

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ОДЕССКАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ»

На правах рукописи

КОСТЕНКО ПАВЕЛ АНАТОЛЬЕВИЧ



УДК 656.61.052.484

БЕЗОПАСНАЯ БУКСИРОВКА СУДОВ НА КОРОТКИХ БУКСИРАХ

Специальность 05.22.13 – навигация и управление движением

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник, доцент
Голиков Владимир Владимирович

ОДЕССА – 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ БУКСИРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СУДОВ И ОБЪЕКТОВ.....	13
1.1. Особенности морской буксировки объектов.	14
1.2. Особенности буксировок в портовых водах	25
1.3. Особенности буксировки судов и объектов по внутренним водным путям Украины.....	28
1.4. Особенности буксировки судов в ледовых условиях.....	30
1.5. Выводы к главе 1	34
ГЛАВА 2. ВЫБОР ТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	36
2.1. Выбор темы исследования методом экспертного оценивания.	37
2.2. Цель и задачи научного исследования.....	41
2.3. Технология научного исследования.....	53
2.4. Выводы к главе 2.....	58
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ БУКСИРНОЙ СИСТЕМЫ.....	60
3.1. Анализ влияния собственных волн буксировщика на движение буксируемого объекта.	64
3.1.1. Постановка задачи исследования процесса воздействия кормовых волн буксировщика на буксируемое судно.....	65
3.1.2. Анализ процесса генерации собственной кормовой системы волн буксировщика.....	68
3.1.3. Исследование процесса воздействия волн на объект буксировки.....	70

3.1.4. Условия безопасного управления скоростным режимом буксирной системы, находящейся под действием корабельных волн.....	73
3.2. Анализ последствий рывка в буксирной системе.....	75
3.2.1. Исследование процесса движения буксируемого объекта в режиме «одерживания».....	87
3.2.2. Установление устойчивого скоростного режима движения буксирной системы на коротком буксире.....	91
3.3. Выводы к главе 3.....	93
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ БУКСИРОВКОЙ АВАРИЙНОГО СУДНА В ЛЕДОВОМ КАРАВАНЕ.....	96
4.1. Постановка задачи исследования процесса буксировки судна с поврежденным корпусом в ледовом караване методом толкания.....	96
4.2. Первичная структуризация анализируемой системы путем формирования ледового каравана в порту Мариуполь.....	99
4.3. Аналитическое описание характеристик судов ледового класса по данным натурных испытаний, математическое моделирование процесса буксировки по типу тандем и математическая модель процесса заполнения емкости.....	103
4.4. Анализ аварийного морского происшествия с т/х «Сергій Скадовський» и его буксировкой к месту посадки на мель.....	106
4.5. Установление и определение «сильных» компенсаторных воздействий логического и эвристического характера для сохранения запаса плавучести аварийного судна.....	112
4.6. Выводы к главе 4.....	114
ГЛАВА 5. СИНТЕЗ БУКСИРНОЙ ОПЕРАЦИИ ПО ЛИКВИДАЦИИ ИНЦИДЕНТА.....	117

5.1. Постановка задачи остановки свободного дрейфа плавдока.	118
5.2. Математическое моделирование процесса дрейфа плавдока №4.....	122
5.3. Математическое моделирование процесса активного торможения дрейфующего плавдока.	128
5.4. Определение эффективности проведения буксирных операций.	130
5.5. Выводы к главе 5.....	133
ВЫВОДЫ	136
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	138
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ ЛЕДОВЫХ КАРАВАНОВ	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ХАРАКТЕР ВЛИЯНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЛЕДОВЫЙ КАРАВАН В АЗОВСКОМ МОРЕ	152
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ТРЕБОВАНИЯ К БУКСИРОВКЕ СУДОВ ВО ЛЬДАХ, ВКЛЮЧАЯ АВАРИЙНУЮ ОКОЛКУ	159
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЛЕДОПРОХОДИМОСТИ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЛЕДОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ ЛЕДОВОГО КЛАССА.....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СУДОВ ВО ЛЬДАХ ПРИ БУКСИРОВКАХ	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ.....	185

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы связана с управлением буксирными системами, выявлением и установлением закономерностей перехода ее элементов от одного из устойчивых ситуационных состояний в аварийное под воздействием негативных явлений и возвращения системы в устойчивое состояние путем адекватных регулирующих воздействий.

Такие аварийные обстоятельства возникают из-за разновидности буксирных операций в портовых водах и на подходах к ним, нештатностью навигационной обстановки и скоротечностью аварийного морского события (АМС) или инцидента. Малоизученность процессов взаимодействия судов при буксировках вызвана: спецификой морских и океанских буксировок, их сравнительной немногочисленностью и отсутствием результатов анализа опыта переходов; кратковременностью и многочисленностью буксировок в портовых водах; доминирующей ролью капитана судна в условиях непрерывного сопровождения процесса буксировки службами радиолокационного наблюдения; отсутствием четких указаний в системе управления безопасностью (СУБ) относительно контроля обязательного наличия схем буксировки в СУБе судна; отсутствием системы специальной подготовки судоводителей для судов портофлота.

Несмотря на имеющийся место кризис в торговом флоте Украины, роль буксирных операций остается актуальной из-за мелководья водных путей, узкости фарватеров, каналов и портовых акваторий, а также всесезонья выше 44° СШ, что требует лоцманской проводки. Имеющие место результаты исследований Ю.И. Бурименка, А.С. Мальцева, В.И. Снопкова, Я.И. Войткунского, В.В. Голикова, В.Д. Репетея, Ю.Б. Попова и К.Л. Обертюра, отображающие состояние аварийности и проблемы буксировок в территориальном море Украины, являются подтверждением необходимости обеспечения безопасности буксировок на коротких буксирах.

Связь работы с научными программами, темами осуществляется на уровне Концепции непрерывной национальной транспортной политики развития всех видов транспорта Украины на 2007-2014 гг. (приказ Минтрансвязи Украины от 03.05.2007 г., №360), Транспортной стратегии Украины на период до 2020 года (осн. КМУ от 20.10.2010 г., №2174-р), а также фундаментальной госбюджетной НИР «Теоретические основы гарантированной безопасности судоходства в территориальном море, внутренних водах и портах Украины» (2010-2012), ДР №0110U00280 и ряда хоздоговорных НИР, где автор подготовил отдельные подразделы.

Целью исследования стало получение новых знаний по сохранению буксирных систем путем управления в «большом» по состоянию, гарантирующему их безопасность методом экспертного оценивания.

Научная гипотеза исследования заключается в предположении о том, что детерминация процессов управления ситуациями в буксирной системе, понимание степени воздействия негативных явлений на систему, способность и готовность капитана лидирующего судна к принятию, адекватных компенсирующих действий и синергизм в работе операторов-судоводителей обеспечит гарантированную безопасность буксировки на коротких буксирах.

Главной задачей исследования является установление закономерностей группового управления буксировкой по обеспечению устойчивости ее элементов, когда один из них неожиданно превращается в угрожающее для окружающей среды негативное явление.

Для решения главной задачи необходимы результаты решения следующих вспомогательных задач, которые отвечают требованиям системного анализа и находятся на более низком, относительно главной задачи, уровне:

- анализ влияния собственных кормовых поперечных волн буксировщика на мореходность буксируемого объекта при скоростном режиме движения системы;

- анализ последствий рывка в буксирной системе и опрокидывание буксировщика;
- анализ эффективности буксировки аварийного судна при ледовой проводке каравана судов.

Каждая из разрешимых задачи проходит следующие этапы исследования:

- выбор методической базы для проведения научно-технической экспертизы АМС и инцидентов для построения хронологии события или инцидентов;
- получение информации о характере внезапного воздействия негативного явления на исследуемый объект;
- анализ процесса генерации и накопления энергии, а также массы источником негативного явления;
- исследование процесса воздействия негативного явления на объект буксировки или сам буксировщик;
- исследование процесса компенсации и/или уклонения от воздействия негативного явления;
- установление устойчивого режима движения буксирной системы.

Объектом исследования стала оперирующая буксирная система.

Предметом исследования – процессы буксировки судов на коротких буксирах.

Методы исследования:

- дедукции при осуществлении информационного поиска;
- экспертного оценивания при: выборе темы исследования и установлении причин АМС и инцидентов с буксирной системой;
- графоаналитический при установлении характерных свойств, связей и отношений в буксирной системе;
- математического моделирования переходных процессов в буксирной системе при исследовании негативных явлений:

резонанса, рывка, свободного дрейфа и потери плавучести объектом буксирной системы;

- имитационного моделирования при исследовании влияния продольной качки на заливаемость объекта буксировки с использованием стандартного программного вычисляемого комплекса «Flow Vision» и установлении характеристик винторулевых колонок (ВРК) для работы судна в режиме «одерживания» с помощью навигационного тренажера с визуализацией компании ООО «Транзас Украина» «Navi-Trainer Professional 5000 Pro»;
- наименьших квадратов для описания эмпирических зависимостей по результатам обработки статистических данных;
- минимаксу при принятии решений о противоаварийном управлении;
- иерархии при организации группового управления буксирной системой.

Научным положением исследования безопасности буксирной системы является наличие необходимых и достаточных условий компенсационных влияний на ее элементы во время воздействия внешних и внутренних возмущений скачкообразного разрушительного характера. Необходимые условия устанавливают режим хода, определяя интенсивность и амплитуду влияния по физическим признакам разрушительного переходного процесса, который в динамике, согласно законов Архимеда и Ньютона, представляет разгонную характеристику апериодического звена цепи I-го порядка. Достаточные условия определяют состояние мореходности элемента движения по принципу минимакса с логическими и эвристическими признаками, которые отображают структуру, методы и способы управления буксировкой.

Основными научными результатами, полученными впервые, стали следующие установленные факты:

- эффективность буксирной операции прекращения дрейфа не управляемого крупнотоннажного объекта по ограниченной акватории порта оценивается по минимуму бюджета времени на его: обнаружение и идентификацию (40%), принятие решения и подготовку к активному торможению (50%), остановку объекта (10%), который достигается групповым управлением штаба аварийно-спасательных операций порта, для сопровождения объекта и мобилизации буксирного обеспечения по минимизации постоянной времени процесса активного торможения буксиром, с тяговым усилием более чем в 1,5 раза превышающем инерционные силы дрейфа объекта;
- безопасная буксировка аварийного судна, которое получило механические повреждения корпуса в ледовом караване, осуществляется со скоростью $2\div 5$ узлов методом толкания при минимуме ледового сопротивления на дистанции от места аварии к месту посадки аварийного объекта на мель, которое обеспечивается следованием за ледоколом и непрерывной околкой и запасе плавучести не менее 4,5;
- при внезапной остановке буксировщика более чем на 30 секунд безопасность буксирной системы с коротким буксиром требует немедленной его отдачи в местах крепления;
- безопасность объекта буксировки гарантирована при: скоростном режиме буксировки $V_c < 2\sqrt{L_{\text{oc}}}$, где L_{oc} – длина объекта буксировки; в диапазоне $2\sqrt{L_{\text{oc}}} < V_c \leq 2,77\sqrt{L_{\text{oc}}}$ наблюдается резонанс продольной качки объекта с интенсивным заливанием главной палубы, что не гарантирует безопасность, а при $V_c > 2,77\sqrt{L_{\text{oc}}}$ безопасность объекта обеспечивается при наличии подъемной силы, которая создается при работе его гидропульсивного комплекса в режиме максимального ПХЗ, руль «ПРЯМО», что обеспечивает максимальные кормовой дифферент и угол атаки.

