню, підводний опір поки що не грає значної ролі. Поздовжня пропульсивна сила працює одночасно на подолання поздовжньої інерції покою, та поперечної інерції обертального руху, тому що частина цієї сили перетворюється в поперечне зусилля від дії керма. Сила від дії керма, що прикладена на самому краї судна та має тому велике плече, долає поперечну інерцію судна швидше, ніж пропульсивна сила долає інерцію покою.

Центр обертального руху, що виникає, залежить від відношення довжини судна до його ширини (L/B). Наприклад, на судні з відношенням $L/B = 8$, що починає поздовжній рух відносно води з нуля, початкове положення ПП знаходиться в $1/8$ довжини судна від носа.

Коли інерція покою подолана та судно набере швидкість, виникає лобовий опір води

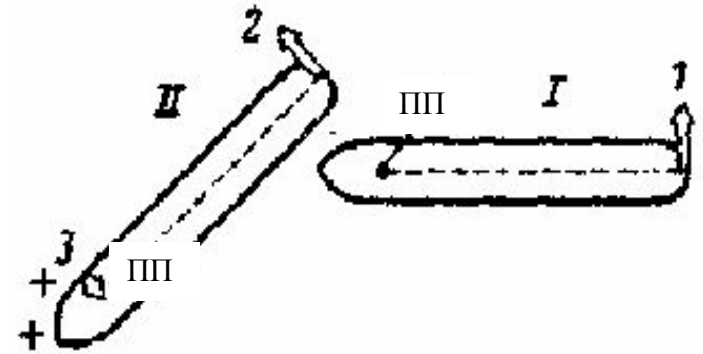
Опір води досягає величини, що приблизно дорівнює $1/4$ пропульсивної сили та заставляє ПП зміщуватися назад пропорційно величині цієї сили порівняно з пропульсивною силою (малюнок праворуч).

Таким чином, відстань від ПП до корми зменшується на $1/4$ початкової відстані, що робить величини важеля керування рівною $3/4 \times 7/8 = 21/32$. При цьому відстань від ПП до носу складає $11/32L$, (де L – довжина судна між перпендикулярами. Точка ПП залишається у тому ж самому положенні, коли судно повертає з постійною швидкістю.



Поперечний опір та сила від дії керма:

1 – поперечний опір; 2 – поперечна сила від дії керма

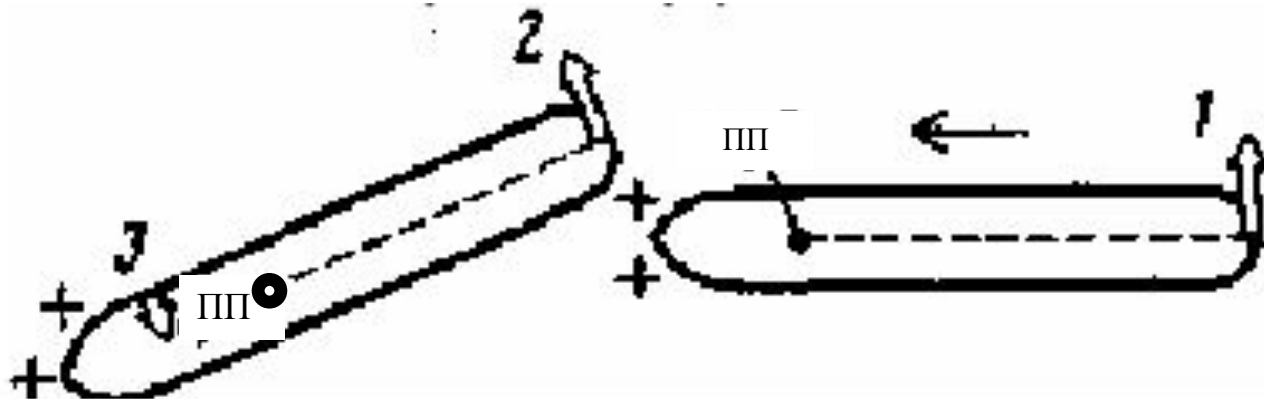


Зменшення розвертаючого плеча керма під час руху вперед:
I – судно не має ходу відносно води; II – судно дало хід вперед
1- початковий важіль керування; 2 – важіль керування; 3 – поперечний опір

ВПЛИВ КЕРМА НА ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ

Коли судно прямує постійним курсом, у ідеальному випадкові не має бути ніякого поперечного опору. Вплив керма під час змінні курсу буде проходити з початковим ПП, розташованим від носу на відстані, пропорційному відношенню поздовжнього опору до пропульсивної сили, тобто, на відстані близько $1/4$ від носу. Лобовий опір води, що діє на ніс під час поздовжнього руху, буде під час повороту впливати, також і на скулу, створюючи поперечний опір. Цей поперечний опір пересуває ПП назад і, як наслідок, скорочує важіль керування. Зменшення важеля керування пропорційно відношенню L/V . Наприклад, для судна, що має $L/V = 8$ та повертається з постійною швидкістю, зменшений важіль керування буде близько $7/8 \times 3/4 = 21/32$, що знов робить відстань ввід носу до ПП рівною $11/32L$.

Зазвичай вважається, що на судні, що прямує переднім ходом, та розвертається під впливом керма, ПП лежить приблизно в $1/3$ від носа. Це недалеко від теоретичних викладок. Для відношення L/V , що дорівнює 9,8,7,6 та 5, ми отримаємо положення ПП відповідно $1/3L$, $21/32L$, $5/14L$, $3/8L$, та $2/5L$ від носа. Однак справжнє положення ПП визначається не тільки такими факторами, як відношення L/V та стан корпусу, але й станом диференту, що має великий вплив на положення ПП, а під час прискорення чи уповільнення судна ПП тимчасово зсувається в ніс або в корму.



Зменшення зусилля розвороту, що створюється кермом на судні, що прямує переднім ходом:

1 – початковий важіль керування; 2 – важіль керування; 3 – поперечний опір

ІНЕРЦІЯ ОБЕРТАННЯ І ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ

Судні, що не має ходу шині повний хід уперед та перекласти кермо на борт, легше подолати інерцію обертання, ніж інерцію покою. Причина цього: поки поздовжня інерція не дозволяє судну рухатися уперед, поперечна сила керма має переважаюче значення.

Судна з дизельними СЕУ мають перевагу у тому, що створюють негайний потужний упор на кермо, який перевтілюється безпосередньо в поперечну силу від дії керма. Сильний імпульс поперечної сили від дії керма долає інерцію обертання раніше, ніж встановиться поздовжній рух, змушуючи судно розвертатися на місці. Інерція покою – ось що допомагає нам зробити розворот на місці. Судна з турбінними СЕУ розвивають оберти двигуна так повільно, що потребує більше часу на подолання поздовжньої інерції, перш ніж почне розвиватися обертальний рух. Судно починає повзти уперед, при цьому зусилля від дії керма значно зменшується.

