



АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА МОРСКОГО СУДНА

Голиков В.В., Мальцев С.Э.

Одесская национальная морская академия

Предложенное устройство определения положения полюса поворота позволяет говорить о создании предпосылок для гарантированной навигационной безопасности, за счет детерминизации алгоритмов операторской деятельности, согласованности психофизиологических характеристик оператора и факторов движения и качественного планирования траектории перемещения судна при проводке судов. Реализация и внедрение в практику штурманской работы устройства позволит говорить о появлении средства поддержки принятия решения, а его функциональные возможности находятся на современном уровне состояния мировой судоводительской науки. Создаваемое устройство может быть выполнено на базе малогабаритного персонального компьютера.

Рассмотренные идеи и принципы построения устройства могут быть внедрены на судах для выработки рекомендаций по маневрированию в стесненных условиях. Предложенное устройство может быть использовано при тренажерной подготовке в процессе обучения капитанов, лоцманов и на старших курсах морских учебных заведений Украины.

Ключевые слова: полюс поворота, гарантированная безопасность, поддержка принятия решения, стесненные условия, тренажерная подготовка.

Постановка проблемы в общем виде. На плоскости судно совершает два вида движения: поступательное, при котором все точки тела перемещаются по параллельным траекториям и имеют одинаковую скорость; вращательное, когда точки плоского тела имеют разную скорость. Существует и такая точка, скорость которой равна нулю. Применительно к участвующему в криволинейном движении судну такую точку называют полюсом поворота (ПП). Если быть более точными, то вращение судна происходит вокруг ПП с точки зрения наблюдателя, находящегося на судне, что чрезвычайно важно при маневрировании в стесненных условиях по двум причинам.

Первая – заключается в том, что при обзорно-сравнительном способе управления судном оператору кажется, что вращение происходит вокруг него, в то время как оно происходит вокруг ПП. Это приводит к неверной оценке расстояний до ориентиров, потере ориентировки и создает предпосылки для возникновения аварийной ситуации.

Вторая – заключается в том, что при использовании мощности буксиров точка приложения силы относительно ПП позволяет меньшей мощностью получить максимальный момент от силы упора буксира, путем выбора точки приложения – чем дальше от ПП, тем момент больше.

В большинстве случаев при таком маневрировании судна прибегают к глазомерной оценке ситуации и формирует управляющие воздействия интуитивно по мере накопления опыта и морской практики.

Применяя такой подход, судоводитель сможет руководить процессом движения более точно и безаварийно. В силу указанных причин рассматриваемая проблема является весьма актуальной.

Анализ последних достижений и публикаций. Выполненный анализ аварийности в районе БДЛК и ХМК за последние 25 лет, результаты которого приведены в работах [1, 2] показал, что лоцманская проводка является эффективным средством повышения безопасности плавания, однако аварийные происшествия происходят и при наличии лоцмана на борту. Причиной указанных случаев является отсутствие согласованности факторов движения и психофизиологических характеристик человека – оператора (ЧО).

В работе [3] приведены результаты решения дифференциальных уравнений по определению силы и момента, действующих на корпус судна, в результате получены зависимости для определения точки приложения боковой силы и положения ПП.



Между точкой приложения боковой силы X_p (относительное плечо поперечной силы от ЦТ $\bar{X}_p = X_p / L$) и положением ПП на линии ДП X_n (относительное положение ПП от ЦТ $\bar{X}_n = X_n / L$) существует зависимость:

– при расположении полюса поворота за пределами корпуса, $\bar{X}_p > 0,5$

$$\bar{X}_n = (-X_p / 6) / (\bar{X}_p^2 + 1/12). \quad (1)$$

– при расположении полюса поворота в пределах корпуса, $\bar{X}_p < 0,5$

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

По формулам (1) и (2) построен график, приведенный на рис. 1.