Получил дальнейшее развитие ситуационный подход к обеспечению гарантированной безопасности судов при воздействии негативных явлений скачкообразного характера.

Усовершенствованы методики: экспертного оценивания АМС и инцидентов с буксирными системами в части использования сценарного метода организации группового управления безопасностью; определения характеристик льдопроходимости судов ледового класса по результатам натурных испытаний с использованием расчетных схем; определения ходовой характеристики, характеристик маневров и управляемости судна с винта-рулевыми колонками (ВРК).

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что установленные закономерности противоаварийного компенсационного управления буксирными системами, математические модели переходных процессов от штатных (устойчивых) ситуаций к чрезвычайным и аварийным и, наоборот, а также технология управления курсом является научно-методической основой для решения задач безопасности буксировок при проектировании информационных программных продуктов и систем управления с использованием позитивного опыта морской практики в виде базы знаний для СУБ судна и «Информации об остойчивости капитану».

Практическая направленность работы подтверждается следующими документами о внедрении ее результатов в:

- НУ «ОМА» (ОНМА):
 - госбюджетную НИР ДРН[№]01110U00280 - методика экспертного оценивания АМС и инцидентов, показатели эффективности буксирных операций при генерации альтернатив и принятии решений;
 - хоздоговорные НИР - сбор и обработка информации по АМП и инциденту, хронология их развития, закономерности безопасных технологий управления (акт о внедрении от «17» мая 2016 г.);

- учебный процесс кафедры управления судном – методические указания, рекомендации, практические занятия и дипломные работы (акт о внедрении от «17» мая 2016 г.)
- Филиал «Дельта-лоцман» ГП «Администрация морских портов Украины» Министерства инфраструктуры Украины – технологии безопасных буксировок при лоцманской проводке судов (акт о внедрении от «5» апреля 2015 г.);
- т/х «Irenes Sythesis», т/х «Delfbord», т/х «Koningsborg» – в СУБ судна – методика определения льодопробности для способности работы во льдах, схемы буксировки судов, методика определения тормозных и маневренных характеристик (акты о внедрении «28» марта в 2015 г., «10» октября в 2015 г. и «20» января в 2016 г.);
- патент на полезную модель (U201409417) «Система компенсационного автоматического управления курсом судна».

Личный вклад соискателя в получении новых результатов.

Диссертация является самостоятельно подготовленным научно-прикладным исследованием, в котором соискатель осуществил: информационный поиск по проблеме буксировки судов, выбор темы и постановку задач, изучил методы и способы их решения, доказал и подтвердил новые научные результаты и внедрил их в производство, учебный и научный процессы.

В совместных публикациях результатов работы автору принадлежат [62] – хронология движения т/х «С. Скадовський» в ледовом караване, технология управления буксировкой; [28] – околка судов во льдах; [30] – расчетная модель и программа испытаний для определения ледовых характеристик судна; [31] – имитационное моделирование и обработка результатов; [62] – хроника АМС, характеристика движения буксира при рывке, рекомендации по безопасности буксировки; [32] – расчетные модели резонанса качки и заливания палубы буксира, рекомендации по стабилизации движения; [66] – принцип компенсации «сильных» возмущений от ветра и волнения; [26] – организация ледового плавания; [27] – карго-план и особенности загрузки судна при

плавании во льдах; [22] – анализ проекта ледокола; [25] – схема парного движения судов; [29] – характеристики «одерживания» судна с ВРК. Публикации [43, 45, 42, 44] соискателем подготовлены самостоятельно.

Апробация результатов диссертации осуществлена путем одобрения докладов после их обсуждений на 5 конференциях: международной научно-технической конференции «Энергетика судов: эксплуатация и ремонт» (4 – 7.04.2011, г. Одесса); научно-методических конференциях ОНМА: «Современные проблемы повышения безопасности судоходства» (7 – 8.10.2009, г. Одесса), «Обеспечение безаварийного плавания судов» (16 – 17.11.2011, г. Одесса), «Судоходство: перевозка, технические средства, безопасность» (14 – 15.11.2012, г. Одесса), «Судоходство: перевозка, технические средства, безопасность» (19 – 20.11.2013, г. Одесса).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных трудов, из них: 1 опубликована в иностранном наукометрическом журнале, 8 – в научных изданиях, которые входят в перечень научных специальных изданий Украины рекомендованных Министерством образования и науки Украины для публикации результатов диссертационных работ на получение ученых степеней доктора и кандидата наук, сборниках материалов научных конференций - 6 тезисов докладов, получен 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка используемых источников и приложений. Общий объем диссертации составляет 192 страницы, в том числе 135 страницы основного текста, рисунков на 18 страницах, таблиц на 7 страницах, списка литературы из 85 наименований на 10 страницах, 6 приложений на 31 странице.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ БУКСИРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СУДОВ И ОБЪЕКТОВ

21-е столетие ознаменовано ростом тоннажности и скорости судов, что обострило проблему их буксирного обеспечения в портах Украины из-за несоответствия размеров акваторий большим размерениям крупнотоннажных судов и мощности буксиров. Это создает угрозу безаварийному движению торгового флота в зонах припортовых акваторий.

В отличие от транспортных судов буксиры более маневренны, управляемы, энерговооружены, с разнообразными тактико-техническими данными для выполнения буксировочных операций по: безаварийному маневрированию крупнотоннажного судна на стесненной акватории; буксировке плавобъектов открытым морем; движению в ордере по каналу, в узкости, мелководье или во льдах, а также кантовке объектов, особенно при осуществлении ими швартовно/отшвартовных операций.

Буксиры разделяются на: линейные – для операций в открытом море; портовые – для операций в портовых водах, каналах, узкостях, кантовочных и швартовных операций; буксиры-толкачи – для проводок по рекам и внутренним водным путям; буксиры спецназначения: для аварийно-спасательных операций, снабженцы, при ледокольных проводках для обкалывания застрявших судов, лоцманского обслуживания и др [10].

Существует три основных способа буксировки: в кильватер – на буксирном тросе; борт о борт – лагом и толканием. Буксировку лагом применяют в основном при портовых операциях, а буксировки толканием – исключительно на реках и озерах.

Буксировка – сложный и ответственный процесс, требующий большого практического опыта и внимания со стороны капитанов буксирующего и буксируемого судов [61]. Наука буксировочных операций многогранна. Кадровая политика на водном транспорте направлена на подготовку

специалистов для океанских переходов, а не экипажей судов портофлота, где ведущим направлением всегда были буксировщики. Поэтому в хронологий аварий и аварийных происшествий часто содержатся просчеты при швартовных операциях и недомыслие при буксировках и сопровождении судов [15, 36].

Количество необходимых буксиров для портовых работ определяется в результате анализа трех показателей: количеством буксиров в схемах ордеров, обеспечивающих маневрирование расчетных судов в порту (вход-выход, раскантовка, швартовка); нормативного буксирного обеспечения по тяге с учетом водоизмещения расчетных судов, скорости маневровых операций и допустимых гидрометеоусловий; месячного бюджета рабочего времени буксиров.

При планировании разнообразных схем буксировочных операций и тактики применения буксиров, особое внимание уделяется типу движителей: создающих максимальную тягу на максимальных оборотах или без изменения режима работы главного двигателя, дающих возможность буксиру выполнять буксировку без подачи концов на буксируемое судно, а также работать на мелководье и засоренных участках акваторий с защищенными механизмами тяги.

Из-за больших размерений судов при малых размерах акваторий требуются специальные схемы их буксировок на пониженных скоростях с увеличенным количеством буксиров [11].

Ввиду разнообразия типов буксиров и проводимых ими операций рассмотрим проблемные моменты каждой из них, используя философский метод схождения от общего к личному через частное, разделив буксировки на морские, портовые, внутренние и ледовые.

1.1. Особенности морской буксировки объектов.

Основными условиями безопасной морской буксировки являются [63]:

- выбор буксирующего судна по мощности, мореходным качествам и опытным экипажем;
- выбор длины и диаметра буксирного троса;
- разработка надежного крепления буксирной линии на буксировщике и буксируемом объекте;
- безотказная работа рулевого, буксирного, якорного и спасательного устройств, систем пожаротушения и водоотлива судов;
- четкая организация навигационной, гидрометеорологической, общесудовой службы и связи на судах каравана;
- постоянное наблюдение за состоянием и креплением деталей буксирного устройства в период буксировки.

Перед буксировкой составляется план перехода, который должен соответствовать требованиям, изложенным в Руководстве по планированию рейса (резолюция ИМО А.893(21)), согласовывается с Морским спасательно-координационным центром и утверждается судовладельцем.

Морская буксировка включает три этапа: подготовка буксируемой системы к буксировке; подача буксирного троса и его крепление в буксирную линию; управление буксирным караваном.

На первом этапе капитанам судов при составлении грузовых планов и в процессе их реализации настоятельно рекомендуется обеспечить: одинаковые метацентрические высоты для обоих судов; не иметь крена; обеспечить объекту буксировки дифферент на корму в $0,6 \div 0,8$ м; наиболее тяжелые грузы размещать в средних трюмах, располагая их по длине трюма; после окончания грузовых операций следует обеспечить полную герметизацию грузовых трюмов и помещений [61].

При выборе буксирного троса по методу академика А.Н. Крылова особое внимание уделяется его длине и диаметру, согласно которому длина буксирного троса должна быть кратной длине волны между судами и зависеть от водоизмещения буксируемого объекта, а диаметр троса определяется

величиной мощности буксира и скоростью буксировки, колеблющейся в пределах $3 \div 7$ узлов.