Точка ПП є центром обертального руху. Цей обертальний рух призводить до створення інерції цього руху, величина якої залежить від маси судна.

Коли виникає інерція обертального руху, сила, що знов прикладена до судна, не буде надавати негайного впливу на положення ПП, і плече цієї сили якийсь час буде працювати відносно діючого ПП. З втратою інерції обертального руху ПП буде поступово переміщуватися в положення, що відповідає величині та точці прикладення цієї нової сили. Обертальний ефект нової сили буде зростати зі збільшенням плеча.

Гарним прикладом є випадок, коли танкер у завантаженому стані рухається назад відносно води і його ніс розвертається праворуч. Для припинення розвороту ми даємо повний хід вперед і перекладаємо кермо ліво на борт. Хоч ми можемо бачити струмінь від гвинта, але спостерігаємо дуже малий вплив сили від дії керма. Проходить досить багато часу, перш ніж почнеться розворот у зворотному напрямкові; сила від дії керма просто не створила достатнього зусилля, тому що ПП знаходився в кормі. Коли рух назад припиниться, кермо почне давати більш значний ефект.

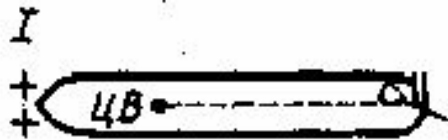
ВПЛИВ ГРЕБНОГО ГВИНТА НА ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ

Упор, що створюється верхніми лопатями гребного гвинта на перо керма, може створити більше поперечне зусилля, ніж упор нижніх лопатей, тому що нижні лопаті зустрічають більший опір, особливо, коли кермо занурено тільки частково. У будь-якому випадкові результуюче бокове зусилля, що створюється повністю зануреним гвинтом на передньому ходові – це невелика поперечна сила, що штовхає корму праворуч (малюнок ліворуч). Максимальний ефект створюється на судні, що не має ходу відносно води та дало хід вперед, коли начальний ПП попереду і поперечний упор створює максимальне зусилля.

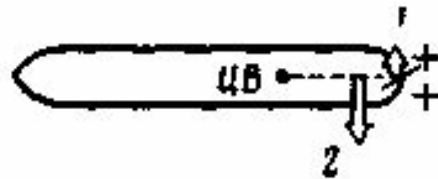
На передньому ходові цей ефект легко усувається незначними перекидками керма. Однак можна відмітити, що циркуляція ліворуч зазвичай менше ніж циркуляція праворуч, особливо на суднах з гвинтами відносно великого діаметру.

Гвинт, що працює назад, створює сильний поперечний упор, тому що спіральний потік йде під корму, де він частково б'є в корпус майже під прямим кутом (малюнок праворуч). Малообертові гвинти великого діаметру штовхають велику кількість води під крутим кутом по відношенню до кормових обводів та створюють сильний поперечний упор під час роботи гвинта назад. З іншого боку, насадка на гвинт, що встановлюється на деяких суднах, перешкоджає попаданню води під кормову частину під кутом, що створює менший поперечний упор, коли машина працює назад.

Дія поперечного упору гвинта, що працює назад, більше, коли ПП знаходиться попереду, тобто, коли судно все ще йде вперед чи зупинилося. Поперечний упор створює менший момент, коли ПП зміщується в корму.



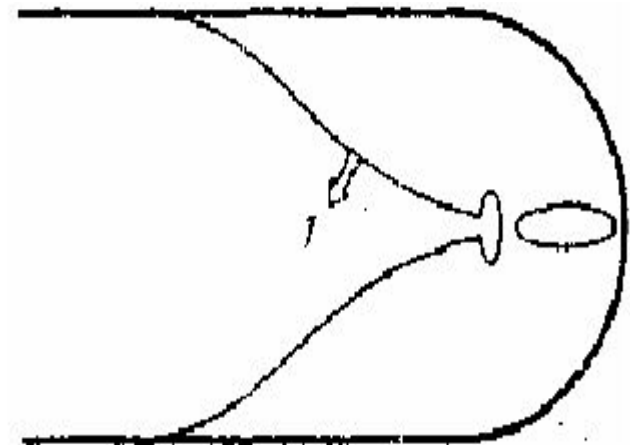
II



Поперечна сила від дії керма і поперечний упор:

I – судно йде вперед; II – судно йде назад;

1 – поперечна сила від дії керма; 2 – поперечний упор



Гвинт правого обертання працює назад:

1 – упор гвинта

ЗАДНІЙ ХІД І ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ

Положення ПП на судні, що йде заднім ходом, залежить від диференту та швидкості судна відносно води, зусиль поперечної сили, яка змушує судно обертатися, та впливу інших сил, що діють на судно одночасно.

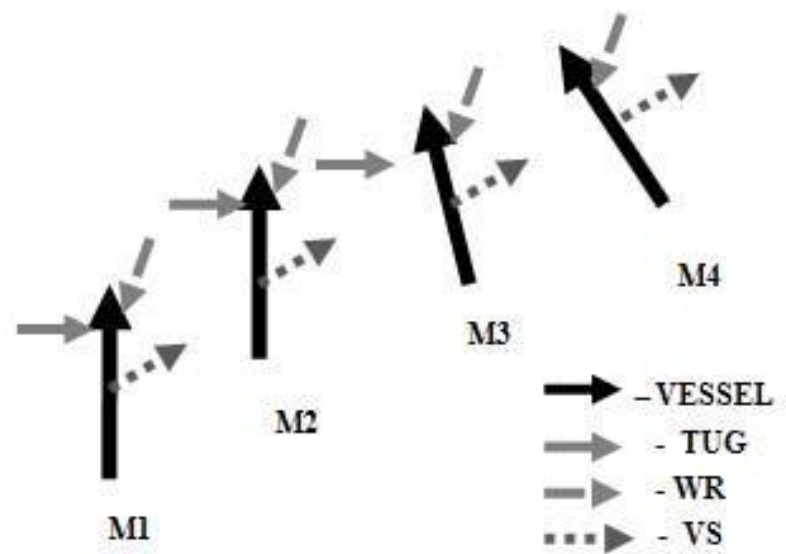
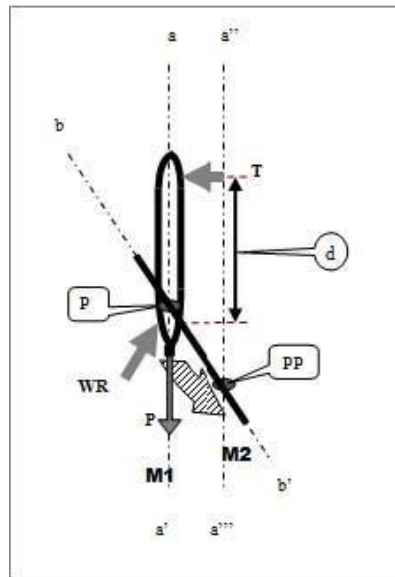
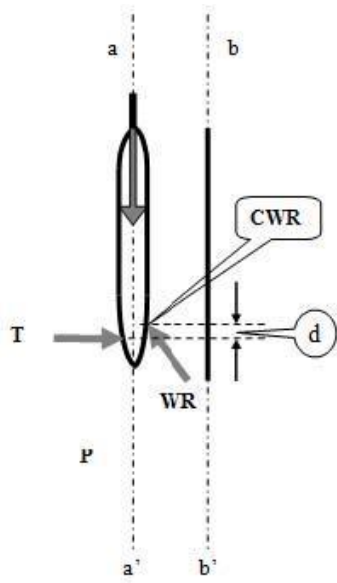
Вплив диференту на задньому ходові стає зворотнім, тобто, гарний диферент для керування на передньому ходові перевтілюється в протилежність на задньому. ПП, який був далеко в носовій частині на передньому ходові, буде під час зворотного поздовжнього руху судна відносно води зміщуватися в положення в залежності від диференту, близьке до корми. По положення ПП на задньому ходові впливає струмінь від гвинта, який спрямований на кормові обводи. Поздовжній опір в кормі, що збільшується, намагається утримати ПП від повного зміщення до корми, поки працює гвинт (малюнок на попередній сторінці).