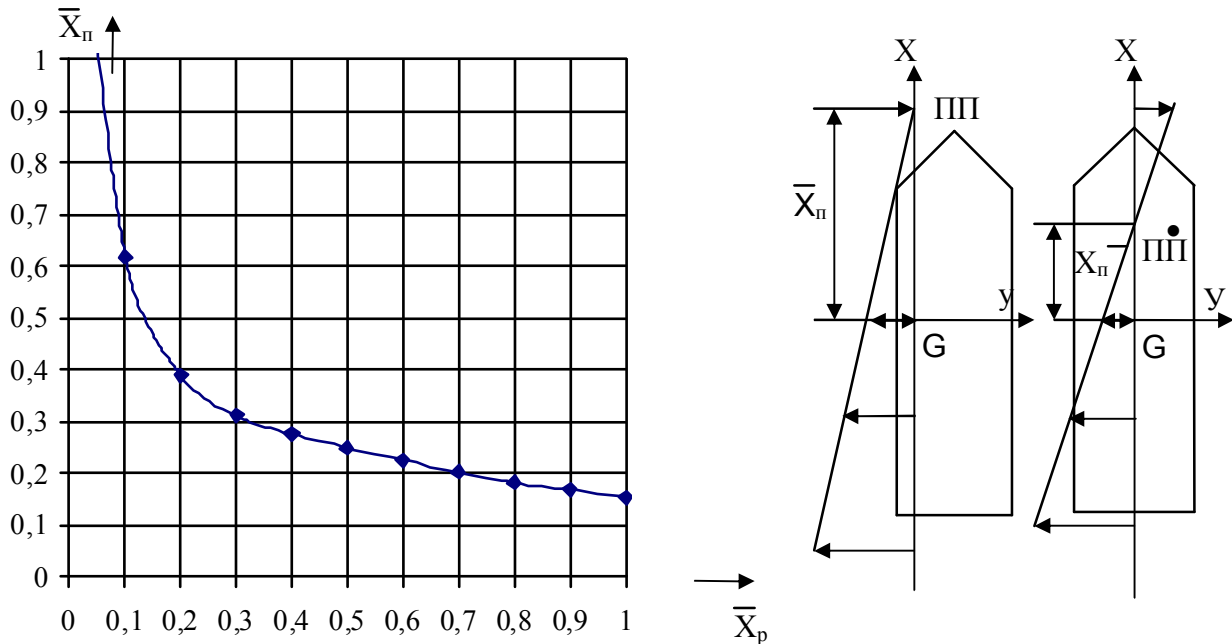


Рисунок 1 – Зависимость положения полюса поворота от точки приложения поперечной силы

Кроме того необходимо отметить, что только вращение судна, без поперечного и продольного перемещения, возможно только в том случае, когда ПП совпадает с ЦТ. В противном случае при вращении возникает центробежная сила, приложенная к ЦТ, вследствие чего судно приобретает перемещение в продольном и поперечном направлениях.

В работах [4–6] содержатся теоретические основы для разработки методов и способов, а также технических средств, необходимых для обеспечения безопасного управления маневрированием судна.

Однако они не обеспечивают функции поддержки принятия решения, а служат для информационного обеспечения. Существующие модели не позволяют определить положение ПП когда на судно действует несколько сил.

Постановка задачи. Целью данного исследования является задача разработки алгоритмов и устройств определения положения ПП для информационного обеспечения маневрирования и технических средств поддержки принятия решений в процессе управления движением судов.

Изложение материала исследования. Для достижения поставленной цели был разработан следующий алгоритм решения задачи определения положения полюса поворота (рис. 2).

