

## ВЫБОР КОРРЕКТИРУЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ ПРИ АВАРИЙНОМ УПРАВЛЕНИИ СУДНОМ

*Голиков В.В., Мамонтов В.В.*

*Одесская национальная морская академия*

*В статье рассмотрены процессы маневрирования, модели и алгоритмы управления командой мостика при отказе средств управления движением. Разделены силы действующие на судно и внешние факторы влияющие на процесс маневрирования при обычном и аварийном управлении судна в результате чего предложен способ выбора количества буксиров по максимальной силе упора винта судна.*

*Ключевые слова: судно, моменты, алгоритм, буксир.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.** Для обеспечения безопасного плавания решающее значение имеет техническое состояние судна и квалификация обслуживающего его системы персонала, а также степень подготовки штурманского состава к взаимодействию при организации управления движением судна в обычных, стесненных условиях и при аварийных ситуациях. При работе в обычных условиях судоводитель действует на уровне устойчивого навыка. В стесненных условиях увеличивается число и состав элементарных операций, а в экстремальных условиях необходимо использование мыслительных операций для поиска решения, что приводит к затормаживанию процесса управления.

Скоротечность процесса управления и недостаток времени для получения корректной информации о процессе движения требует предварительной подготовки к действию команды мостика в экстремальных условиях при отказе средств движения и маневрирования.

По этой причине разработка содержательных моделей процесса управления и алгоритма работы команды мостика при аварийных происшествиях является весьма актуальной.

**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** В работе [1] отмечается, что формирование начального и устойчивого навыка по управлению маневрированием судна производилось методом проб и ошибок. Однако более предпочтительным является метод формирования навыка через знание алгоритма интеллектуальных действий судоводителя.

Даже сформированный устойчивый навык в выполнении элементов судоводительской работы со временем снижается, если он не используется регулярно. По этой причине его необходимо восстанавливать. Одной из возможных форм поддержания навыков на требуемом уровне является периодическое повторное обучение и тренажерная подготовка.

В работе [2] рассмотрены системы обеспечения движения и управления, а также построение автоматических систем управления курсом, скоростью и его положением. Рассмотрены основные задачи электронных систем и методы информационной поддержки, принимаемых решений по управлению движением.

В работе [3] рассмотрены вопросы обеспечения навигационной безопасности при управлении движением судов, включая при лоцманской проводке. Впервые рассмотрена методика планирования траектории инверсным способом при постановке на якорь и швартовых операциях. Приведены способы планирования криволинейных траекторий по данным о характеристиках поворотливости. Вопросы организации работы команды мостика при аварийных ситуациях в работе не рассматриваются.

В работе [4] приведены комплексные психофизиологические исследования среди курсантов старших курсов судоводительской специальности и судоводителей при

переподготовке на радиолокационном тренажере. Цель исследования – изучение информативности отдельных показателей и определение возможности их использования для оценки уровня формирования производственного динамического стереотипа в овладении навыка управления процессом маневрирования.

Они включали: анализ сенсомоторных реакций, выполнение тестов на внимание, оперативную память, мышление, силу и подвижность нервных процессов.

В работе [5] приведена методика использования буксиров при маневрировании. Детально рассмотрены способы расчета аэродинамических сил в продольном и поперечном направлениях. Приведена методика выбора количества буксиров по длине судна и его водоизмещению. Однако она не учитывает мощности судовой силовой установки, размеров акватории для маневрирования и действия внешних факторов.

В работе [6] рассмотрены вопросы влияния функционального состояния и психофизиологических характеристик оператора, на его способность работать в команде мостика, при влиянии судовой среды и внешних воздействий. Отмечается, что работа в аварийных ситуациях требует от капитана выполнения одновременно операторских функций по управлению судном и оперативных – по управлению людьми при жестком дефиците времени, который сохраняется на протяжении всего течения аварийного состояния.

Однако в приведенных работах не рассматривается перечень всех возможных аварийных состояний и не приводится методика формирования устойчивого навыка работы команды мостика в таких условиях.

**Формулирование целей статьи.** Целью настоящей статьи является разработка формализованных моделей и алгоритмов управления командой мостика при отказе средств управления движением судна.

**Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов.** Попытка уменьшить влияние человека на процесс управления за счет автоматизации выполнения отдельных функций не исключает его из сферы управления, а приводит к еще более тесной связи с устройствами и системами. Решающее влияние на его функции в процессе управления оказало отделение человека – оператора (ЧО) от объектов управления и он стал взаимодействовать с информационными моделями. Это привело к тому, что ЧО стал управлять по показаниям приборов и индикаторов, что увеличило требования к его психофизиологическим функциям.

В процессе взаимодействия ЧО с элементами человека – машинных систем в качестве инженерно – психологических его характеристик рассматривают анализаторы, память и мышление, скорость выполнения интеллектуальных действий и антропометрические данные.

Специфика процесса управления движением судна определяет в качестве основных зрительные (рецептор – глаз) и слуховые (рецептор – ухо) анализаторы. При этом около 90% занимает зрительная информация, на втором месте стоит использование слуховых сигналов и речи, а остальные анализаторы занимают незначительную долю [7].

С точки зрения деятельности оператора ошибки возникают в процессе получения зрительной информации, из-за необходимости ее обработки. Этот этап сбоев в управлении характеризуется потерей ориентировки. Для их устранения необходимо обрабатывать информацию и представлять ее оператору в виде процедурных рекомендаций, которые однозначно им воспринимаются.

Если произошло изменение в составе средств управления, то оператору требуется осуществлять обработку поступающей декларативной информации по контролю над параметрами процесса управления для корректировки плановой траектории. Задержки в интеллектуальной деятельности оператора влияют на скорость и надежность принятия решения и контроля над его реализацией. Антропометрические характеристики оператора определяют условия функционирования его физиологических систем, и выявить их по результатам анализа не удастся из-за отсутствия соответствующих сведений.

Безопасность маневрирования при отказе средств управления обычно не обеспечивалась из-за отсутствия необходимых сведений о маневренных характеристиках судна, как объекта управления и соответствующих данных о текущем состоянии его технических устройств, которые необходимы для контроля над процессом движения и поддержки принятого решения при маневрировании.

Анализ [3] аварийных происшествий позволил произвести ранжирование ошибок оператора по его психофизиологическим характеристикам: в 47% случаев причиной были ошибки анализаторов; в 21% – из-за сбоев при хранении и обработке информации; в 18% – из-за сбоев при принятии решения и в 14% – моторные ошибки, обусловленные работоспособностью оператора.

Подготовку к маневрированию и его выполнение будем рассматривать состоящим из трех этапов: планирование траекторных точек; управление процессом движения в соответствии с предварительным планом; корректировка первоначального плана по выбору используемых устройств при отказе средств управления или изменении внешних условий в процессе перемещения.

Анализ процесса управления движением при маневрировании будем производить операционно-структурным описанием, представленным в виде алгоритмов. При этом под алгоритмом будем понимать предписание о выполнении процессов управления в строго определенной последовательности элементарных операций. Для этого процесс управления раскладывается на качественно различные элементарные операции, и определяются логические связи между ними для определения порядка их следования. Критерием элементарности является способность оператора выполнять безошибочно такую операцию на основании информации в виде знания.

Алгоритм организации процесса маневрирования будет зависеть от наличия устройств обеспечения управляющих сил на корпус судна. Для обеспечения максимально возможной согласованности факторов движения и имеющихся сил для заданного алгоритма управления, рассмотрим полный перечень устройств, которые их формируют.

При этом будем рассматривать следующие характерные точки судна: центр управления (ЦУ) – точка на мостике судна, где находится судоводитель, который оценивает его положение относительно знаков навигационной обстановки; полюс поворота (ПП) – точка на линии диаметральной плоскости в пределах судна или за его пределами, вокруг которой происходит вращение корпуса; центр тяжести (ЦТ) это точка на линии ДП в которой приложена равнодействующая сил тяжести. При рассмотрении вопросов управления обычным судном его условно принимают расположенным на мидель шпангоуте.

Все силы, действующие на судно, принято разделять на три группы: движущие, внешние и реактивные.

**К движущим** относят силы, создаваемые средствами управления судна и внешними для придания судну линейного и углового движения. К таким силам относятся: упор гребного винта; боковая сила руля; создаваемые средствами активного управления (САУ); от буксиров; от якорного устройства.

**К внешним** относятся силы давления ветра, волнения моря, течения. Эти силы в большинстве случаев создают помехи при маневрировании.