Поперечна сила, що прикладена до носу, може легко подолати поперечний упор гвинта та повернути судно у зворотньому напрямкові. Коли судно на задньому ходові повертається під дією поперечної сили в носовій частині, ПП намагається переміститися далі в корму.

На судні, що йде заднім ходом, поперечний упор та сила керма прикладені занадто близько до ПП та тому мають майже нульове значення.

Підсумувавши вищезгадану інформацію, можна зробити висновок:

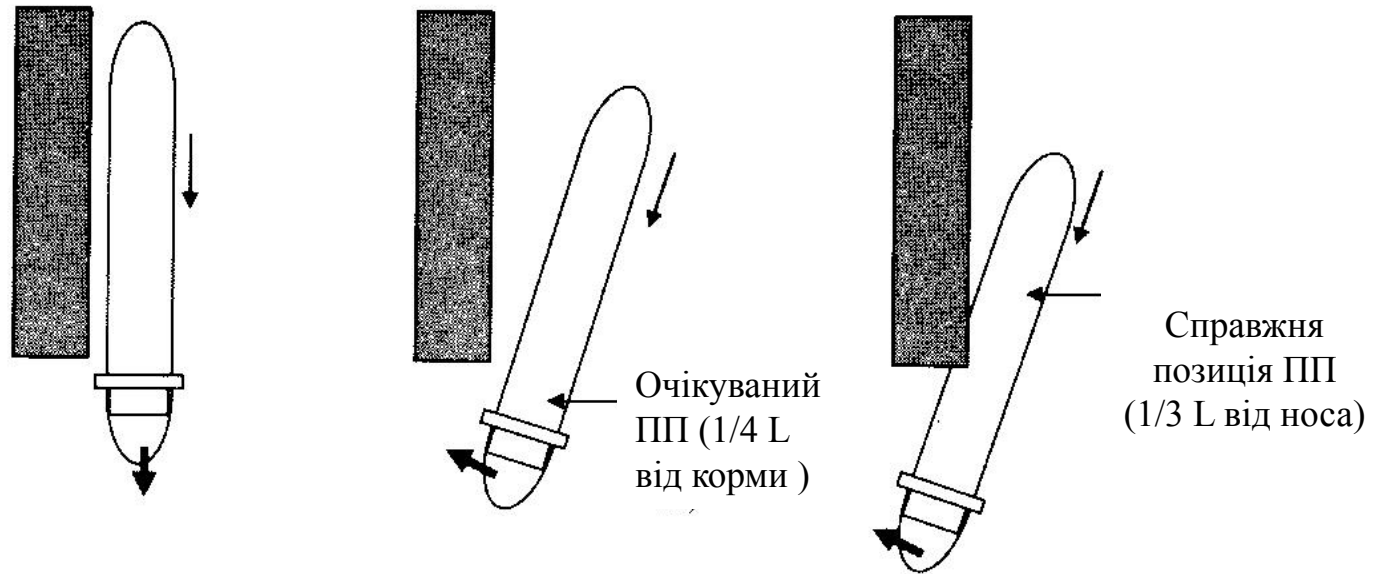
Під час руху судна удаваний центр обертання судна буде у ПП. Тому **моменти усіх сил**, що діють на судно, **слід розраховувати** не відносно ЦВ, а **відносно ПП**.



РУХ НАЗАД СУДНА, ЩО ОБЛАДНАНЕ РУШІЄМ ТИПУ AZIPOD

Судно, що обладнане рушієм типу AZIPOD, повільно рухається в корму вздовж причалу (малюнок ліворуч). Згідно традиційної теорії, коли третина судна пройде кут причалу та, знаючи, що ПП пересунувся у корму (малюнок у центрі), судно не повинно торкнутися куту причалу у випадкові, коли зробити поштовх двигуном на 90 градусів у напрямку причалу для того, щоб відвести ніс судна у бік чистої води. У реальності цього не трапляється, тому як поперечна сила упору буде штовхати більшу частину судна (2/3), ПП при цьому переміститься в положення приблизно 1/3 довжини судна від носа (малюнок праворуч).

Судно з рушієм типу AZIPOD було вибрано не випадково в якості приклада тому, що AZIPOD може давати дуже ефективний боковий упор без уповільнення руху назад. Дуже ефективний буксир, що штовхає корму традиційного судна, дасть той же ефект.



Судно, що обладнане рушієм типу AZIPOD, рухається в корму

Очікувана позиція судна після поштовху з напрямку в 90° з лівого боку (традиційна теорія)

Фактична позиція судна після бокового поштовху в корму з лівого борту

БАЗОВИЙ ФІЗИЧНИЙ ПРИНЦИП: БОКОВИЙ РУХ ТА ОБЕРТАННЯ

Давайте уявимо собі, що тіло у формі бруска плаває на поверхні без тертя і Ви приклали поперечну силу до одного з його кінців(малюнок крайній ліворуч). Результуючий рух може бути розкладений на 2 частини:

- по-перше, обертальний рух навколо ЦВ (малюнок другий ліворуч);
- по-друге, поступальний рух у бік дії сили (малюнок другий праворуч).