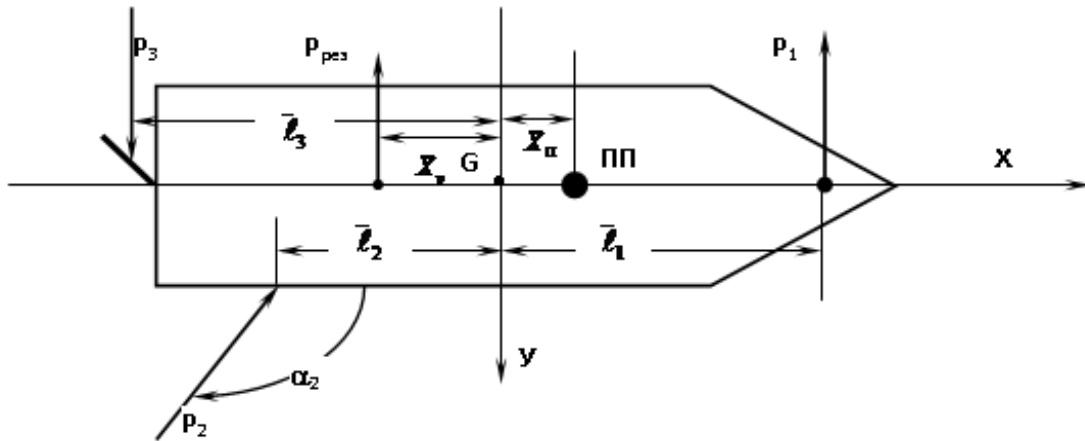


Рисунок 2 – Графическое изображение расположения внешних и внутренних сил относительно центра тяжести

1. Составить перечень всех сил, действующих на судно.
2. Определить равнодействующую поперечную составляющую всех внутренних и внешних сил, действующих на корпус судна.
3. Определить ее плечо.
4. По значению плеча рассчитать положение полюса поворота.
5. При необходимости скорректировать расстановку сил и произвести пересчет положения ПП.
6. Вывести значение координат ПП на экран дисплея и на контур судна.

На судно при маневрировании действуют два вида сил: внутренние, развиваемые средствами управления – винтом, рулем, носовым и кормовым подруливающими устройствами; внешние, от буксиров, якоря, швартовых концов, ветра, течения и другие.

Равнодействующую поперечных сил определим в следующей последовательности. Выполним расчет суммы всех поперечных сил по следующим зависимостям

$$\sum_{i=1}^n P_{рез} = P_1 \cdot \sin \alpha_1 + P_2 \cdot \sin \alpha_2 + \dots + P_i \cdot \sin \alpha_i + \dots + P_n \cdot \sin \alpha_n, \quad (3)$$

где $P_{рез}$ – равнодействующая поперечных сил; $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$ – силы, приложенные от буксиров, поперечная сила винта, сила от руля та подруливающего устройства с соответствующим знаком, + в сторону правого борта, – в сторону левого; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n$ – угол между диаметральной плоскостью и направлением действия силы.

Суму моментов относительно центра тяжести G определим по зависимостям

$$\sum_{i=1}^n M = P_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot \bar{l}_1 + P_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot \bar{l}_2 + \dots + P_i \cdot \sin \alpha_i \cdot \bar{l}_i + \dots + P_n \cdot \sin \alpha_n \cdot \bar{l}_n, \quad (4)$$

где $\bar{l}_1, \bar{l}_2, \dots, \bar{l}_i, \dots, \bar{l}_n$ – безразмерное плечо каждой силы, $\bar{l} = l / L_{\perp\perp}$; $L_{\perp\perp}$ – длина судна между перпендикулярами.

Точку приложения равнодействующей поперечной силы определим по следующей зависимости

$$\bar{X}_P = \sum_{i=1}^n M / P_{рез}. \quad (5)$$

На основе зависимостей (1) и (2) строим функцию вида $\bar{X}_{П} = f(\bar{X}_P)$. Так как для построения этой функции мы сталкиваемся с задачей нахождения корней полинома 4-го



порядка, то наиболее целесообразно табулировать зависимости (1) и (2) и аппроксимировать их полиномом 3-го порядка. В результате имеем функцию с достоверностью $R^2 = 0,999$:

$$\bar{X}_{\Pi} = \begin{cases} 18,11\bar{X}_P^3 + 27,44\bar{X}_P^2 + 14,05\bar{X}_P + 2,576; & \text{для } -0,5 \leq \bar{X}_P \leq -0,15. \\ 18,11\bar{X}_P^3 - 27,44\bar{X}_P^2 + 14,05\bar{X}_P - 2,576; & \text{для } 0,15 \leq \bar{X}_P \leq 0,5. \end{cases} \quad (6)$$

График этой функции приведен на рис. 3.