**К реактивным** относятся силы и моменты, возникающие в результате движения судна. Реактивные силы зависят от линейных и угловых скоростей судна. По своей природе реактивные силы и моменты разделяют на инерционные и неинерционные. Инерционные силы и моменты обусловлены инертностью судна и присоединенных масс жидкости. Эти силы возникают только при наличии ускорений – линейного, углового, центростремительного. Инерционная сила всегда направлена в сторону, противоположную ускорению. При равномерном прямолинейном движении судна инерционные силы не возникают.

Неинерционные силы и их моменты обусловлены вязкостью забортной воды,

следовательно, являются гидродинамическими силами и моментами.

Источниками управляющих сил (внутренних судовых и внешних) являются: сила упора винта  $P_e$ ; сила на руле  $R_p$ ; сила от якорного устройства  $P_я$ ; сила от буксирного устройства  $P_б$ ; сила от швартовного устройства  $P_{шв}$ ; сила от подруливающего устройства  $P_{под}$ . Если винтов два, то результирующая сила упора винтов будет равна  $P_e = P_{e1} + P_{e2}$ . При двухрулевым управлением результирующая сила на руле равна  $R_p = R_{p1} + R_{p2}$ .

Поскольку в течение всего времени движения судно перемещается с изменяющимися параметрами (курс, скорость, положение в пространстве), будем полагать, что маневрирование происходит на всем переходе, однако оно носит различный характер, в зависимости от его позиции по отношению к пункту отхода и прихода, а также характера навигационных условий. Особенно это влияние проявляется при плавании в стесненных условиях и при заходе в порт / выходе из порта.

Для составления алгоритма замены управляющих воздействий при отказе устройств, обеспечивающих маневрирование, произведем классификацию сил, которые используются судоводителем при организации движения судна, которая приведена в табл. 1, и произведем краткую их характеристику.

Таблица 1 – Классификация сил, действующих на судно

<i>№ n/n</i>	<i>Группа</i>	<i>Источник возникновения силы</i>	<i>Направление действия</i>
1.	Движущие	От винта	Продольные, вперед/назад
2.		От руля	Поперечные, вправо/влево
3.		От подруливающего устройства	Поперечные, вправо/влево
4.		От якорного устройства	Продольные
5.		От буксиров	Круговые
6.		От швартовных концов	Круговые
7.	Внешние	От действия ветра	Круговые
8.		От действия течения	Круговые
9.		От действия волнения	Круговые
10.	Реактивные	Инерционные	Продольные, вперед/назад
11.		Гидродинамические	Круговые

На основании системного подхода, можно дать следующее определение аварийного происшествия – «Аварийное происшествие это такое состояние системы, при котором управляющего воздействия недостаточно для приведения системы в заданное состояние».

При дальнейшем анализе причин происшествия необходимо установить, в каком элементе системы произошел сбой в ее работе, и какой фактор является определяющим и какое устройство надо использовать для компенсации потерянной силы для управления.

Последовательно проверяя все устройства, входящие в систему, можно конкретно указать какой из элементов или их сумма может компенсировать вышедший со строя. Для этого необходимо составить энергетический баланс сил, которые имеется в распоряжении судоводителя полностью, дать краткую характеристику каждого устройства и определить методику выбора недостающего управляющего воздействия для корректировки движения, а если это невозможно, то остановить движение для привлечения дополнительных средств.

Для составления энергетического баланса рассмотрим краткую характеристику приведенных сил.

**Сила упора винта  $P_e$**  является основной активной движущей силой судна. Определение максимальной силы упора винта можно произвести по методике, изложенной в работе [3].

Сила упора изолированного винта на швартовах определяется по формуле

$$P_{u\%} = K_p \cdot \rho \cdot \left(\frac{n}{60}\right) \cdot D_B^4, \quad (1)$$

где  $\rho$  – массовая плотность воды (1020 кг/м<sup>3</sup>);  $n$  – частота вращения винта, об/с;  $D_B$  – диаметр винта, м;  $K_p$  – коэффициент упора винта на швартовых, находим по формуле:

$$K_p = \sqrt[3]{\theta \cdot z} \cdot \left(0,225 \sin^2 \frac{H}{D_B} + 0,098 \sin \frac{H}{D_B}\right), \quad (2)$$

где  $\theta$  – дисковое отношение винта;  $z$  – число лопастей;  $H/D_B$  – шаговое отношение винта, рад.