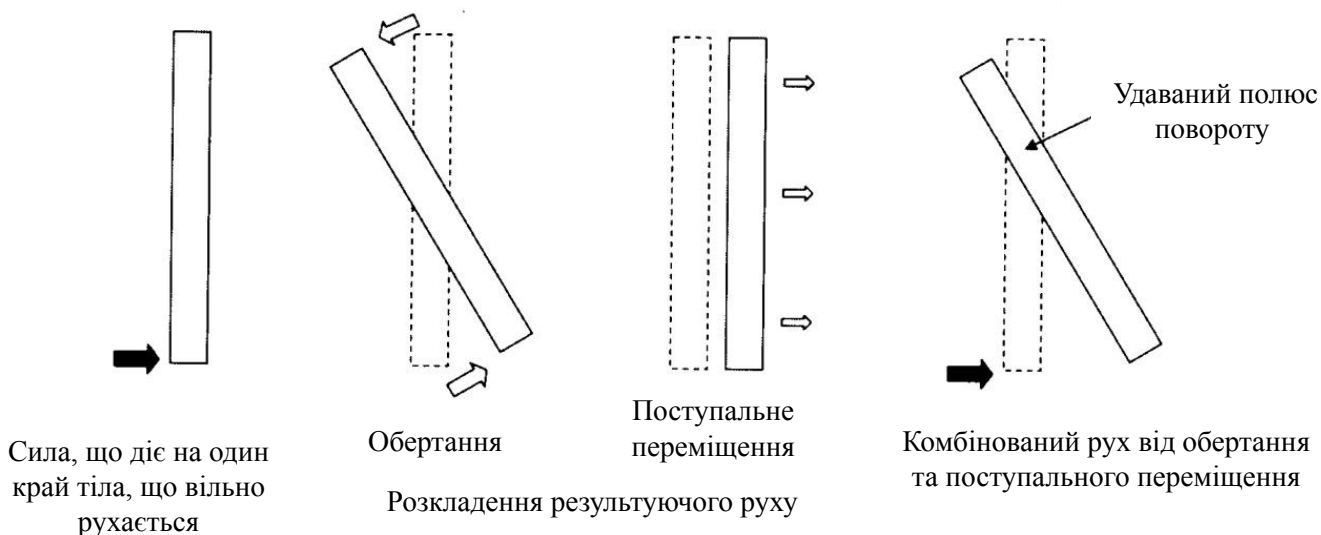
Об'єднання цих двох частин дає переміщення тіла, як показано на малюнкуі крайньому праворуч після того, як сила була прикладена на протязі якогось часу.

Ми побачили, що частина тіла, що не змінила положення в просторі, удаваний ПП, не розташований у ЦВ, а на деякій відстані від нього, в протилежний бік від точки прикладення бокової сили.

Цей базовий принцип можна застосовувати для суден. Це є основною причиною, чому у судна, що здійснює обертання, ПП розташований в 1/3 довжини судна від носа з того моменту, коли до судна прикладена бокова складова сили керма. У результаті спільного ефекту бокового руху та обертання ПП пересувається від діючої бокової сили.

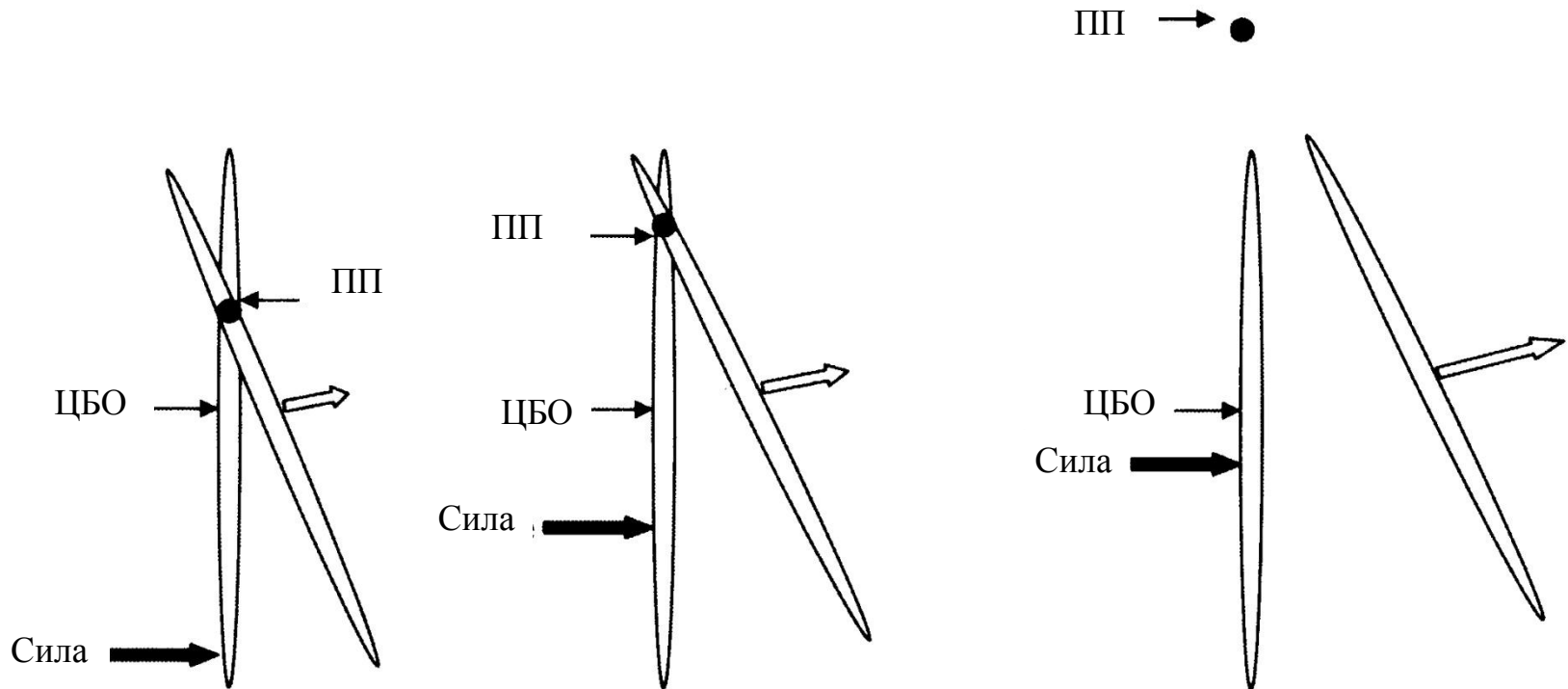
Точка, що не має бокового переміщення відносно води, є удаваним ПП. Вона не має іншого фізичного змісту. ПП не є точкою прикладення будь-яких сил.

На невеликих швидкостях точка прикладення бокових сил опору води (точка судна, при прикладенні в яку бокова сила не викликає обертання) є ближче до міделю. Трохи ближче до носа при диференті на ніс, та трохи ближче до корми при диференті на корму. Трохи означає не більше 10% від довжини судна. Ця точка зветься Центром Бокового Опору (ЦБО).



ПЕРЕМІЩЕННЯ ПП ПІД ВПЛИВОМ БОКОВОЇ СИЛИ

Бокова сила, що прикладена далі від ЦБО (малюнок ліворуч) за однакового куту повороту штовхає ЦБО менше, ніж та ж сама сила, що прикладена ближче до ЦБО. Це призводить до того, що ПП розташовується далі від міделю на протилежному боці (малюнок у центрі). Чим ближче бокова сила буде до ЦБО, тим далі ПП буде від ЦБО з протилежного боку. Це може призвести до того, що ПП вийде за межі довжини судна (малюнок праворуч). Цей принцип є дуже корисним під час застосування буксирів.