В качестве концептуального подхода использован третий закон Ньютона. При этом сила на гаке буксира ($F_{зб}$) должна быть больше либо равна полному сопротивлению движению каравана:

$$F_{зб} \geq (6 \div 10) \sum_1^5 R_i, \quad (1.1)$$

где R_1, R_2 – гидро и аэродинамическое сопротивление движению буксируемого объекта, кН; R_3 – сопротивление троса при движении в воде, кН; R_4, R_5 – гидро и аэродинамическое сопротивление движению буксировщика, кН.

Известно, что динамическое сопротивление твердого тела является функцией квадрата скорости движения, т.е. $R_i = f(v_o^2)$, где v_o – скорость буксировки (м/с), а мощность буксира кубически зависит от нее, т.е. $N_o = f(v_o^3)$, поэтому для выполнения неравенства (1.1) требуется подбор именно этого аргумента.

Длина и диаметр буксирного троса определяются из функции R_3 :

$$R_3 = 0,72 \rho_w l_m d_m \Delta v_o^2, \quad (1.2)$$

где ρ_w – плотность воды, т/м³; l_m, d_m – длина и диаметр троса, м; Δ – коэффициент, учитывающий провисание троса относительно линии горизонта, аналогичен отношению длины пути к перемещению, отн. ед..

Эмпирический коэффициент Δ нелинейно зависит от угла наклона троса к горизонту (α_o , град):

$$\Delta = \begin{cases} 0,003\alpha_o & \text{при } \alpha_o < 10, \\ 0,0046\alpha_o - 0,016 & \text{при } 10 \leq \alpha_o < 20; \\ 0,0097\alpha_o - 0,118 & \text{при } 20 \leq \alpha_o < 30; \\ 0,0136\alpha_o - 0,235 & \text{при } 30 \leq \alpha_o < 40; \\ 0,0183\alpha_o - 0,423 & \text{при } 40 \leq \alpha_o < 50. \end{cases} \quad (1.3)$$

Если принять $d_m = 0,04$, то формула (1.2) значительно упрощается. Коэффициент $(6 \div 10)$ перед знаком Σ в формуле (1.1) означает запас прочности троса при колебательных процессах в нем во время волнения и неравномерности скорости движения в буксирной системе (рывках). Стрелка провеса буксирной линии после геометрических построений определяется тригонометрическим выражением, аналогичным величине компонент вектора.

Динамические нагрузки на буксирную линию детально проанализированы Ю.А. Шамариным с соавторами в [73], где изучаются вопросы колебательности и упругости буксирной линии с учетом инерционности объектов буксирной системы и погодных условий.

В практике морских буксировок особое место отводится рывкам буксирного троса вызванными: неравномерной работой пропульсивного комплекса буксировщика, рысканиями буксируемого судна, резком повороте буксировщика, страгиванием каравана, внезапно налетевшим шквалом, которые следует сводить до минимума при осуществлении перехода. Чрезмерные натяжения буксирного троса наблюдаются при плавании против волны, по волне и под углом к волне. Они вызваны орбитальным движением частиц воды у поверхности моря до значительных глубин, в следствие чего буксировка становится неравномерной из-за сближения и отдаления судов буксирной системы. Орбитальное движение водяных масс детально рассматривается теорией корабля в разделе «Качка судов» на нерегулярном волнении. Ссылаясь на исследования А.Н. Крылова, В.Д. Репетей [61] утверждает, что максимальное усилие, возникающее в буксирном тросе, составляет 17% от водоизмещения судна. Поэтому при морской буксировке длина буксирной линии должна обеспечить колебание расстояния между судами не более чем на величину высоты волны, что не позволит возникающим напряжениям в буксирном тросе превысить его прочность.

Всвязи с этим регулирование расстояния между судами буксирной системы осуществляется за счет: упругих деформаций буксирного троса; распрямлением цепной линии, по которой располагается буксирный трос при

буксировке; комбинацией из двух предыдущих вариантов; увеличения длины буксирного троса с помощью автоматической буксирной лебедки [5].

Чем легче и прочнее трос, тем меньше стрелка его прогиба и длина, приближающаяся к кратчайшему расстоянию между судами, поддерживаемая автоматической лебедкой в зависимости от максимальной величины упора движителей буксировщика. В противном случае выбирается иной способ буксировки, например, путем изменения курса или скорости движения каравана или тем и другим одновременно.

Практика морских буксировок указывает на важность подготовительного периода к буксировке в оборудованном порту, в открытом море, когда буксируется аварийное судно или необорудованном месте убежища [24]. Для двух последних ситуаций используется метод расчета буксирной линии по максимальному упору винтов буксировщика, используя данные о тяге буксира на тихой воде, с учетом дрейфа и волнения.

В открытом море расчетный метод выбора линии буксировки обусловлен максимальной прочностью троса, имеющегося на судах буксируемой системы, а не упор винтов буксировщика с учетом того, что точки крепления буксирной линии лежат на одном уровне.

Основной научной проблемой моделирования поведения буксирной линии является непостоянство не только ее длины, но и геометрических характеристик точек крепления каната [73]. Обращается также внимание на величину минимальной длины буксирной линии, которая должна составлять не менее $l_m \geq 3L_\sigma$, где L_σ – длина буксировщика (м). В противном случае продольная составляющая кильватерной струи будет оказывать существенное влияние на буксируемый объект особенно при $l_m \leq 2L_\sigma$ [67].

Расчет длины буксирной линии подробно изложен Я.И. Войткунским в справочнике по теории корабля [15]. Особенно это касается мелководья характерного для прибрежных районов Украины, когда отношение величины полудлины дистанции между судами к величине запаса воды под буксирным тросом превысит величину 0,25. Это грозит зацеплением троса за подводный

выступ или загромождающий дно предмет. Проблемой остается поддержание величины отклонения судов каравана от линии пути, которая должна быть не более высоты безопасной волны.

Проблемы в управлении буксирным караваном возникают по мере приближения его к зоне штормовых условий, которые разделяют по направлению волн [67]. Волнение с носовых румбов вынуждают снижать скорость каравана и изменять курсовой угол волнения, что уменьшает силу ударов волн в носовую часть и днище буксируемого объекта и буксировщика, снижает заливание палубы и повреждения палубных механизмов, обеспечивает равномерность работы двигателей судов, не допуская плавание буксируемого объекта при резонансной волне.

Особую опасность представляет буксировка объекта на попутном волнении из-за угрозы значительной потери остойчивости связанной с непрерывным изменением площади действующей ватерлинии ($S_{квл}$). При попутном волнении, когда скорость буксирного каравана близка к скорости волнения, наблюдаются уменьшение $S_{квл}$ в течение длительного времени, а это может стать причиной опрокидывания и гибели буксируемого объекта.

Наиболее опасным является положение буксируемого объекта на гребне волны. Буксируемый объект медленно ложится на борт и медленно выпрямляется, принимая на палубу большую массу воды. Управление таким объектом осуществляется также снижением скорости и изменением направления движения каравана, не допуская постановки объекта лагом к волне. Буксируемый объект предварительно перед переходом должен быть на ровном киле, а в шторм буксировщику следует избегать резких переключений руля.

Очень большие сложности в управлении караваном возникают при поворотах на другой курс, которые наблюдаются в виде усиления качки, зарывания судов в волну, заливания палубы, ударов о корпус, увеличения периода качки. Поворот против волны осуществляется судами за минимальный период нахождения в положении лагом к волне до подхода

очередной серии высоких волн. При развороте каравана с попутной волны на курсы против волны ход буксируемого состава не форсируется для уклонения от ударов волн в носовую часть [61].

Штормование каравана в дрейфе аналогично штормованию судна лагом, которое угрожает параметрической качкой для судов особенно объектам в грузу с малым надводным бортом или имеющим большую остойчивость. Контролируется и угроза «сложения» буксирной линии за счет её провисания на глубокой воде. На малых глубинах буксирный трос ложится на дно, выполняя роль якоря, поэтому создается опасность обрыва буксирной линии от зацепа за препятствие на грунте, а также полной потере управляемости буксировщика при разворачивании кормой к набегающей волне. Выбор способа штормования зависит от опыта капитана буксирующего судна, а весь процесс буксировки – от культуры буксировочного обеспечения перехода судов каравана [63].

Важнейшим фактором буксировки является буксировочное оборудование судов и крепление буксирной линии. Способ крепления буксирной линии на буксировщиках и буксируемых судах определяется Правилами Регистра судоходства Украины. Самым простым и надежным способом крепления на буксируемом объекте является крепление буксирного троса к двум или одной якорным цепям (рис. 1.1). При невозможности использования якорной цепи заводят брагу – строп из стального троса с огонами на концах и коушем в середине. Огоны продевают через якорные клюзы и удерживаются бревном закрепленным синтетическими найтовыми. Буксирный трос крепят к коушу. Для предохранения браги от перетирания используют маты, старую парусину. Вывешивают деревянные кранцы, устанавливают деревянные (рис. 1.2) брусочки. Отдача буксирного троса осуществляется с помощью глаголь-гака (рис. 1.3). На буксирующем судне крепление браги выполняют за прочные конструктивные элементы: рубку, комингс люка или надстройку (рис. 1.4).

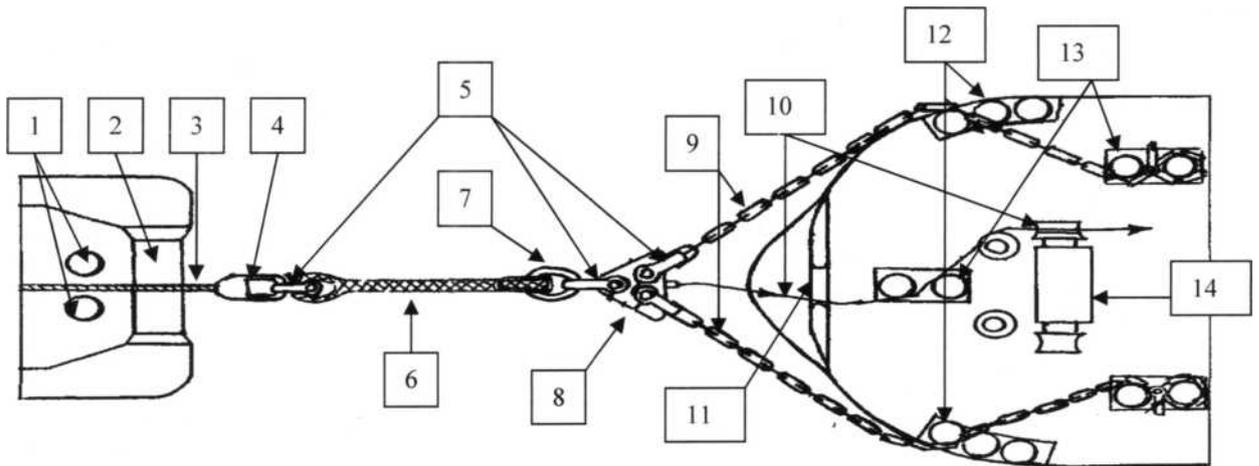


Рис. 1.1 – Схема крепления буксирной линии к цепной бране

1 – выдвижные гидравлические палы, 2 – кормовой горизонтальный буксирный роульс, 3 – основной буксирный трос, 4 – буксирная груша (closed spelter socket), 5 – буксирные скобы, 6 – синтетическая вставка/пружина, 7 – усиленное звено, 8 – буксировочная плита, 9 – ветви цепной браги, 10 – проводник/подтягивающее устройство, 11 – центральный клюз (панамский), 12 – открытые киповые планки с тремя роульсами, 13 – кнехты, 14 – брашпиль.