Площадь диска винта равна:

$$A_d = \frac{\pi \cdot D_B^2}{4}. \quad (3)$$

Для учета влияния корпуса вводят коэффициент усиления упора винта,  $C_{yy}$ , зависящий от площади погруженной части мидель-шпангоута  $S_{\otimes}$ :

$$S_{\otimes} = B \cdot T \cdot \beta_{\otimes}, \quad (4)$$

где  $\beta_{\otimes}$  – коэффициент полноты мидель-шпангоута.

Тогда мы находим коэффициент усиления упора винта:

$$C_{yy} = 0,508 + 0,106 \frac{S_{\otimes}}{A_d}. \quad (5)$$

Окончательно расчетная максимальная сила упора на заднем ходу равна:

$$P_{\max}^{pac} = P_{ув} \cdot C_{yy}. \quad (6)$$

Второй по иерархии является сила от буксирного устройства  $P_6$ . Основной характеристикой буксировщика является тяга на гаке. При этом если используются два буксира, то тяга носового буксира должна соответствовать условию:

$$P_{B1} = R_c + R_{\delta 2}, \quad (7)$$

где  $R_c$  – сопротивление судна;  $R_{\delta 2}$  – сопротивление кормового буксира.

Тогда дифференциальное уравнение системы судно – буксиры в процессе торможения будет иметь вид:

$$m_{11(c+\delta)} \frac{dV}{dt} = -[(C_c + C_{\delta 1}) \cdot V^2 + P_{\delta 2}], \quad (8)$$

где  $m_{11(c+\delta)}$  – масса буксира и буксируемого судна с присоединенной массой воды;  $C_c, C_{\delta 1}$  – гидродинамические коэффициенты судна и носового буксира;  $V$  – скорость движения системы, м/с;  $P_{\delta 2}$  – тяга на гаке кормового буксира, Н.

Решение дифференциального уравнения системы относительно тормозного пути и мощности кормового буксира имеет вид:

$$\frac{m_{11(c+\delta 1)} \cdot V^2}{2 \cdot (R_c + R_{\delta 1})} \ln\left(1 + \frac{R_c + R_{\delta 1}}{P_{\delta 2}}\right). \quad (9)$$

$$P_{\sigma} = \frac{R_c + R_{\sigma 1}}{\exp\left(\frac{2S_{\sigma on}(R_c + R_{\sigma 1})}{m_{11(c+\sigma 1)} \cdot V_{\sigma}^2}\right) - 1}. \quad (10)$$

Номинальную тягу на гаке буксира рассчитывают по мощности его двигателя по следующей формуле:

$$P_{\sigma} = 0,133 \cdot P_{\sigma 6}, \quad (11)$$

где  $P_{\sigma}$  – тяга на гаке в кН;  $P_{\sigma 6}$  – мощность двигателя в кВт.

**Сила от подруливающего устройства  $P_{\text{под}}$**  всегда направлена перпендикулярно диаметральной плоскости (ДП). Ее значение можно определить по мощности двигателя устройства по формуле (11).

**Сила на руле  $R_p$ .** Для определения поперечной силы на руле необходимо определять безразмерные коэффициенты, а также плечо указанной силы. Уравнение для момента в развернутом виде можно записать:

$$M_p = R_{py} \cdot \bar{\ell}_p = (C_{py} \cdot \rho \cdot S_p \cdot V_p^2) \cdot \bar{\ell}_p, \quad (12)$$

где  $R_{py}$  – поперечная сила на руле;  $C_{py}$  – безразмерный коэффициент;  $\rho$  – плотность воды;  $S_p$  – площадь пера руля;  $V_p$  – скорость набегающего потока на руль;  $\bar{\ell}_p$  – безразмерное плечо руля, которое можно принять  $\bar{\ell}_p \approx 0,5$ .

Расчет коэффициента поперечной гидродинамической силы на руле можно произвести по формуле Л. Прандтля:

$$C_{py} = \frac{2 \cdot \pi}{1 + (2 / \lambda_p)} \cdot \delta^{\circ}, \quad (13)$$

где  $\lambda_p$  – относительное удлинение руля, отн. ед.;  $\delta^{\circ}$  – угол перекладки руля в градусах.