ПЕРЕМІЩЕННЯ ПП ПІД ВПЛИВОМ БОКОВОЇ СИЛИ

Характер поведінки судна під дією бокової сили визначається відстанню точки прикладання поперечної сили P_y від ЦВ судна, тобто плечем X_p . Під впливом моменту поперечної сили

$$M_R = P_y x_p = P_y L \bar{X}_p \quad \bar{X}_p \text{ — Відносне плече сили } P_y \left(\bar{X}_p = \frac{x_p}{L} \right)$$

судно отримує обертальний рух. При цьому тангенціальна швидкість кожної точки по довжині судна визначається відстанню цієї точки до полюсу повороту ПП та кутовою швидкістю судна. Між точкою прикладення бокової сили (відносне плече поперечної сили від ЦВ та положенням ПП на лінії ДП X_{II}

($X_{II} = X_{II} / L$ - відносне положення ПП від ЦВ) існує залежність :

- при розташуванні полюсу повороту за межами корпусу $\bar{X}_p > 0,5$

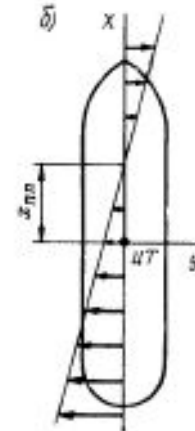
$$\bar{X}_p = (-X_{II} / 6) / (\bar{X}_{II}^2 + 1 / 12)$$

- при розташуванні полюсу повороту у межах корпусу $\bar{X}_p < 0,5$

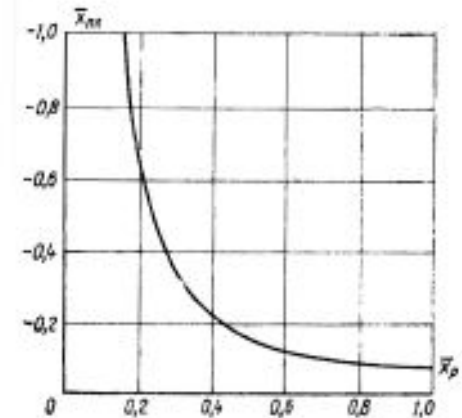
$$\bar{X}_p = (\bar{X}_{II}^4 / 6 - \bar{X}_{II}^2 / 4 - 1 / 32) / (2 \cdot \bar{X}_{II}^3 / 3 + \bar{X}_{II} / 2)$$

Навпаки, знаючи точку прикладання бокової сили, можна отримати положення полюсу повороту

$$\bar{X}_{II} = \begin{cases} 18,11\bar{X}_p^3 + 27,44\bar{X}_p^2 + 14,05\bar{X}_p + 2,576; & \text{для } -0,5 \leq \bar{X}_p \leq -0,15. \\ 18,11\bar{X}_p^3 - 27,44\bar{X}_p^2 + 14,05\bar{X}_p - 2,576; & \text{для } 0,15 \leq \bar{X}_p \leq 0,5. \end{cases}$$



Розподілення місцевих тангенціальних швидкостей по довжині судна під час обертання навколо полюсу повороту



Положення полюсу повороту в залежності від місці прикладення поперечної сили по довжині судна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПП

Обертання корпусу судна відбувається навкруги ПП. При зміні точки прикладання поперечних сил положення ПП змінюється, що суттєво впливає на характер маневрування. Точку прикладання поперечних сил коректно визначити розрахунковим методом не завжди можливо. Тому пропонується експериментальний метод визначення положення ПП.

Для експериментального визначення положення ПП використовується метод визначення тангенціальних швидкостей носа та корми з наступним розрахунком положення ПП. Тангенціальні швидкості вимірюються за допомогою датчиків GPS або з допомогою доплерівського лагу. Після цього вони коректуються виключенням швидкості течії і потім визначається положення ПП відносно води.

Положення абсциси ПП визначається за формулою,

$$X_{\text{ПП}} = \frac{-V_{\text{Н}}}{V_{\text{К}} - V_{\text{Н}}} (X_{\text{В}} - X_{\text{А}}) + X_{\text{А}}$$

де $X_{\text{ПП}}$ абсциса ПП

$V_{\text{Н}}$ тангенціальна швидкість на носовому перпендикулярі

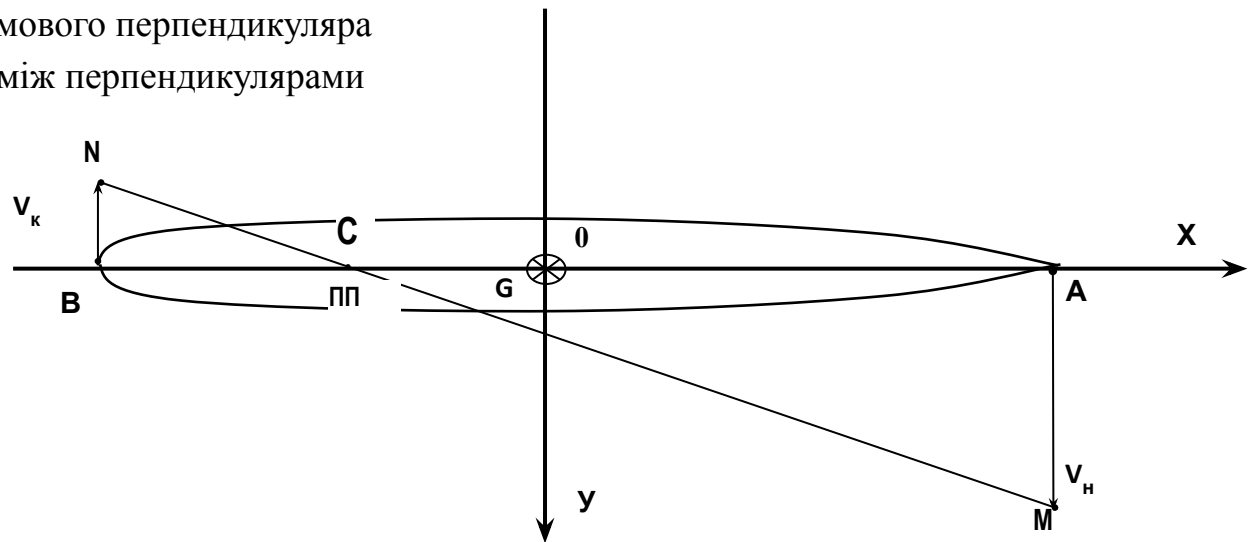
$V_{\text{К}}$ тангенціальна швидкість на кормовому перпендикулярі

$X_{\text{А}} = 0,5 \cdot L_{\perp}$ координата носового перпендикуляра

$X_{\text{В}} = -0,5 \cdot L_{\perp}$ координата кормового перпендикуляра

L_{\perp} довжина судна між перпендикулярами

\perp



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПП

Для розрахунку тангенціальних швидкостей відносно води виконуємо визначення курсового куту течії q_T за формулою: $q_T = K_T - IK$