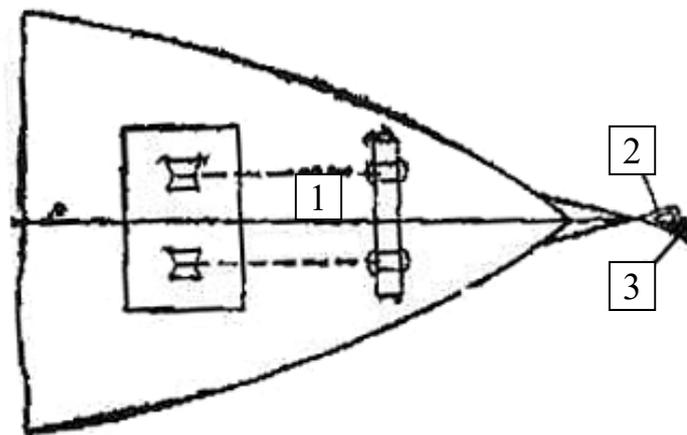


Рис. 1.2 – Крепление буксирной линии к стропу на буксируемом судне [61]
1 – бревно; 2 – коуш; 3 – буксирный трос.

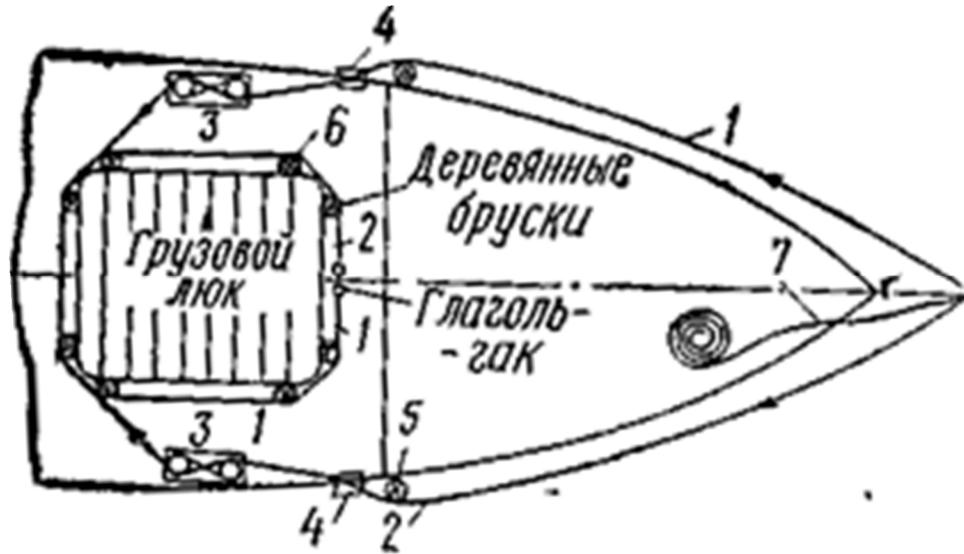


Рис. 1.3 – Брага на судне с полубаком [61]

1 – левая ветвь буксирной браги; 2 – правая ветвь буксирной браги; 3 – кнехты; 4 – клюзы; 5 – кранцы; 6 – деревянные брусья; 7 – проводник (подтягивающее устройство)

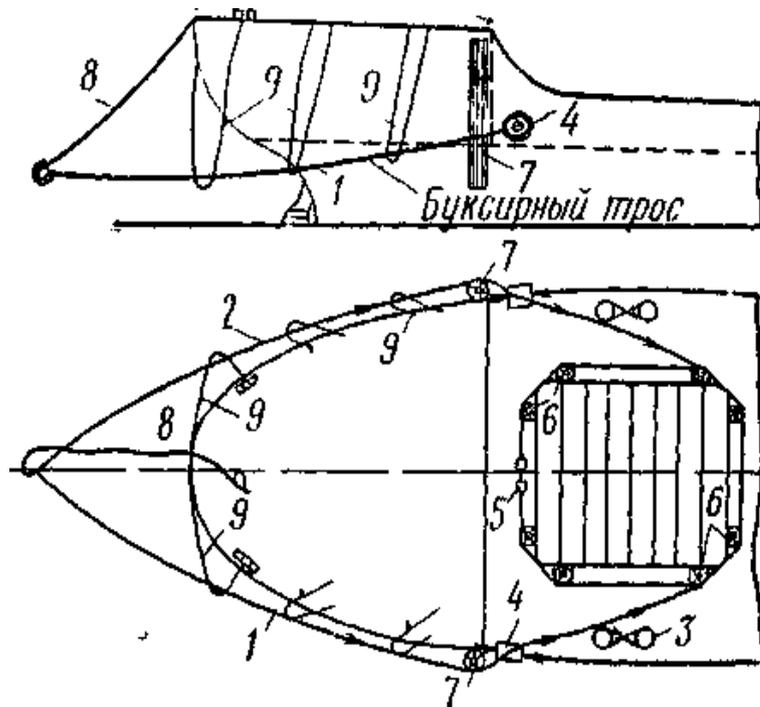


Рис. 1.4 – Брага на буксирующем судне [61]

1 – правая ветвь браги; 2 – левая ветвь браги; 3 – правый кнехт; 4 – правый клюз; 5 – глагол-гак; 6 – деревянные бруски; 7 – деревянные кранцы; 8 – оттяжка для подъема коуша; 9 – предохранительная серьга.

Для коротких переходов допускается крепление буксирного троса на носовых кнехтах буксируемого объекта. Для океанских переходов используется крепление буксирного конца за основную и дополнительную браги, которая может служить глаголь-гаком. Крепление браги осуществляется и за кормовую надстройку буксирующего судна (рис. 1.5). Особое внимание уделяется блоку Николаева (рис. 1.6), который при рыскании буксируемого объекта катается по браге, поэтому обе ветви буксирной браги постоянно натянуты, вследствие чего усилие на каждой ветви меньше усилия в буксирном тросе.

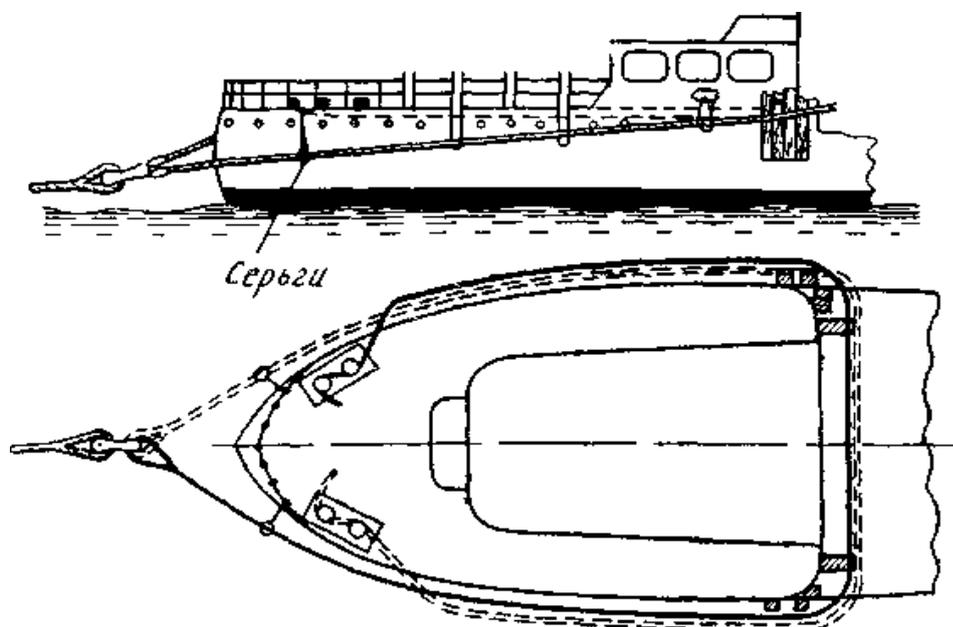


Рис. 1.5 – Крепление браги за кормовую надстройку буксирующего судна.

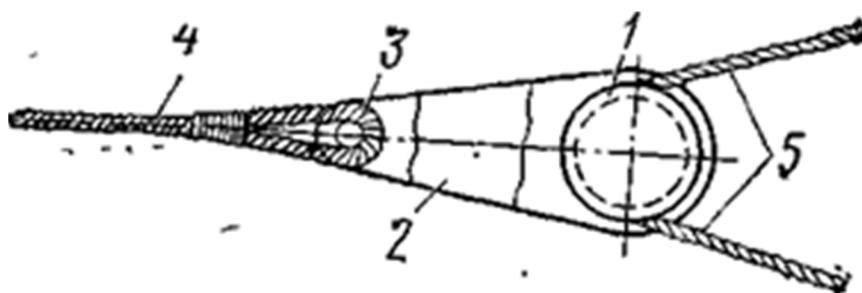


Рис. 1.6 – Блок Николаева [5].

1 – шків; 2 – щетки; 3 – болт; 4 – буксирный трос; 5 – буксирная брага.

На буксируемом объекте, где возможна отдача буксира, должен лежать инструмент, позволяющий перерубить буксирный трос или привести в действие отдающее устройство – глаголь-гак.

Буксировка каравана с длинной буксирной линией при его временной или вынужденной остановке на больших глубинах практически всегда связана с отдачей буксирного троса. При этом возникают трудности по его выбору. Однако из-за слабой мощности имеющихся подъемных средств иногда приходится жертвовать буксирной линией. Эта проблема устраняется применением автоматической буксирной лебедки [5].

Особенности морской буксировки объекта без экипажа заключаются в обеспечении его устойчивости на курсе, которое достигается: креплением буксирной линии как можно дальше вперед от центра тяжести судна, создание дифферента на корму, а для малых судов – выпусканием с кормы объекта длинного троса или нескольких смычек якорного каната; обеспечением полной герметизации наружного контура, обездвиживанием главных двигателей с винтом фиксированного шага и возможностью высадки и работы аварийной партии.