Для руля, расположенного за винтом, скорость набегающего потока можно приближенно принять равной:

$$V_p = (1,3 \div 1,4) \cdot V_c. \quad (14)$$

**Сила от якорного устройства  $P_y$ .** Якорное устройство воспринимает горизонтальную силу, которая возникает на якорном оборудовании при отдаче якоря на морское дно. Такой безопасной рабочей нагрузкой (БРН) является установленный мировой стандарт 200 тонн на одиночный палубный стопор. Эта величина считается удовлетворительной при скорости ветра до 30 узлов.

Опыт показывает, что эта располагаемая сила является достаточной для удержания при рывке и/или обеспечения запуска двигателя при 10-ти минутной его готовности в течении всего времени.

Судно с дедвейтом 150 000 тонн имеет якорное устройство, имеющее следующие номинальные характеристики, которые рассчитаны в соответствии с правилами классификационного общества:

**Тормоз брашпиля:**

- Держащая сила – 395 тс;
- Безопасная рабочая нагрузка стопора якорной цепи – 650 тс;
- Предел прочности натяжения якорной цепи – 600 тс;
- Вес одной смычки якорной цепи – 2,5 тс;
- Вес якоря – 10 тс ;

– Подъемная сила якорного брашпиля – 32 тс.

Два носовых стопора имеют рабочую безопасную нагрузку 200 тонн каждый (78 мм цепи с контрофорсами). Стопор цепи имеет двойной запас прочности.

Дифференциальное уравнение движения судна при торможении и отданном якорю имеет вид:

$$m_x \cdot \frac{dV_x}{dt} + kV_x^2 + P_e + P_y = 0, \quad (15)$$

где  $m_x$  – масса судна, с учетом присоединенной массы воды по оси X;  $k$  – коэффициент сопротивления воды;  $V_x$  – скорость судна по оси X;  $P_e$  – упор винта, при торможении на задний ход;  $P_y$  – сила действующая на судно от якорного устройства.

Коэффициент активности торможения винтом  $a$  и коэффициент активности торможения якорем  $a_y$ , определяются по формулам:

$$a = P_{\max} / \kappa / V_n^2. \quad (16)$$

$$a_y = \kappa_2 \cdot G \cdot g / \kappa / V_n^2, \quad (17)$$

где  $G$  – вес якоря, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\kappa_2$  – коэффициент держашей силы грунта;  $P_{\max}$  – максимальная сила упора винта в момент остановки судна;  $\kappa$  – коэффициент сопротивления воды;  $V_n$  – скорость судна в момент начала работы винта на ЗХ.

После подстановки (16) и (17) в дифференциальное уравнение (15), и несложных преобразований и решения его относительно пути и времени, получим:

$$t = \frac{m}{kV_n^2} \int_V^{V_n} \frac{dV}{\frac{1-a}{V^2} + a + a_y}, \quad (18)$$

$$S = \frac{m}{kV_n^2} \int_V^{V_n} \frac{VdV}{\frac{1-a}{V^2} + a + a_y}. \quad (19)$$

Проинтегрировав формулы (18) и (19), с учетом того, что при постановке на якорь торможение производится до полной остановки, получим:

Для  $a=1$ , когда падение скорости происходит по линейному закону, за счет винта и якоря:

$$t = \frac{m}{kV_n(1+a_y)}, \quad (20)$$

$$S = \frac{m}{2k(1+a_y)}. \quad (21)$$

Для  $a = 0$ , когда торможение происходит только за счет сопротивления воды и якоря:

$$t = \frac{m}{kV_n \sqrt{a_y}} \left( \arctg \frac{1}{\sqrt{a_y}} - \arctg V_n \right), \quad (22)$$

$$S = \frac{m}{2k} \ln(V_n^2 + a_y V_n^2) \quad (23)$$

Для

$$a < 1 \quad t = \frac{m}{kV_n(a+a_y)} \sqrt{\frac{1-a}{a+a_y}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1-a}{a+a_y}}. \quad (24)$$

Для

$$a > 1 \quad t = \frac{m}{2kV_n(a+a_y)} \sqrt{\frac{a-1}{a+a_y}} \cdot \ln \frac{1 + \sqrt{\frac{a-1}{a+a_y}}}{1 - \sqrt{\frac{a-1}{a+a_y}}}. \quad (25)$$

Для тормозного пути при  $a \neq 1$ :

$$S = \frac{m}{2k(1-a)} \cdot \ln \left( \frac{1-a}{a+a_y} + 1 \right). \quad (26)$$

Поскольку при отдаче якоря движение судна практически остановлено, и торможение происходит преимущественно за счет пассивного торможения, то пройденное расстояние в этот момент можно рассчитать по формуле (22).