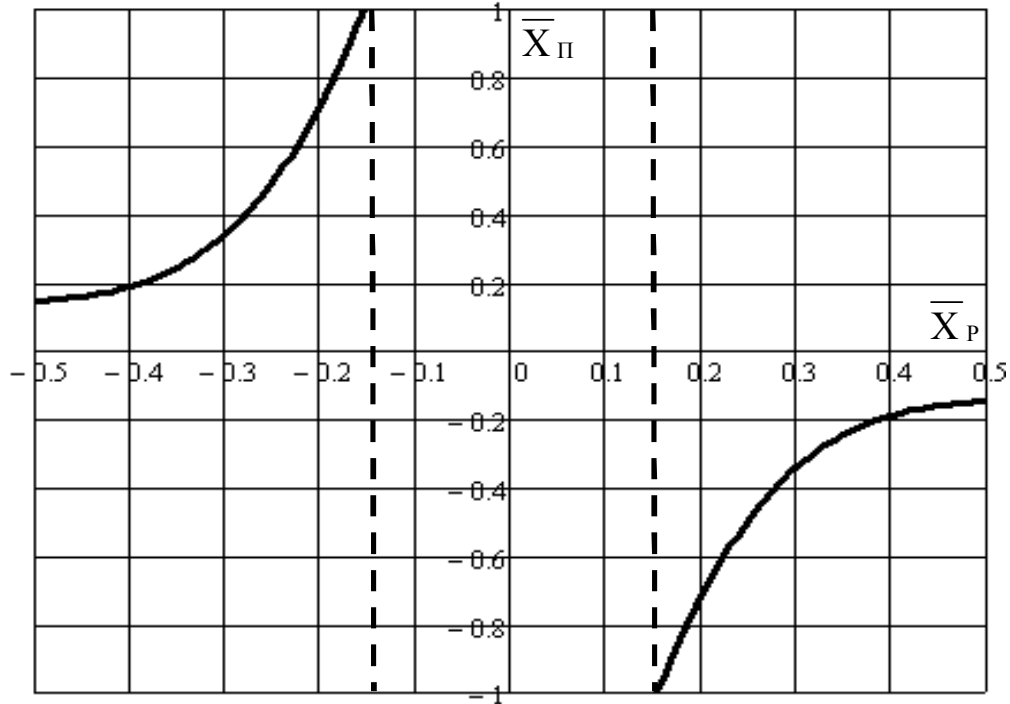


Рисунок 3 – Зависимость положения ПП от точки приложения $P_{рез}$ поперечной силы

Как видим, здесь мы имеем зону \bar{X}_P от -0,15 до 0,15, где $\bar{X}_{\Pi} > 1$ в расчете мы ее исключаем, в случае попадания в эту зону на экране должно появиться соответствующее сообщение.

Полученная зависимость (6) легко поддается операциям дифференцирования и интегрирования. В случае необходимости этот участок описывается с достоверностью $R^2 = 0,999$ по зависимостям:

$$\bar{X}_{\Pi} = \begin{cases} 18,11\bar{X}_P^3 + 27,44\bar{X}_P^2 + 14,05\bar{X}_P + 2,576; & \text{для } -0,5 \leq \bar{X}_P \leq -0,15. \\ -0,149/(\bar{X}_P + 0,005) & \text{для } -0,15 \leq \bar{X}_P \leq 0. \\ -0,149/(\bar{X}_P - 0,005) & \text{для } 0 \leq \bar{X}_P < 0,15. \\ 18,11\bar{X}_P^3 - 27,44\bar{X}_P^2 + 14,05\bar{X}_P - 2,576; & \text{для } 0,15 \leq \bar{X}_P \leq 0,5. \end{cases} \quad (7)$$

Тогда рис. 3 трансформируется к виду, приведенному на рис.4.