Организация морских буксировок осуществляется для успешных, адекватных действий экипажей судов каравана в неадекватных погодных условиях. Для этого на уровне морской администрации обеспечивается контроль за готовностью к буксировке со стороны: судоходных компаний – предрейсовая подготовка буксирной системы к безопасному переходу; экипажей судов – обеспечение надежности работы машин и механизмов судов каравана, внешней и внутренней связи, гармонизация безопасных действий экипажей на предстоящем переходе; капитана буксировщика – разработка плана перехода, методов, способов и приемов буксировки на всех ее этапах, отработка навыков действий экипажей в экстремальных условиях плавания. От культуры судовождения буксирной системы зависит успешность морской буксировки [2, 50, 24, 64, 67].

1.2. Особенности буксировок в портовых водах

Буксировки и буксирно-кантовочные операции в портовых водах отличает кратковременность, постоянная работа буксиров. Многообразие методов, способов и приемов управления маневрированием буксируемых и кантуемых судов, опасность навала судов друг на друга из-за короткой длины буксирной линии, достигающей до 30÷40 метров [11].

Буксировки в ордерах на подходных каналах порта связаны с обеспечением устойчивого движения объекта по линии пути на малых скоростях. В акваториях портов осуществляются маневры буксиров и объекта, которые требуют учета в уравнении (1.1) характера действия инерционных сил от судов, а также их средств управления с учетом погодных условий [61].

Проблемы начинаются с нормативного буксирного обеспечения портов, для определения которого [10, 18, 63] рекомендуют руководствоваться изданием ИМО под названием «Использование буксира в порту – Практическое руководство». Ими предложен метод определения сил, действующих на судно, швартуящегося в украинских портах. Основой метода стало численное моделирование процессов сопровождения, причаливания и отчаливания судов в условиях ветра, волнения и течения с помощью теории управляемости судов. В расчетах учтены долговременные распределения интенсивностей ветра над территориями портов и годовое распределение дедейтов всех типов судов по порту, отсутствие течений и разгонных участков ветрового течения и волнообразования.

Ими установлено, что в допустимых погодных условиях функционирования порта по швартовным операциям наиболее напряженная ситуация по силовой отдаче буксиров параллельно причалу возникает в момент расположения судна при прижимном ветре на расстоянии 40÷50 м от причала. В этот момент развивается максимальное тяговое усилие необходимое для погашения сил инерции в момент касания причала. При этом судно неуправляемо, главный двигатель остановлен, средства активного

управления малоэффективны и работа швартовных команд на судне и берегу маловероятна.

Авторами [10] также отмечено, что гарантированная безопасность финала буксирной операции достигается при суммарном тяговом усилии буксиров с 25÷50% увеличением относительно суммарного сопротивления движению судна лагом.

Предполагаются как графические зависимости определения среднего числа буксиров и их суммарной тяги от дедвейта буксируемого танкера или балкера, так и аналитические аппроксимированные нами следующими эмпирическими линейными зависимостями:

$$\sum_1^n F_{\delta(i)} = 65 + 6 \cdot 10^{-4} D_c \text{ [тс]} \quad (1.4)$$

$$\sum_1^n n_{\delta(j)} = 1,5 + 1,4 \cdot 10^{-5} D_c \text{ [ед.]} \quad (1.5)$$

Обращается внимание на завышенные расчетные показатели требуемой тяги и количества буксиров, приведенные в РД 31.31.37-78 – Нормы технологического проектирования морских портов.

Сообщается о составлении алгоритма и программы вычисления необходимого тягового усилия и выбора необходимого количества буксиров из состава буксиров портофлота для любого типа судна швартуемого при изменяющихся погодных условиях.

Расчетным способом установлена связь между суммарным тяговым усилием буксиров, наибольшей длиной судна и скоростью ветра (м/с).

Большой интерес представляют собой исследования Ю.И. Бурименко и Ю.Б. Попова [16, 11] связанные с повышением эффективности управления судами в портовых водах, которая обусловлена отсутствием научно-обоснованных рекомендаций по проводке судов, руководств и методик по подготовке и оценке компетентности судоводителей.

На основании законов Ньютона ими разработана математическая модель системы «судно – буксиры – кантовщики», отражающая механические и

гидроаэродинамические связи при всех возможных способах проведения буксирно-кантовочных операций с различными типами судов.

Для практического использования предлагаются технологические карты буксирно-кантовочных операций, включающие расчет безразмерных параметров буксиров и судна, входящих в обобщенную математическую модель «судно – буксиры – кантовщики», с помощью пакета программ выполняются предварительные технологические карты, а после перевода результатов в абсолютные величины на план порта наносятся положения судна и буксиров для различных моментов времени. В диалоговом режиме работы программ осуществляется перебор вариантов буксирно-кантовочных операций (БКО). За типовой вариант принимался тот, который наиболее удовлетворял требованиям по минимуму времени и резервам, более полного использования буксиров вместо работы главного двигателя судна и обеспечению безопасности БКО. Технологическая карта предназначена для капитанов и лоцманов – участников БКО, которые по мере необходимости осуществляют их корректировку.

В последние годы В.В. Голиков [23] усовершенствовал технологические карты за счет визуализации их на тренажерах в режиме реального времени процесса безопасной БКО с использованием электронных навигационных карт акваторий, созданием реальных погодных условий, маневренно-тормозных характеристик и размерений судов. Результаты имитационного моделирования на тренажере Transas 5000 воссоздают полный сценарий портовой проводки судов к причалам порта, воспроизводя практически все способы БКО. В настоящее время такие технологические схемы используются для организации специальных проводок, экспертизе аварий и аварийных происшествий, паспортизации гидротехнических сооружений и портов, а также организации безопасных буксировок. Такие виды БКО можно брать за эталонные для оптимизации операторской деятельности судоводителей при предварительной подготовке к рейсу, повышении квалификации и переподготовке, взяв за целевую функцию период проводки судна. Эту же

целевую функцию использовал В.Д. Репетей при разработке сценариев поисково-спасательных операций в территориальных водах Украины.

Обращают на себя внимание результаты фундаментальных работ научной школы А.С. Мальцева [50] по теории и практике маневрирования одиночных и группы судов, начиная с характеристик маневрирования, планирования поворотов, расхождения и совместного плавания, организации лоцманских проводок и заканчивая оригинальными техническими решениями в виде «Лоцманского чемоданчика», инвариантного авторулевого, инверсного способа планирования маневров и др.

Среди до конца нерешенных проблем является нелинейность времени в судовых эргатических системах, роль наблюдателя в задачах моделирования систем отсчета процессов движения судов, синергизма в организации управления экипажами [50, 52, 53, 54, 55].

1.3. Особенности буксировки судов и объектов по внутренним водным путям Украины

В закрытых и внутренних водах, когда нет достаточного места для буксировки на буксирном тросе за кормой и когда нет значительного волнения, буксировки судов осуществляются лагом или толканием. Для буксировки лагом суда обтягиваются швартовыми, чем достигается предотвращение или смягчение ударов судов друг о друга. Смягчение обеспечивается закладкой между судами протекторной защиты в виде пневматических сигарообразных кранцев, смонтированных цепями в блок по четыре баллона, установленных против шпангоутов и опирающихся на палубы или на бортовые стрингеры (рис. 1.7) [61]. Это избавляет от необходимости расчетов при формировании буксирной линии.

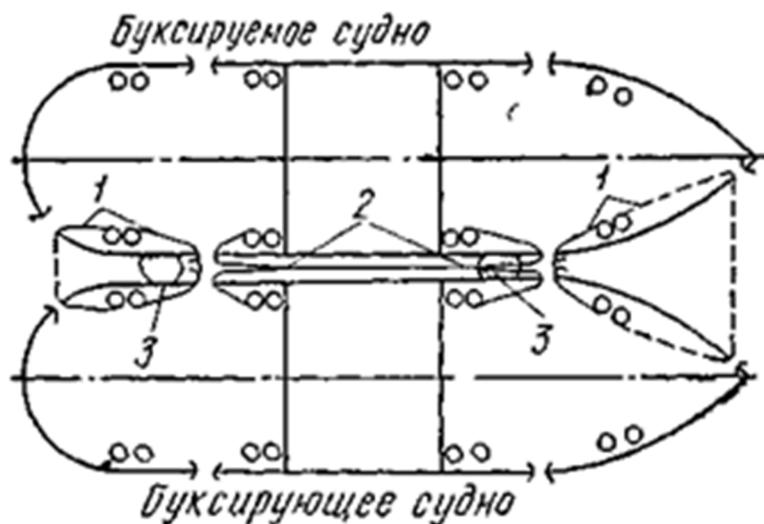


Рис. 1.7 – Буксировка борт о борт.

1 – прижимной швартов; 2 – шпринг; 3 – кранец.

Толкание состава судов (барж) осуществляется буксирами-толкачами жестко соединенными с толкаемыми объектами (рис. 1.8). Такой вид буксировки снижает сопротивление буксира-толкача из-за движения в потоке толкаемых судов и, соответственно, увеличивает его упор. В свою очередь, струя от буксира-толкача не влияет на объект буксировки, а сопротивление от буксирного троса отсутствует.



Рис. 1.8 – Режим толкания жестко соединенных судов (барж) буксирами-толкачами

Проблемными вопросами судовождения, толкаемыми составами на внутренних водных путях, особенно р. Днепр, являются не соответствие навигационных карт международным правилам, что не позволяло планировать внутренние буксировки по реперным координатам точек поворота в

соответствии с планами проводки по каналам и подходам к причалам, а также разрабатывать технологические схемы маневрирования в операционной зоне причала из-за отсутствия маневренных характеристик не только толкаемых составов, но и самого буксира-толкача.

Основным недостатком плавания по рекам является счисление пути буксируемого состава не по береговым ориентирам и радиомаякам, а по плавающим буйам и сигарам, которые очень часто сносит течением.

Другим недостатком организации судоходства по рекам является практическое отсутствие информации о погоде на пути следования, особенно это касается водохранилищ, лиманов, Днепровских порогов и подходам к портам. Поэтому требуется создание лоции рек Украины, каналов лиманов с указанием поворотных точек и наложения судна на километровые карты сетки Меркатора, разработка процедур швартовки состава судов к/от причалов. В работе А.С. Мальцева, В.В. Голикова и И.В. Сафина [50] предложен инверсный метод планирования таких буксирных операций, а также методика расчета маневренных характеристик толкаемых составов на малых скоростях.

1.4. Особенности буксировки судов в ледовых условиях

Ледовый режим плавания судов подробно представлен в [5, 34, 58, 64, 38 и др.]. Однако буксировки судов в осеннее-зимне-весенний период не изучались и не исследовались.