Для того, чтобы разработать обоснованные рекомендации, по действию судоводителей при отказе средств управления, составим энергетический баланс управляющих сил. При этом необходимо составлять баланс по оси вдоль ДП и перпендикулярно ей.

$$m_x \cdot \frac{dV_x}{dt} + kV_x^2 \leq P_e + \sum_{i=1}^2 P_{яi} + \sum_{i=1}^n P_{xбi} + R_{вех}, \quad (27)$$

где  $R_{вех}$  – суммарная сила от внешних воздействий по оси X.

$$m_y \cdot \frac{dV_y}{dt} + kV_y^2 \leq R_{py} + P_{нод} + \sum_{i=1}^n P_{yбi} + R_{вгy} \quad (28)$$

где  $R_{вгy}$  – суммарная сила от внешних воздействий по оси Y.

В распоряжении судоводителя имеется возможность определить режим движения судна, и только после этого производить выбор буксирного обеспечения и режима использования управляющих устройств.

Способ энергетического баланса позволяет решать и обратную задачу анализа причин аварийного происшествия. Для этого используя уравнение (27) по мощности буксирного обеспечения и держащей силе якорного устройства определяют скорость движения по оси X, при которой они смогут остановить движение судна. Сравнивая фактическую скорость и полученную расчетную можно установить причину происшествия.

Для оценки важности, каждой из составляющих средств управления, произведем определение ее веса в общем балансе сил. Баланс сил по оси Y составлять не имеет смысла при назначении числа буксиров, поскольку средства на судне создают поперечные силы, величина которых несоизмерима с силой упора буксиров и винта. Главной задачей, при возникновении чрезвычайных ситуаций, является остановка движения судна.

Вес каждой из составляющих можно определить по формулам. Для силы упора винта:

$$B_{упрP_e} = P_e / (P_e + \sum_{i=1}^2 P_{яi} + \sum_{i=1}^n P_{xбi} + R_{вех}). \quad (29)$$

Для силы от якорного устройства:



$$B_{\text{упря}} = \sum_{i=1}^2 P_{\text{я}i} / (P_e + \sum_{i=1}^2 P_{\text{я}i} + \sum_{i=1}^n P_{\text{х}бi} + R_{\text{вех}}). \quad (30)$$

Для силы от буксиров:

$$B_{\text{упрб}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{х}бi} / (P_e + \sum_{i=1}^2 P_{\text{я}i} + \sum_{i=1}^n P_{\text{х}бi} + R_{\text{вех}}). \quad (31)$$

Для силы от внешних воздействий:

$$B_{\text{упрвв}} = R_{\text{вех}} / (P_e + \sum_{i=1}^2 P_{\text{я}i} + \sum_{i=1}^n P_{\text{х}бi} + R_{\text{вех}}). \quad (32)$$

Для безаварийного управления при отказе главного двигателя сила от буксиров и якорного устройства должна остановить движение судна при существующей скорости. При отсутствии внешних воздействий необходимую силу можно определить из условия:

$$\sum_{i=1}^2 P_{\text{я}i} + \sum_{i=1}^n P_{\text{х}бi} \geq kV_x^2. \quad (33)$$

Зная держащую силу якоря судна можно определить необходимую суммарную мощность буксиров, которая необходима для безаварийного маневрирования:

$$\sum_{i=1}^n P_{\text{х}бi} \geq kV_x^2 - \sum_{i=1}^2 P_{\text{я}i}. \quad (34)$$

Первым шагом при создании модели безопасного маневрирования произведем ее вербально - информационное описание. Оно включает выполнение следующих действий: описание внешней среды параметрами, которые позволяют количественно оценить ее влияние на функционирование системы; установление связей системы с внешней средой; описание элементного состава системы и ее подсистем, а также иерархической структуры; установление функциональных прямых, обратных и локальных связей между элементами и объектом управления.