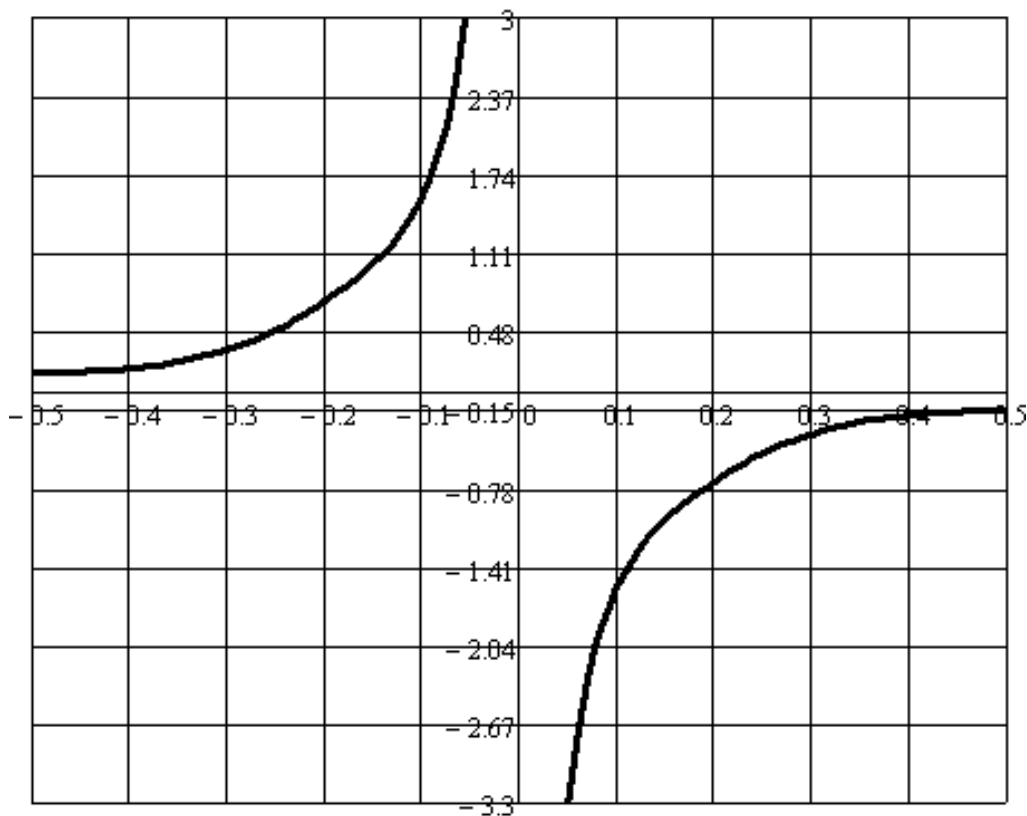


Рисунок 4 – Зависимость положения ПП от точки приложения $P_{рез}$ поперечной силы вблизи центра тяжести

Блок-схема алгоритма расчета и индикации положения ПП приведена на рис. 5.

Процесс вращения судна сложен из-за многообразия действующих на его корпус сил и сложного закона их изменения, так как поперечная составляющая равнодействующей гидродинамических сил на корпусе, оказывающая значительное влияние на вращение судна, зависит от угла натекания потока на корпус судна, иначе говоря, угла дрейфа, который в свою очередь изменяется под действием возникающих при криволинейном движении судна гидродинамических сил, то движение судна при повороте является неустановившимся. Такой вид движения имеет место при переключке руля на определенный угол на движущемся судне в процессе маневренного и эволюционного периода циркуляции. Когда же угол дрейфа перестает расти и наступает равновесие действующих на судно сил и моментов, элементы движения судна приобретают установившийся характер, и наступает период установившейся циркуляции. Для прогнозирования положения судна при движении с переложенным рулем используются геометрические характеристики циркуляции, такие как выдвиг, прямое смещение, обратное смещение, тактический диаметр циркуляции, диаметр установившейся циркуляции. Точность их получения достаточна для того, чтобы пользоваться ими для расчета движения судна при прохождении вблизи навигационных опасностей в открытом море. Однако на акватории порта в стесненных условиях не допускается движение судна с большой скоростью и при этом оно больше подвержено влиянию внешних условий, вследствие чего точность получения геометрических характеристик циркуляции не позволяет использовать этот метод при оценке положения судна относительно других судов и причальных сооружений. Задача значительно усложняется при использовании буксиров, и возникают дополнительные силы и моменты.