Более подробно особенности буксировки судов ледоколами (ледокольными буксирами) описаны в главе 6 «Управление судном при плавании во льдах» учебника В.И. Снопкова [67]. Поэтому в настоящем исследовании будем придерживаться взглядов этого автора о буксировке транспортных судов соответствующего ледового класса ледоколами (буксирами).

Тактика буксировки также основана на законах Ньютона. Однако вместо уравнения (1.1) 2-й закон Ньютона записан для каждого судна буксирной системы отдельно.

Уравнения динамики движения при буксировке транспортного судна во льдах представляется в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} m_1(1 + \lambda_{11}^1) \frac{dv_1}{dt} &= P_{e1} - R_1 - R_{лч1} - F_m + F_{\kappa} \\ m_2(1 + \lambda_{11}^2) \frac{dv_2}{dt} &= P_{e2} - R_2 - R_{лч2} - F_m + F_{\kappa} \end{aligned} \right\}, \quad (1.6)$$

где m_1, m_2 – массы ледокола и судна соответственно, т; $\lambda_{11}^1, \lambda_{11}^2$ – коэффициенты присоединенных масс ледокола и судна соответственно; v_1, v_2 – скорости ледокола и судна соответственно, м/с; P_{e1}, P_{e2} – тяга винтов ледокола и судна соответственно, кН; R_1, R_2 – сопротивление воды движению ледокола и судна соответственно, кН; $R_{лч1}, R_{лч2}$ – ледовое сопротивление движению ледокола и судна соответственно, кН; F_m – натяжение троса, кН; F_{κ} – контактная сила при буксировке вплотную или при соприкосновении судна с кормой ледокола (в этом случае $F_m = 0$), кН.

Буксировка судов ледоколами во льдах осуществляется: на длинном буксире длиной около 100 м; на коротком буксире длиной 40-50 м и вплотную в кормовом вырезе ледокола.

Буксировка на длинном буксире ограничена из-за невозможности ее осуществления, когда лед в канале создает большое сопротивление буксируемому судну, особенно на криволинейных участках.

Преимущества метода буксировки на коротком буксире перед другими методами заключаются в том, что система «ледокол – судно» достаточно хорошо управляется на поворотах, а на прямолинейных участках ледовое сопротивление в большинстве случаев позволяет буксировать судно с достаточно приемлемой скоростью без остановки движения и околки. Метод по существу универсален.

Буксировка вплотную имеет определенные преимущества перед буксировкой на длинном и коротком буксире и получила большое распространение на практике. Но этот вид буксировки обладает также

существенными недостатками из-за того, что не всегда носовые обводы буксируемого судна вписываются в кормовой вырез ледокола, а при поворотах система «ледокол – судно» плохо управляется. Даже на прямолинейных курсах при движении в неровном, торосистом льду происходят частые обрывы сцепки из-за резкого отбрасывания от торосов носа ледокола в сторону более слабого льда [5].

Как и при морских буксировках капитан ледокола принимает окончательное решение о виде буксировки, взятия на буксир, крепления и отдачи буксира. Буксирные устройства на ледоколе и ледокольном транспортном судне специальные: автоматическая буксирная лебедка; амортизатор-демпфер; две буксирные серьги; кормовой вырез; блок конструкции Николаева с набором; запас буксирных стропов (рис. 1.9).

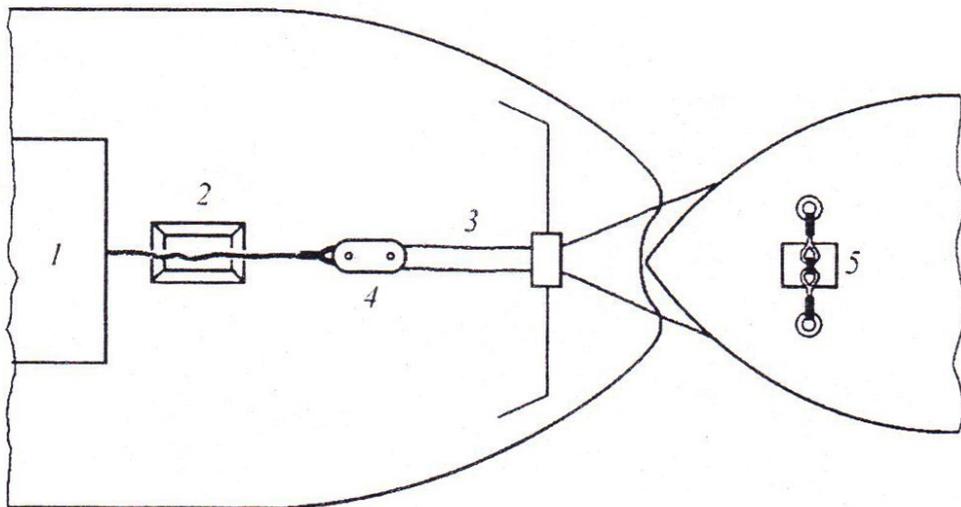


Рис. 1.9 – Буксирное устройство на ледоколах типа «Капитан Белоусов»: 1 – лебедка; 2 – стопор Булливана; 3 – буксирная серьга; 4 – блок Николаева; 5 – бензель.

Гарантией успешной и безопасной буксировки во льдах является исправное и совершенное буксирное устройство, как на ледоколе, так и на буксируемом судне.

Соблюдение безопасных приемов при буксировках помогает избежать ледовых повреждений, как судов, так и ледоколов. Если у речных ледоколов

имеется привальный брус, предохраняющий корпуса судов при навале, то у морских ледоколов имеется только кранцевая защита кормы.

При буксировках судов во льдах часто обрываются буксиры. Такая ситуация безопасна, если ледокол после обрыва буксира может удерживать несколько большую скорость. При равномерном движении тандема ледокол – судно в сплошных равных льдах исчезнет сила натяжения в буксирном тросе, а скорость буксируемого судна по этой же причине будет падать. Если ледокол застревает не сразу, то чем короче длина буксирной линии, тем меньше будет скорость контакта. При длине буксира, равной 1,5 – 3 м и скорости 5 уз на повороте контакт буксируемого судна скулой будет всегда о кранец ледокола, а скорость навала будет безопасной. При этом управляемость тандема ледокол – судно будет значительно лучше, чем при буксировке вплотную [64].

В случае невозможности погасить инерцию как буксируемого, так и проводимого методом лидирования за ледоколом судна, не стремятся пройти вдоль борта ледокола, а правят прямо в центр кранца ледокола, чтобы удар принять форштевнем (в крайнем случае, скулой).

Многое зависит и от опыта судоводителей, которые могут заблаговременно принять меры предосторожности с целью избежать или уменьшить вероятность обрыва буксира [63].

Рекомендуются несколько основных мер предосторожности при буксировке вплотную [67]:

- перед входом в перемычку тяжелого льда или крупного тороса нужно заранее уменьшить скорость тандема ледокол – судно и привести буксируемое судно в линию с ДП ледокола;
- форсирование полей или больших обломков полей необходимо начинать по линии нормали или около нее к кромке льда, исключив возможность отброса ледокола в сторону;
- при движении среди крупных обломков льда, от которых ледокол отбрасывает в сторону, скорость следует снижать;

- в случае потери управляемости тандема ледокол – судно, особенно в труднопроходимом льду с замедлением движения, что приводит к еще большему отклонению диаметральных плоскостей ледокола и судна, необходимо переключить работу винта проводимого судна на задний ход;
- нужно снижать скорость при проходе крутых поворотов в плотно забитом предварительно проложенном канале;
- учитывать, что любой отброс ледокола в сторону всегда ведет к вероятности обрыва буксира и возможности навала.

В литературе обращается внимание на средства снижения трения о лед, улучшения ледопроеходимости и управляемости судов и ледоколов, такие как пневмоомывающие устройства, движители типа Азипод, которые в настоящее время получили широкое распространение.

Кроме технических проблем буксировок судов по льдах, постоянно присутствует угроза повреждения или пробоин льдом корпуса буксируемого объекта, обледенение, снежный покров и мелководье, что требует от каждого судоводителя каравана постоянного внимания и контроля ледовой обстановки для принятия адекватных (безопасных) действий в неадекватных условиях ледового плавания [60].

1.5. Выводы к главе 1

Буксирные операции являются неотъемлемой частью морских перевозок особенно связанных с работой портов Украины. Ввиду всепогодности портов и акваторий Украины выше 44° СШ в течение календарного года наблюдаются все виды буксировок, кроме океанских.

В 21-м веке планирование морских, портовых и внутренних буксировок стремится визуализировать в режиме реального времени, используя тренажерную технику для составления технологических карт буксирных операций, поэтому первым из проблемных заданий буксировок является визуализация планирования и управления морскими буксирами.

Вторым проблемным заданием является построение безопасных буксирных систем, обладающих $6 \div 10$ кратным запасом мощности для морских и ледовых буксировок, а также 1,5-кратным запасом – для остальных буксировок за счет совершенствования гидропульсивного комплекса буксиров и ледоколов, а также их систем управления движением.

Третьим проблемным вопросом является повышение прочности и снижение веса буксирной линии за счет применения многокомпонентных материалов и буксирного оборудования судов, регулирующих неравномерность тяговых усилий.

Четвертым проблемным заданием буксировок является разработка информационных технологий по адекватным действиям экипажей судов буксирного каравана (ордера) в неадекватных условиях плавания (рывков, обрыве тросов, повышенных скоростей, ледовых заторов или угрозе потери плавучести буксируемых объектов и т.д.).

Пятым проблемным вопросом являются методы, способы и приемы подготовки, приобретения навыков командного подхода к синергетическому управлению экипажами караванов судов.

Основное содержание главы 1 изложено в [27, 42, 60, 62].

ГЛАВА 2. ВЫБОР ТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Буксировки судов и объектов являются необходимым условием круглогодичных перевозок в неарктических (северная часть Черного и Азовского) морях выше 44° СШ для чего им необходим ледовый класс.

Буксировка судов, особенно в портовых водах, требует специального разрешения. Об этом указано в п. 3.2.3 приказа Минтрансвязи (Мининфраструктуры) Украины от 01.08.2007 г. № 655, которым утверждены «Правила плавания и лоцманской проводки судов в северо-западной части Черного моря, БДЛК и ХМК», а именно «... для судов, которые буксируют объекты, в заявках на буксировку указать способ буксировки (на буксире, лагом или толканием) и максимальные размеры каравана». Для буксируемых судов требуется наличие плана и схемы буксировки с учетом ограничений по безопасности мореплавания, изложенных в «Информации об остойчивости для капитана судна» и вызванных угрозой опрокидывания, по крайней мере, одного из судов.