Это описание является начальной моделью системы управления процессом маневрирования. Несмотря на то, что вербальное описание является неполным, оно позволяет принимать достаточно эффективные решения по синтезу структуры и выбору функциональных связей.

Анализ управляющих сил, произведенный по формулам (29)-(32) показывает, что наибольший вес имеет сила от винта. По этой причине обеспечение гарантированной безопасности маневрирования может быть произведено путем компенсации полностью силы упора винта буксирным обеспечением.

В этой связи предлагается использовать следующий алгоритм выбора суммарной буксирной мощности по нормированию скорости движения судна при выполнении морских операций.

1. Рассчитывают площадь смоченной поверхности:

$$\Omega = D^{2/3} \cdot (4.854 + 0.492 \cdot B / T_{\text{cp}}), \text{ м}^2, \quad (35)$$

где  $D$  – водоизмещение, т;  $B$  – ширина судна, м;  $T_{\text{cp}}$  – средняя осадка, м.

2. Рассчитывают коэффициент сопротивления  $K$

$$K = 5880 + 0654 \cdot \Omega \cdot \sqrt{B / T_{\text{cp}}}. \quad (36)$$

3. Определяют силу гидродинамического сопротивления  $kV_x^2$ .

По величине силы сопротивления определяют суммарную мощность буксиров, которые необходимы для остановки движения судна и обеспечения маневрирования.

В качестве примера произведем расчет силы сопротивления для контейнеровоза с параметрами: длина между перпендикулярами  $L_{\perp\perp} = 284 \text{ м}$ ;  $B = 32,2 \text{ м}$ ;  $T_{\text{cp}} = 13,5 \text{ м}$ ;  $D = 85253 \text{ т}$ . Результаты расчета  $kV_x^2$  сведем для контейнеровоза в табл. 2., а для газовоза в табл. 3.

Для контейнеровоза по формуле (35) определим  $\Omega = 11676 \text{ м}^2$ , по формуле (36)  $K = 17673 \text{ кГ/м}$ .

Таблица 2 – Силы гидродинамического сопротивления, действующие на контейнеровоз

Скорость, уз	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$kV_x^2$ , кН	4,7	18,7	42,1	94,8	116,9	168,4	229,2	299,4	378,9	467,7

Для газовоза сила гидродинамического сопротивления с параметрами: длина между перпендикулярами  $L_{\perp\perp} = 222 \text{ м}$ ;  $B = 35,8 \text{ м}$ ;  $T_{cp} = 12,2 \text{ м}$  в грузу и  $D = 785003 \text{ т}$ ;  $T_{cp} = 8,47 \text{ м}$  в балласте и  $D = 55500 \text{ т}$ , затем по формуле (35) определим  $\Omega = 11526 \text{ м}^2$  в грузу и  $\Omega = 9955 \text{ м}^2$  в балласте, по формуле (36)  $K = 22998 \text{ кГ/м}$  в грузу и  $K = 23231 \text{ кГ/м}$  в балласте.

Таблица 2 – Силы гидродинамического сопротивления, действующие на газовоз

Скорость, уз	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$kV_x^2$ , кН, в грузу	6	24,3	54,8	97,4	152,2	219,1	298,3	389,5	566,5	608,6
$kV_x^2$ , кН, в балласте	6,3	24,6	55,4	98,4	153,7	221,2	301,3	393,5	572,2	614,9

Однако только указанных данных недостаточно для обоснования количества выбранных буксиров. Необходимо знание силы упора винта при работе на задний ход и величину тормозного пути и времени, за которое судно будет остановлено.

Для газовоза были выполнены такие расчеты по формуле (6), а результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Сила упора винта, тормозной путь и время для скорости ПСМ для газовоза

В грузу ПСМ $V = 5,3 \text{ уз}$			Режим заднего хода	В балласте, ПСМ $V = 5,5 \text{ уз}$		
$S$ , кВт	$t$ , мин	$P_{max}$ , кН		$P_{max}$ , кН	$S$ , кВт	$t$ , мин
2,5	4,2	1782	ЗП (90 об/мин)	1417	2,5	4,0
4,3	7,7	843	ЗС (63 об/мин)	694	3,7	6,6
6,3	12,2	446	ЗМ (45 об/мин)	354	5,3	10,3
10,7	24,0	160	ЗСМ (27 об/мин)	128	8,8	20,2

Кроме указанных сил необходимо учитывать влияние ветра. Для газовоза, при скорости ветра 60 узлов, продольная составляющая равна 37 тонн в грузу и 52 тонны в балласте, а поперечная 72 тонны в грузу и 210 тонн в балласте. По этой причине швартовку в порту ограничивают по силе ветра до 10-12 м/с. При выборе количества буксиров для швартовки в условиях ветра необходимо иметь дополнительно один страховочный буксир.