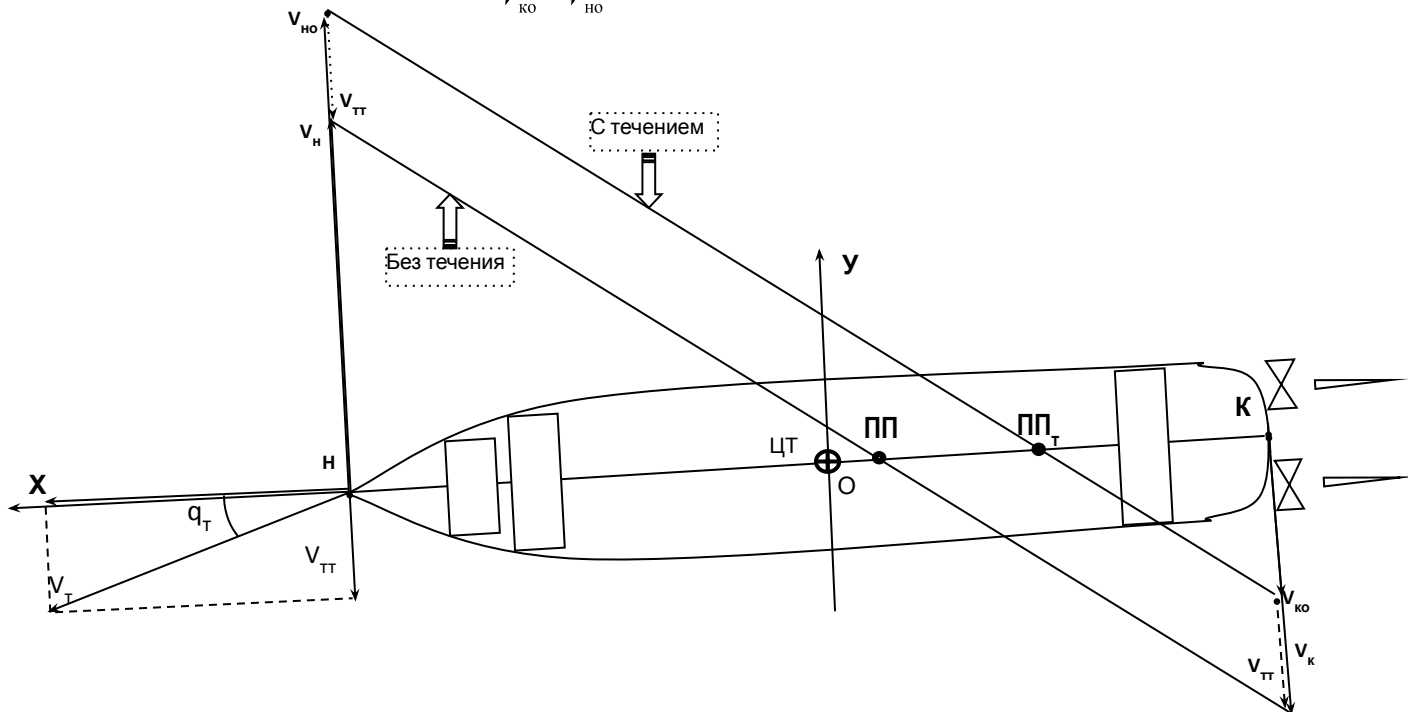
Тангенціальна складова течії буде дорівнювати: $V_{TT} = V_T \cdot \sin q_T$

Виконавши геометричне складення векторів тангенціальних швидкостей носа корми, з урахуванням їхніх знаків та знаку вектору течії, отримаємо:

$$\vec{V}_{HO} = \vec{V}_H - \vec{V}_{TT} \quad \vec{V}_{KO} = \vec{V}_K - \vec{V}_{TT}$$

Для розрахунку положення абсиси ПП по тангенціальним швидкостям носа та корми без урахування течії відносно води у формулі розрахунку абсиси ПП замінимо V_H та V_K на V_{HO} та V_{KO}

$$X_{ПП} = \frac{-V_{HO}}{V_{KO} - V_{HO}} (X_B - X_A) + X_A$$



ВПЛИВ ПОЛОЖЕННЯ ПП НА ШИРИНУ СМУГИ РУХУ, ЩО ЗАЙМАЄ СУДНО ПІД ЧАС ПОВОРОТУ

Положення ПП впливає на ширину смуги руху, що займає судно на криволінійному відтинку суднового ходу. Це є важливим під час прямування по річкам, каналам та фарватерам обмеженої ширини.

Радіусу кривизни траєкторії точки внутрішнього по відношенню до повороту борта судна якості основного параметру визначення ширини смуги руху недостатньо. Дивись малюнки нижче.