Обзор последних публикаций по проблеме буксировки на морском транспорте указывает на активность исследований по динамике подводных и надводных буксируемых объектов при производстве специальных работ. Результаты этих работ используются для расчёта прочности и размера буксирных канатов [73]. Выборке типа и количество буксиров, а также особенностям буксировки негабаритных объектов посвящена работа [63]. Об опасном влиянии корабельных волн буксировщика изложено в [65], а также показаны широкие возможности использования средств активного управления судном – поворотных рулевых колонок, работающих как в режиме движения, так и одерживания, не исключая иные, более сложные манёвры.

Выбор является неотъемлемым элементом системного анализа, который позволяет обеспечить целенаправленность научного исследования или управления [3, 50, 55, 71]. Он реализует подчиненность исследования

определенной цели, сформулированной в его теме, и предусматривает генерацию альтернатив, на одной из которых следует обоснованно сосредоточиться в процессе выбора.

Цели могут достигаться различными способами действий, ориентируясь на их критерии, факторы, эффективность мер и т.д. Известны: критериальный способ выбора, концепция риска, гарантирующей стратегии поведения, экспертных оценок и др. [3]. Единоличный выбор и принятие решения является скорее исключением, чем правилом. Являясь первым этапом системного анализа [20], выбор методом экспертных оценок позволяет критериями и ограничениями выделить объект исследования из совокупности проблемных вопросов реальной действительности (запроса практики) с последующим уточнением предмета исследования [21].

2.1. Выбор темы исследования методом экспертного оценивания.

Метод экспертного оценивания научных проблемных вопросов исследователем предусматривает наличие проблемных тематик (заданий и вопросов, указывающих на неочевидные факты действительности) сформированных в виде аспектов, а также движущих сил (факторов) процесса оценивания таких как: актуальность, предполагаемая научная новизна, экономическая эффективность предполагаемого исследования, соответствие аспекта научной специальности или научной школе, также предполагаемые сроки реализации принимаемого решения.

Вышеуказанный метод предполагает не только качественную (факторную) оценку аспектов, но и количественное ранжирование, начиная с «да» – «нет», «+» – «-» до весовых характеристик каждого из них.

В данном исследовании в качестве аспектов выступают проблемные вопросы и задания, поставленные в результате обзора практики буксировок судов и несамоходных объектов, которые будут оцениваться по выше указанным факторам путем целенаправленного изучения современного состояния буксировок по результатам научных исследований каждой из них.

Количественная оценка степени изученности проблемного задания будет оцениваться по двухбалльной системе.

Процедура оценивания каждого аспекта по факторам хотя и носит субъективный характер, однако более детальное изучение проблемных заданий позволяет выбрать не только определенное проблемное направление, но и тематику предстоящего исследования.

Актуальность проблемных заданий обусловлена малой изученностью процессов взаимодействия судов при буксировках по следующим причинам (табл. 2.1):

- спецификой морских и океанских буксировок, их сравнительной малочисленностью, а также отсутствием анализа опыта переходов;
- кратковременностью и многочисленностью буксировок в портовых водах;
- доминирующей ролью капитана, а не лоцмана на буксируемом судне в портовых водах;
- отсутствием четких указаний и рекомендаций по системе управления безопасностью (СУБ) судна относительно схем буксировок в судоходных компаниях;
- предпочтением управлению крупногабаритным судном в сравнении с буксировщиками при подготовке и оценке компетентности судоводителей;
- отсутствием системы специальной подготовки судоводителей для портофлота, специальных судов: снабженцев, ледоколов, аварийно-спасательных и др.

Вместе с тем, по заключению С.П. Погосова [57] и К.Л. Обертюра [55] аварийность крупногабаритных судов в портовых водах достигает 80%, а период их пребывания в портах не превышает 10% эксплуатационного времени. Это свидетельствует о недостаточной проработке всех вопросов и заданий в судоходных компаниях по буксировке судов.

Важность рассматриваемых вопросов (аспектов) связана с «Концепцией непрерывной национальной транспортной политики развития всех видов транспорта Украины на 2007-2014 гг.» (приказ Министерства транспорта и связи Украины от 03.05.2007 г., №360) и «Транспортной стратегией Украины на период до 2020 года» (распор. Кабинета Министров Украины от 20.10.2010 г., №2174-р), а также фундаментальной госбюджетной НИР «Теоретические основы гарантированной безопасности судоходства в территориальном море, внутренних водах и портах Украины» (2010- 2012 г.г.) №ДР0110U00280 и ряда хоздоговорных работ.

Предполагаемая научная новизна проблемных заданий может заключаться в следующем:

- визуализации планирования и осуществления буксировок за счет дистанционного наблюдения за природными явлениями и объектами буксирного каравана, например, с помощью параметрической радиолокации, что приводит к появлению новых методов оптимизации перехода каравана и обеспечению безопасности буксировок на опасных участках пути;
- построению безопасной буксирной системы, что приводит к силовой (энергетической) компенсационной сбалансированности за минимальное время на переходных процессах движения судов;
- повышении прочности и снижении веса буксирной линии, которые достигаются заменой якорных цепей и стальных тросов композитными материалами;
- гарантированной безопасности управления буксировками, которая достигается адекватными действиями судоводителей, гармонично управляющими по предварительно разработанным и отработанным сценариям (чек-листами) в нештатных, чрезвычайных и аварийных условиях плавания;
- синергизме в управлении, который достигается командным стилем организации управления экипажами судов, способным реализовать

принимаемые капитаном (наблюдателем) решения за счет повышения уровня компетентности.

Положительная оценка экономической эффективности изучаемых аспектов дана только первому и четвертому аспектам по соображениям изученности проблемы информационного обеспечения буксировок морем.

Так как выполнение научного исследования осуществляется на кафедре управления судном Национального университета «Одесская морская академия», научная направленность которой связана с теорией и практикой маневрирования, а также разработкой методологии создания систем гарантированной безопасности судоходства, что соответствует научной специальности 05.22.13 – навигация и управление движением, то второй и третий аспект возможных исследований получили негативную оценку.

Таблица 2.1. Результаты экспертного оценивания по выбору темы научного исследования

№ п/п	Проблемные задания (аспекты)	Факторы оценивания					Итого
		Актуальность	Научная новизна	Экономичность	Соответствие специальности	Реализуемость	
1	Визуализация планирования буксировок	+	+	+	+	-	4
2	Построение безопасных буксирных систем	+	+	-	-	-	2
3	Повышение прочности и снижение веса буксирной линии	+	+	-	-	-	2
4	Разработка способов, гарантирующих безопасность управления буксировками	+	+	+	+	+	5
5	Подготовка и приобретение навыков синергетического управления буксировками	+	+	-	+	-	3

Положительную оценку по срокам реализуемости исследования получил только четвертый аспект из-за возможности использования данные об аварийности судов в территориальном море и портах Украины за последние 50-ть лет [24], а также изложенные в отчетах по проведению научно-

технических экспертиз аварий и аварийных случаев с судами осуществляемыми Антикризисным центром НУ «ОМА» с участием автора.

В результате экспертного оценивания наибольшее количество баллов отдано проблемному заданию, связанному с разработкой способов, гарантирующих безопасность управления буксировками. В связи с этим тема диссертационного исследования получила название «Безопасная буксировка судов на коротких буксирах». Исходя из смысла проблемного задания, состояния его изученности:

- объектом исследования стала оперирующая буксирная система.
- предметом исследования стали процессы буксировки судов на коротких буксирах.

2.2. Цель и задачи научного исследования

Чрезвычайные ситуации при маневрировании буксирных систем, приводящие к авариям, аварийным происшествиям, гибели людей и судов, возникают в основном от природных явлений и недостатка культуры судовождения – «человеческого элемента» в управлении.

Согласно современным представлениям о движении динамических систем им свойственна колебательность, которая в механике порождается инерцией и упругостью [56, 63, 67]. Это подтверждается результатами предыдущих наблюдений за буксирной системой, проявляющимся в: рывках, обрывах, рыскании судов каравана на морских и океанских переходах. Вибрация каждого судна, включая качку, возникает по трем причинам [67]:

- силы трения судна (по отношению к медленным воздействиям от волнения и буксирного троса) преобразуются в силы вязкого трения;
- появление особо медленных сил с рядом нелинейных эффектов (параметрического резонанса, слеминга, брочинга и др.), которые приводят систему не к точкам минимума (устойчивости), а к точкам максимума потенциальной энергии тела в лучшем случае – нейтральной устойчивости;

- когда силовые и энергетические барьеры между устойчивыми состояниями вибрируемой (колеблющейся) системы преодолеваются значительно меньшими воздействиями (усилиями), а иногда и значительно меньшими энергозатратами.

Устойчивость буксирной системы рассматривается как способность судов каравана не слишком сильно изменять остойчивость из-за наклонов при действии определенного рода возмущений, в основном природных.

При расчете устойчивости буксируемого судна принимаются следующие допущения [15]:

- действие буксирного троса эквивалентно действию однозвенного шарнирного стержня;
- коренной конец троса от буксировщика движется равномерно и прямолинейно;
- скорость поперечного перемещения ходового конца троса от буксируемого судна пренебрежимо мала в сравнении с продольной составляющей скорости равной скорости движения буксировщика;
- длина буксирной связи в несколько раз превышает длину буксируемого судна;
- буксируемое судно движется на тихой воде при бездействующем рулевом устройстве, что не типично для буксировки на коротких буксирах.

Исходные данные для расчетов представлены: геометрическими и гидродинамическими характеристиками корпуса и рулевых органов буксируемого судна, а также величиной плеча приложения тяги троса.

Оценка устойчивости и определение равновесных положений буксируемого судна осуществляется по величинам относительных значений плеч позиционных сил $\overline{x_\beta}$; демпфирующих сил $\overline{x_\omega}$ и тяги $\overline{x_F}$, а также величины, определяющей области значений абсциссы $\overline{x_F}$, соответствующие устойчивым $\overline{x_F^*}$ и неустойчивым $\overline{x_F^{**}}$ режимам движения буксируемого судна.

При этом могут наблюдаться следующие состояния буксируемого судна (табл.2.2)

Таблица 2.2 – Режимы движения буксируемого судна в зависимости от соотношения плеч сил при безветрии.