Таким образом, для безопасной швартовки газовоза необходимо три буксира с тягой на гаке по 50 тонн. Если такого буксирного обеспечения нет, то необходимо ограничивать скорость судна, организовать движение буксировкой на операционной акватории порта со скоростью менее 5 узлов.

При этом необходимо обеспечить подачу швартовных концов на буксиры заблаговременно, до захода в порт. Если этого не сделать, то присутствие буксиров у борта судна будет бесполезным, поскольку при отказе главного двигателя они не смогут помочь остановить его движение.

**Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению.** Анализ аварийности при швартовках в порту показал, что основной причиной происшествия являются отсутствие поданных на буксиры швартовных концов. Они происходят из-за недостаточного контроля лоцманом или капитаном надлежащей организации управления работой буксиров.

Предлагаемый способ выбора количества буксиров по максимальной силе упора винта судна, позволяет говорить о создании адекватных резервных управляющих сил, которые создают предпосылки для гарантированной безопасности при маневрировании. Если упора винта недостаточно, то можно использовать якоря, держащая сила которых позволит сократить тормозной пути и время остановки движения, что в условиях ограниченных размеров операционной акватории имеет первостепенное значение. Однако для его использования необходимо выполнять предварительные расчеты.

Отсутствие данных в виде, готовом для принятия решения, и преобладание декларативных сведений о параметрах состояния объекта управления вынуждает оператора выполнять процедуру их обработки непосредственно во время управления. Смысловые алгоритмы таких действий разработаны недостаточно, что приводит к неуверенным действиям и создает предпосылки возникновения аварийных происшествий.

Полученные результаты могут быть использованы в морских учебных заведениях, на курсах повышения квалификации судоводителей и при организации лоцманской проводки судов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонтьев В. А. Формирование профессиональных навыков судоводителей / В. А. Леонтьев. – М. : Транспорт, 1987. – 224 с.
2. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал – Одесса : Латстар, 2002. – 310 с.
3. 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.
4. Мальцев А. С. Динамика психофизиологических функций у курсантов и судоводителей при решении задач судовождения на радиолокационном тренажере / А. С. Мальцев, В. В. Голикова // Актуальные проблемы транспортной медицины : сб. научн. трудов / УкрНИИ медицины транспорта. Вып. 1 (7). – Одесса, 2007. – С. 20-26 .
5. Henk Hensen. Tug use in port. – London : Nautical Institute, 1997. – 174 p.
6. Мацевич Л. М. Охрана здоровья моряков / Л. М. Мацевич – М. : Транспорт, 1986. – 200 с.
7. Зеленин М. П. Эргономика на морском транспорте / М. П. Зеленин – Одесса : БАНТО, 1999. – 382 с.

#### **Голиков В.В., Мамонтов В.В. ВИБІР КОРЕКТУЮЧИХ ДІЙ ПРИ АВАРІЙНОМУ УПРАВЛІННІ СУДНОМ**

*У статті розглянуті процеси маневрування, моделі і алгоритми управління командою містка при відмові засобів управління рухом. Розділені сили які діють на судно та на зовнішні фактори, які впливають на процес маневрування при звичайному та аварійному управлінні судна в результаті чого запропоновано спосіб вибору кількості буксирів по максимальній силі упору гвинта судна.*

*Ключеві слова: судно, моменти, алгоритм, буксир.*

#### **Golikov V.V., Mamontov V.V. SELECTING THE CORRECTIVE ACTION ACCIDENTAL SHIP CONTROL**

*In this article describes models how to manoeuvre and algorithms for the management team in case of failure of the bridge motion control. Separated by forces acting on the vessel and the external factors influencing the process of manoeuvring in normal and abnormal control of the vessel we get like a result method for selecting the number of tugs on the maximum force stop screw vessel.*

*Keywords: ship, moments, algorithm, tug.*