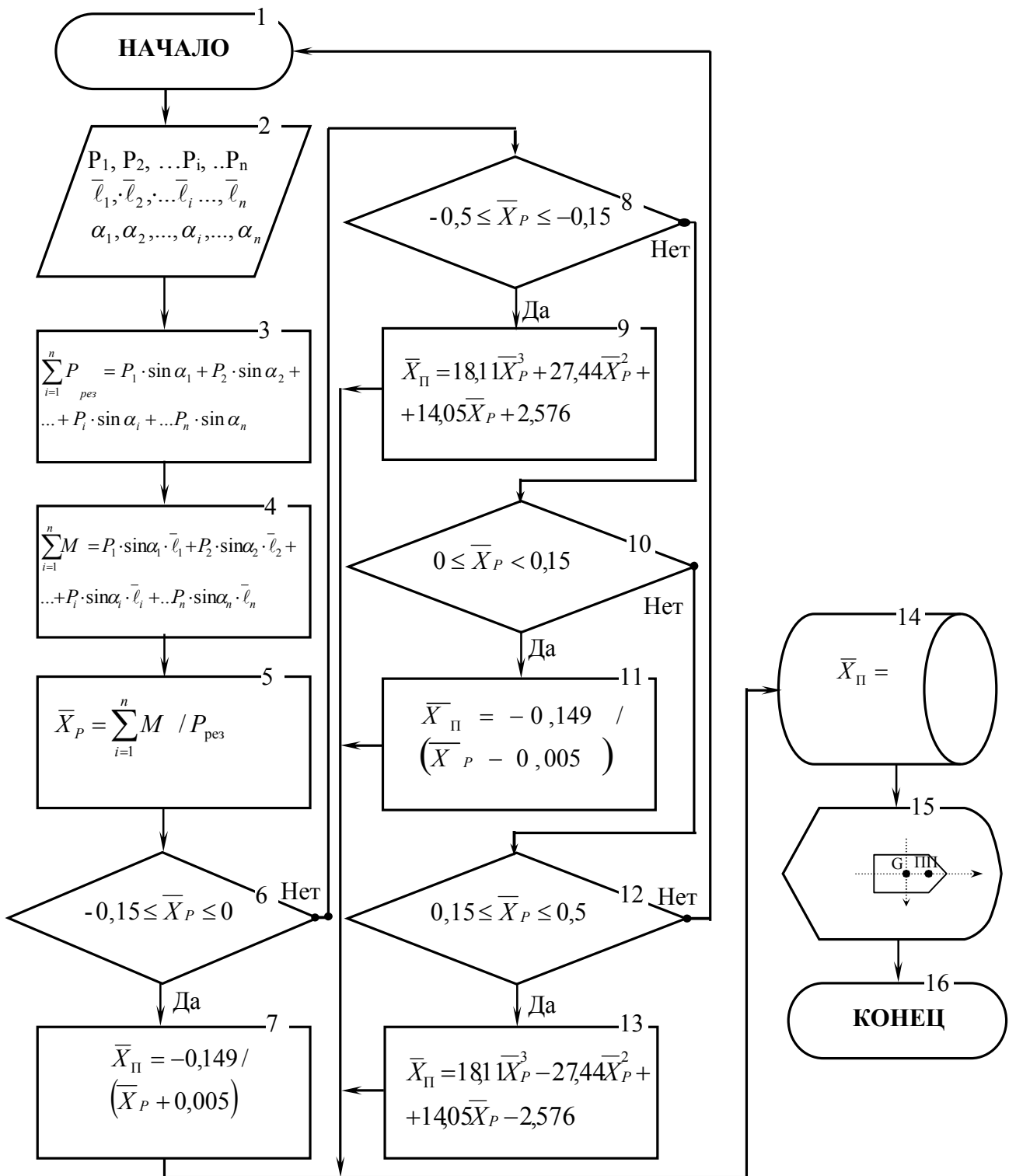


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма расчета положения полюса поворота

Выводы и предложения:

1. Предложенное устройство позволяет говорить о создании предпосылок для гарантированной навигационной безопасности, за счет детерминизации алгоритмов операторской деятельности, согласованности психофизиологических характеристик оператора и факторов движения и качественного планирования траектории перемещения судна при проводке судов.