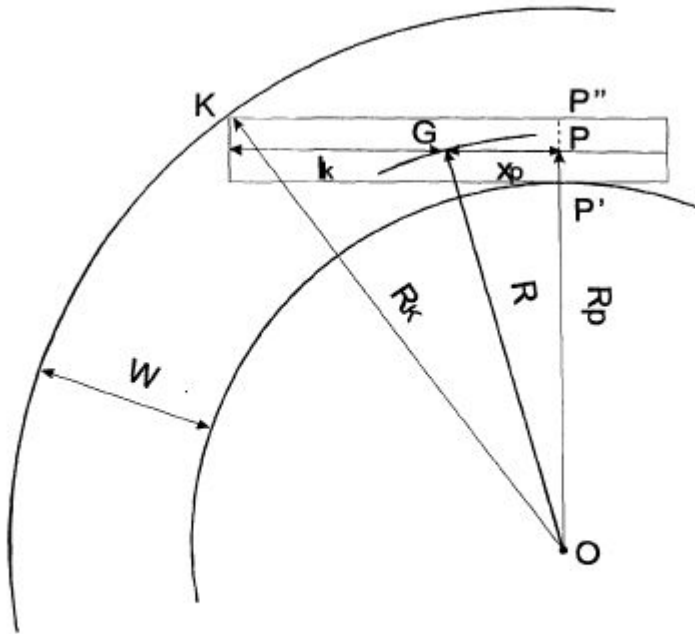


Схема повороту судна при розташуванні ПП в межах довжини судна

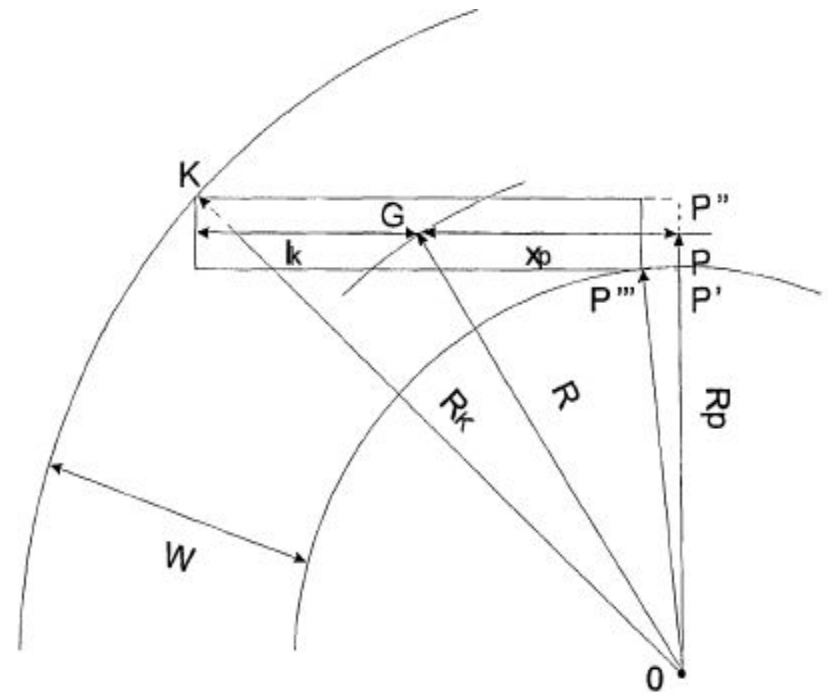
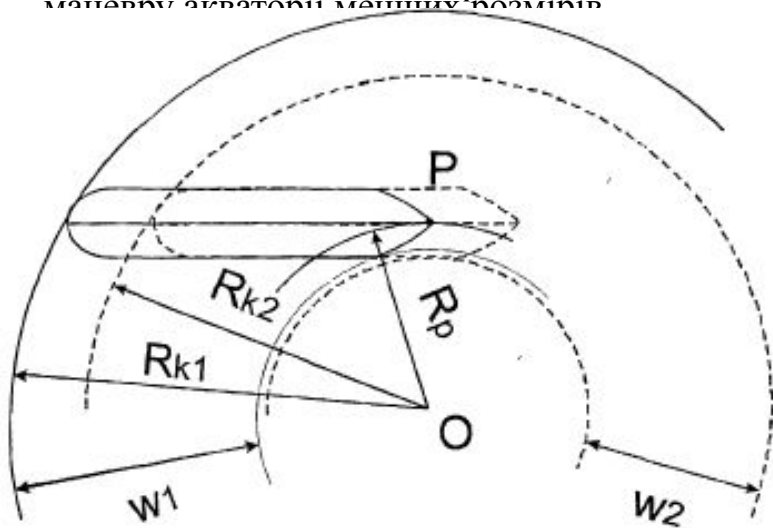


Схема повороту судна при розташуванні ПП за межами довжини судна

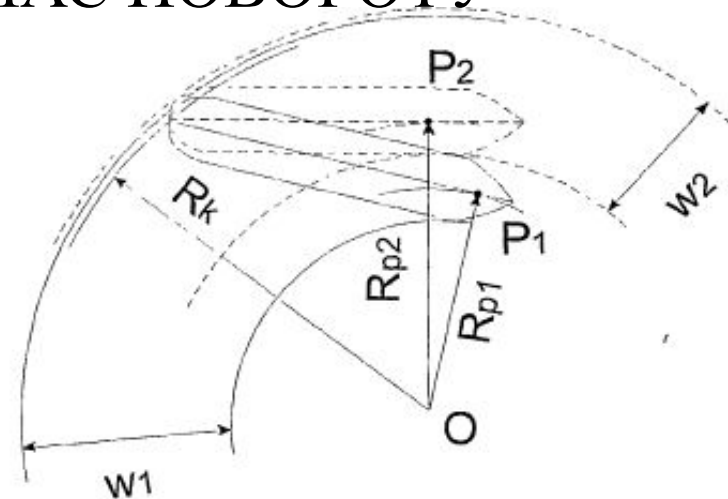
ВПЛИВ ПОЛОЖЕННЯ ПП НА ШИРИНУ СМУГИ РУХУ, ЩО ЗАЙМАЄ СУДНО ПІД ЧАС ПОВОРОТУ

Можна зробити наступні висновки:

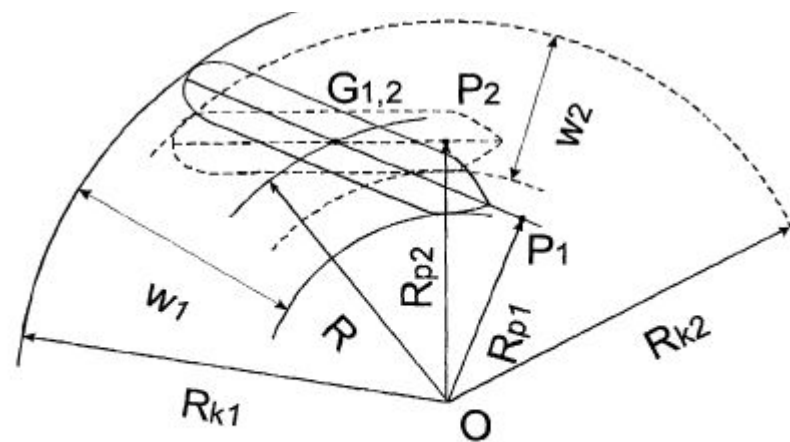
- лише один радіус циркуляції будь-якої точки ДП судна (зазвичай розглядають радіус циркуляції ЦВ або кормового краю судна) не може дати повного уявлення про розміри акваторії, що потрібна для виконання маневру, а тому нормування тільки радіуса циркуляції не уявляється доцільним
- Змінення значення абсциси полюсу повороту суттєво впливає на значення геометричних параметрів циркуляції судна, при цьому судно з меншим значенням абсциси ПП при однакових радіусах циркуляції будь яких точок ДП з судном з більшим значенням X_p завжди потребує для маневру акваторії менших розмірів



Геометричні параметри криволінійного руху суден з різними значеннями абсцис ПП(радіуси циркуляції ПП однакові)



Геометричні параметри криволінійного руху суден з різними значеннями абсцис ПП(радіуси циркуляції кормових країв однакові)



Геометричні параметри криволінійного руху суден з різними значеннями абсцис ПП(радіуси циркуляції ЦВ однакові)

МЕТОД РОЗВОРОТУ СУДНА З НАЙМЕНШИМ РАДІУСОМ ПОВОРОТУ

Якщо на судні, що не має ходу відносно води, перекласти кермо на борт та дати ППХ (“Acceleration turn”), то повний поворот займе менш ніж 50% простору, ніж у випадку повного повороту, розпочатого з ППХ. Розвертаючись спочатку на місці, судно буде набирати хід уперед, і зі збільшенням інерції руху розворот стає все ширшим. Інерція покою – ось що дозволяє судну зробити поворот з місці та заважає поздовжньому прискоренню.