2. Реализация и внедрение в практику штурманской работы устройства позволит говорить о появлении средства поддержки принятия решения, а его функциональные возможности находятся на современном уровне состояния мировой судоводительской



науки. Создаваемое устройство может быть выполнено на базе малогабаритного персонального компьютера.

3. Рассмотренные идеи и принципы построения устройства могут быть внедрены на судах для выработки рекомендаций по маневрированию в стесненных условиях.

4. Предложенное устройство может быть использовано при тренажерной подготовке в процессе обучения капитанов, лоцманов и на старших курсах морских учебных заведений Украины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильский Г. Б. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов / Г. Б. Вильский, А. С. Мальцев, В. В. Бездольный, Е. И. Гончаров / Под ред. А. С. Мальцева, Г. Б. Вильского. – Одесса-Николаев : Феникс, 2007. – 456 с.

2. Романов Г. С. Анализ аварийности в районе БДЛК и ХМК за период 1999-2002 годы / Г. С. Романов // Судовождение : сб. научных трудов ОНМА. – Вып. 6. – Одесса : Феникс, 2003. – С. 108-114.

3. Управление судном / [С. И. Демин, Е. И. Жуков и др.] – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.

4. Мальцев А. С. Подготовка лоцманов к управлению манёврами судна / А. С. Мальцев, Г. С. Романов, Е. И. Гончаров, Г. Б. Вильский // Судовождение : сб. научн. трудов ОГМА. – Вып. 8. – Одесса : Феникс, 2004. – С. 63.

5. Maltsev A. S. The Ways of Enhancing the Safety of Navigation // Thesis of the third General Assembly of IAMU. – USA, Rock port, 2002. – P. 16-26.

6. Система керування рухом суден : деклараційний патент на корисну модель № 5127 Україна, МПК 7 G08G7/00, B63B43/00 / Бездольний В. В., Романов Г. С., Гончаров Є. І., Вільський Г. Б., Мальцев А. С. (Україна), № 20040705479; Заявл. 07.07.2004; Опубл. 15.02.2005. – Бюл. № 2. – 5 с.

Голіков В.В., Мальцев С.Е. АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ МОРСЬКОГО СУДНА

Запропонований пристрій визначення положення полюса повороту дозволяє говорити про створення передумов для гарантованої навігаційної безпеки, за рахунок детермінізації алгоритмів операторської діяльності, узгодженості психофізіологічних характеристик оператора і факторів руху та якісного планування траєкторії переміщення судна при проводці суден.

Реалізація та впровадження в практику штурманської роботи пристрою дозволить говорити про появу засоби підтримки прийняття рішення, а його функціональні можливості знаходяться на сучасному рівні стану світової судноводійної науки. Створений пристрій може бути виконано на базі малогабаритного персонального комп'ютера. Розглянуті ідеї і принципи побудови пристрою можуть бути впроваджені на судах для вироблення рекомендацій з маневрування в обмежених умовах. Запропонований пристрій може бути використано при тренажерній підготовці у процесі навчання капітанів, лоцманів і на старших курсах морських навчальних закладів України.

Ключові слова: полюс повороту, гарантована безпека, підтримка прийняття рішення, обмежені умови, тренажерна підготовка.

Golikov V.V., Maltsev S.E. THE ALGORITHM FOR DETERMINING THE POSITION OF THE ROTATION POLE OF THE SHIP

The proposed device of determination position of the rotation's pole suggests the creation of the prerequisites to guarantee navigational safety, due to determinism of the algorithms operator activity and the movement of factors and quality planning the path of the vessel in pilotage.

The implementation and practical application of the navigation device will give the possibility to talk about the emergence decision support, and its functional possibility are at present level of the Navigation global science. Created device may be done on the basis of a small-size personal computer.

Discussed ideas and principles of the devices can be implemented on ships for making recommendations for maneuvering in tight areas. The proposed device can be used in the simulator training in teaching masters, pilots and at senior years of maritime training institutions in Ukraine.

Keywords: the pole of rotation, guaranteed security, support decision making, restricted conditions, simulator training.