Під час надання ходу зі “Стопу” та початковій циркуляції кутова швидкість (ROT) швидко збільшується в межах змінення КК від 0° до $20-25^\circ$ від початкового курсу. Після цього ROT зростає поступово. Швидкість судна ж зростає поступово зі збільшенням обертів гвинта. На судні, що стоїть ПП розташований поблизу ЦБО, тобто абсциса ПП має найменше значення. На початку руху ПП починає переміщуватися назустріч руху (вперед на передньому ходові та назад на задньому). За найменшого значення абсциси ПП радіус циркуляції буде найменшим. З початком руху він починає збільшуватися.

Отже, для повороту по найменшому радіусові бажано розвертатися без поступального руху. Це означає, що найкращим методом розвороту судна без засобів активного керування буде наступний: покласти кермо на борт і після цього дати старт двигунові. Судно почне розворот та одночасно набір швидкості. Не даючи суднові розігнатися, двигун зупиняють. Цей маневр можна повторити декілька разів.

Якщо на суднові, що не має ходу, дати машині ППХ та перекласти кермо на борт, легше подолати інерцію обертання, ніж інерцію покою. Причина: поки поздовжня інерція не дозволить суднові рухатися уперед, поперечна сила від керма буде мати переважаюче значення.

Судна з ДВЗ мають перевагу в тім, що, що утворюється потужний негайний упор на кермо, який перетворюється безпосередньо у поперечну силу керма. Сильний імпульс поперечної сили керма долає інерцію обертання раніше, ніж установиться поздовжній рух, змушуючи судно розвертатися на місці. Інерція покою, ось що допомагає нам зробити розворот “на місці”.

БАЗОВІ ВЕЛИЧИНИ СИЛ, ЩО ДІЮТЬ НА СУДНО

Обертальний рух відбувається навкруги вертикальної вісі. Положення цієї вісі на судні залежить від форми судна, напрямку та швидкості руху судна, величини та точки прикладення різних сил, що діють на судно.

Дуже важливо мати чітке уявлення про величини сил, що діють на судно. Дуже важливо мати чітке уявлення про величини сил, що діють на судно. Базові величини:

- Кожні **100 л.с.** ефективної потужності створюють тягу в швартовнім режимі **1 т.с.** (9,81 кН).
- **Лобовий опір** судна під час руху з $V = \text{const.} \approx 25\%$ загального опору рухові судна.
- **Поперечна сила** на гребному гвинті, що працює назад, складає от **5 до 10% сили тяги** винта.
- Коли судно не має ходу відносно води сила на кермі повністю визначається водяним потоком, що накидається гвинтом на перо керма. Для практичних розрахунків можна прийняти, що **величина сили на кермі** при кермі, що покладене на борт, складає порядку **0,3-0,5 сили упору гвинта** і майже прямо пропорційна кутові кладки керма.

ПОЛЮС ПОВОРОТУ

ВИСНОВКИ

1. Положення ПП – величина **перемінна** и можна казати тільки про **миттєве** положення ПП.
2. При русі **вперед** ПП зсувається **в ніс**, при **русі назад** – **в корму**. При русі повним ходом вперед положення ПП – приблизно $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$ довжини корпусу судна від носа.
3. **Бокова сила**, що прикладена до судну **пересуває ПП на протилежний від міделю бік** таким чином, що чим бокова сила ближче до міделю, тим ПП далі від міделю.
4. Під час руху судна удаваний центр обертання судна буде у ПП. Тому **моменти усіх сил**, що діють на судно, **слід розраховувати** не відносно ЦВ, а **відносно ПП**.
5. Під час руху судна по криволінійному відтинку положення ПП впливає на ширину смуги руху. Чим **менше відстань ПП від міделю**, тим **менша ширина смуги руху**, що займає судно.
6. Радіус повороту судна, що не мало ходу відносно води, та поклато кермо борт і дало ход буде значно менше радіусу повороту судна, що рухається повним ходом. Щоб **розвернутися з найменшим радіусом** слід **зупинити** судно, положити **кермо на борт** і дати **хід**. Вірогідніше всього, цю операцію слід повторити декілька разів.

ПОЛЮС ПОВОРОТУ

КОТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке центр обертання або полюс повороту?
2. На які складові можна розкласти криволінійний рух?
3. Куди зміщується ПП під час руху судна вперед; назад?
4. Як треба враховувати положення ПП під час використання буксирів?
5. Як треба враховувати вплив вітру на положення ПП?
6. Як впливає перекладене кермо на положення ПП?
7. Як можна використовувати інерцію обертання для змінення положення ПП?
8. Яким є вплив гребного гвинта на положення ПП?
9. Як потрібно враховувати положення ПП на задньому ходові?
10. Як переміщується ПП на задньому ходові на судні з гвинто-кермовими колонками?
11. Як залежить положення ПП від точки прикладення бокової сили?
12. Як впливає положення ПП на ширину смуги руху, що займає судно під час повороту?
13. Як слід виконати поворот з місця для зменшення радіусу повороту?
14. Якими є базові величини сил, що діють на судно: тяга гвинта; лобовий опір; поперечна сила гвинта, що працює назад; поперечна сила на кермі при відсутності ходу?

ПОЛЮС ПОВОРОТУ

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Демин С.И. Управление судном/Демин С.И., Жуков Е.И. и др. – М. :Транспорт, 1991. -359 с.
2. Павельев А.Д. Определение положения полюса поворота и его учет при маневрировании судна. Диссертация кандидата технических наук. Режим доступа к источнику:
<http://www.dissercat.com/content/opredelenie-polozeniya-polyusa-povorota-i-ego-uchet-pri-manevrirovanii-su dna-0>
3. Генри Г.Хойер. Управление судами при маневрировании./ Генри Г.Хойер. Перевод с английского. – М.:Транспорт, 1992 – 101 с.
4. Capt. Hugues Cauvier. The Pivot Point/ The PILOT №295. October 2008. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association.
5. Голиков В.В., Мальцев С.Э. Алгоритм определения положения полюса поворота морского судна. //Научовий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал .Випуск №1(8). Херсон: Видавництво ХДМА, 2013. С. 21-27.
- 6.Бусленко Д.Н.«МАНЕВРИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СУДНО (УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ) РОСТОВСКИЙ-НА-ДОНУ, МОРСКОЙ КОЛЛЕДЖ им. Г.Я. СЕДОВА, Ростов-на-Дону. 2003 г.
7. Мальцев С.Э., Товстокорый О.Н. Полюс поворота и его учет при маневрировании морского судна: монография / - Херсон: ХГМА, 2016 – 124 с., ил., табл., библ.60.ISBN 978-966-2245-33-2
8. Butuşină Paul, Dinu Dumitru – Water resistance force – pivot point, Annals of Mechanical, Industrial and Maritime Engineering, vol.XII, Ovidius University Constanţa, 2010. 112 -119 p.

Підготував

Доцент кафедри УС ХГМА

К.Д.П., К.Т.Н.

Товстокорый О.М.