№ п/п	Соотношение плеч	Состояние буксируемого судна	Характер движения состава
1	$\overline{x_\omega} > \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F} > \overline{x_\beta}$	Устойчиво по боковому смещению и рысканию. Угол дрейфа $\beta = 0$.	Буксируемое судно в кильватере буксировщика.
2	$\overline{x_\omega} > \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F} < \overline{x_\beta}$	Устойчиво по боковому смещению и рысканию. Угол дрейфа $\pm \beta \neq 0$.	Буксируемое судно движется за буксировщиком прямолинейно под углом дрейфа $\pm \beta$.
3	$\overline{x_\omega} < \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F^*} < \overline{x_F} < \overline{x_F^{**}}$	Неустойчиво, самопроизвольное рыскание. Амплитуда угла дрейфа A_β достигает ее значения при самопроизвольной циркуляции A_β^{cu} .	Буксируемое судно совершает колебательные перемещения по ходу состава.
4	$\overline{x_\omega} > \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F} > \overline{x_\beta}$	Устойчиво по боковому смещению и рысканию. Угол дрейфа $\beta = 0$.	Буксируемое судна движется в кильватере за буксировщиком.
5	$\overline{x_\omega} < \overline{x_\beta}$ $\overline{x_F} < \overline{x_F^*}$	Устойчиво по условиям п.2. Ухудшения управляемости из-за появления компоненты $\overline{x_F}$.	Движение прямолинейное за буксировщиком со смещением вправо и лево.

Также отмечается [42], что:

- при отсутствии ветра и волнения буксирная система может находиться в одном из состояний приведенных в данной таблице;
- при наличии ветра носовая оконечность буксируемого судна будет отклоняться на ветер;
- при наличии ветра устойчивость буксируемого судна может быть обеспечена при углах дрейфа β_p больше критического $\beta_{кр}$ характерного для некоторого критического режима его криволинейного установившегося движения.

К мерам, способствующим обеспечению устойчивости буксируемого судна, относят:

- смещение точки крепления ходового конца троса вперед по ходу судна;
- оборудование судна подкорпусными стабилизаторами в кормовой части;
- посадка судна с дифферентом на корму;
- увеличение гидроаэродинамического сопротивления;
- использование дополнительного кормового буксира для одержавания движения буксируемого судна или иных плохообтекаемых буксируемых тел, а также буксировка судна кормой вперед.

При возмущающем действии ветра и волн на буксирную систему дополнительно к расчету ее устойчивости определяют потребные угол перекладки рулевых органов буксировщика и величину упора его движителей для установления допустимой скорости буксировки состава.

Расчет проводят при следующих допущениях: скорость и направление ветра постоянны; направление ветра и волн совпадают; волнение регулярное; ветровой крен судов состава отсутствует; гидродинамическими нагрузками на буксирный трос и его провисанием пренебрегают; на суда буксирного состава действуют только осредненные продольные силы, действующие в координатной системе судна, включающие силы сопротивления дополнительных устройств, ветровые и волновые силы и моменты, бокового сноса и разворота судов с ограничением по перекладке руля буксировщика не более 25° .

Для выполнения графоаналитических расчетов используют уравнения кинетического прямолинейного движения на плоскости буксирного состава отдельно по каждому судну представленному в своей координатной системе в виде материальной точки в ЦТ судна.

Результаты вычислений динамических параметров движения состава позволили получить четыре основных научных результата [42]:

- в отличие от случая движения одиночного судна, для которого потеря управляемости при ветре возможна только при скоростях движения, меньших некоторого предельного значения, при движении буксирного состава имеется зона допустимых скоростей с нижней и верхней границами, вследствие чего потеря управляемости состава возможна как при скоростях, меньших нижней границы этой зоны, так и при скоростях, больших ее верхней границы;
- потребная тяга буксировщика при движении с возом навстречу волнам и ветру с курсовым углом 0° значительно меньше, чем при движении с другими курсовыми углами, и, следовательно, указанный режим движения не может являться определяющим;
- располагаемая тяга буксировщика должна позволять развивать необходимые скорости буксировки при произвольных курсовых углах ветра, так как в противном случае не будет обеспечиваться управляемость состава;
- в случае буксировки на предельно малых скоростях возможно возникновение ситуации, когда буксировщик разворачивается носом под ветер, а не на ветер, как обычно.

Эту возможность следует учитывать при выполнении расчетов, а при решении уравнений динамики надо задаваться не только положительными, но и отрицательными значениями угла дрейфа β .

Анализ результатов исследований, связанных с эксплуатацией буксирных систем, показал, что с точки зрения теории корабля [15] буксирная система (буксирный состав) в условиях эксплуатации управляема при соблюдении двух условий:

- устойчивости буксируемого судна к возмущениям по боковому перемещению и рысканию;

- высокая эффективность рулевых органов буксировщика при наличии воза.

Первое условие выполняется путем стабилизации действия буксирного троса, которое компенсирует боковое и угловое отклонение буксируемого судна от прямолинейной траектории своим натяжением. При этом эффективность такой стабилизации зависит от свойств и состояния буксируемого судна, потому что отсутствие его устойчивости к возмущениям по угловой скорости рыскания неизбежно приведет движение судна на тихой воде к характеру автоколебаний с переменными амплитудой и частотой.

Соблюдение второго условия требует наличия у буксировщика тяги на гаке достаточной для противодействия ветроволновым возмущениям по удержанию буксируемого судна на линии заданной траектории.

Так как способность сохранения управляемости буксирного состава зависит от скорости буксировки, а угроза возникновения автоколебаний при движении буксируемого судна возникает даже на тихой воде, то для прогнозирования управляемости состава производятся расчеты устойчивости буксируемого на тросе судна в условиях тихой воды, а также элементов (параметров) установившегося движения судов состава при действии на них ветра и волн.

Синхронизация системы представляет процесс наложения быстрых движений на медленные, которые обладают свойством потенциальности и устойчивости, как при минимумах, так и при максимумах обычной потенциальной энергии и энергозатрат в целом.

Синхронная частота порождает резонанс, который даже при слабости связи между элементами системы оказывается настолько сильным, что даже отключение одного или нескольких объектов не приводит к выпадению синхронизма.

Синергизм в управлении буксировкой предусматривает согласованное во времени функционирование нескольких экипажей судов и/или всех участников транспортного процесса, включая лоцманов и операторов

береговых служб радиолокационного наблюдения и энергоресурсообеспечения. Основным предметом синергизма является изучение изменений в поведении нескольких объектов после объединения их в единую систему. Устойчивость единой системы обеспечивается как синхронным (усиливающимся), так и противофазным (компенсирующим) движением отдельных её объектов.

Особенностью группового управления являются [7]:

- человеческий фактор – процессы взаимодействия в системе «человек – машина», которые обуславливают оптимальное использование человеком (оператором) технических средств в соответствии с их назначением;
- человеческий элемент (human element) (культура судовождения);
- качественная и количественная оценка адекватности корректирующих воздействий человека в системе «человек – машина» на неадекватные процессы в ней.

В качестве основополагающей для чрезвычайных и аварийных ситуаций принята теория мягких систем, оперирующая с событиями. Основным методом исследования безопасности сложных систем является сценарный [37]. Построение сценария включает акты, сцены, детерминированные картины в виде альтернативных решений, поведение (роль), искусство воплощения в которых принадлежит оператору/ам (судоводителям или экипажам). В теории мягких систем имеют место как методы построения сценариев катастроф для формирования базы знаний, так и сценариев поведения, гарантирующих позитивный исход из чрезвычайной ситуации порожденной явлениями способными при многократных повторениях или внезапных скачкообразных возмущениях внешне- и внутрисистемного характера накапливать потенциальную энергию, направленную на изменение устойчивости или надежности системы.

Теория катастроф, предлагаемая Ю.И. Нечаевым [54, 55], направлена на оказание в основном «консультативной» помощи интеллектуальными

«помощниками» оператора (судоводителя, летчика, космонавта и др.) – интеллектуальными системами, способными следить за окружающей обстановкой и с помощью обратной связи изменять свое поведение.

Важной остается часть действительности (предметная область), подлежащая обращению на основе методов теории катастроф с целью получения новой информации о ее свойствах для генерации альтернатив при принятии решений.

Примером этому представлена онтология предметной области «Динамика судна на волнении» (рис. 2.1), которая построена с использованием базовых (детерминистских) понятий – концепторов и связей между ними в виде соотношений и взаимодействий базовых понятий, характерных для информационных систем [54].



Рис. 2.1 Модель онтологии предметной области динамики судна [55].

Рассматривая возможности теории мягких систем и теории катастроф, следует отметить, что последняя представляет информационную составляющую первой теории и создающей условия поведения всей человеко-машинной системы, а не ее части – искусственного интеллекта, генерирующего только альтернативы для принятия оператором только стратегии решения, не поясняя действий последнего по его реализации.

Ввиду многообразия научных и практических подходов к безопасности буксировок и необходимостью постоянного их использования в портовых и припортовых водах предпочтение в данном исследовании отдается ситуационному подходу для обеспечения безопасного управления, а для знания и понимания процессов движения буксирной системы в ЧС и АМС предпочтение отдано методу экспертного оценивания, использующему физическую, логическую и эвристическую компоненты.

Целью исследования стало создание условий, гарантирующих сохранность элементов и безопасное управление буксирной системой методами экспертного оценивания.

Научной гипотезой исследования стал тезис о существовании режимов гарантирующих безопасную буксировку в ЧС и АМС при условии: детерминации процессов движения в буксирной системе; понимания роли каждого из участников транспортного процесса; умения и готовности капитана (наблюдателя) системы к безопасному управлению.

С точки зрения теории систем, система путем объединения элементов, связей и отношений между ними образует определенную целостность и единство.

Управление – целенаправленное воздействие на систему для ее бесперебойного функционирования объекта управления.

Технология выработки управленческого решения представлено на блок-схеме (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Блок-схема выработки управленческого решения [17].

Выбор способов действий требует наличия: необходимой и достаточной информации о характере явления, приведшего к ЧС и/или АМС ситуации буксировки; теоретической базы для прогноза (генерации) альтернатив; механизма (способа) выбора безопасной буксировки, а также алгоритма

действий капитана (наблюдателя) системы, гарантирующего безопасный исход.

Достоверным источником информации о неадекватной ситуации должны стать акты и доклады об обстоятельствах и причинах морских аварий и инцидентов, подготовленных комиссиями государства, проводящего их расследование с полным участием в нем «государства флага».

В соответствии с Кодексом по расследованию морских аварий и инцидентов, изложенным в резолюции А.849(20) принятой ИМО 27.11.1997 года такие акты и доклады содержат следующую необходимую информацию: краткое изложение основных фактов аварий с указанием того, привела ли авария к гибели людей, телесным повреждениям или загрязнению окружающей среды; подробные данные об объекте и участниках аварии, а также обстоятельствах аварии; анализ и замечания, позволяющие сделать логические заключения или выводы относительно всех фактов, которые привели к аварии; анализ и комментарии относительно причинных связей, которые включают технические факторы и человеческий элемент, для выработки рекомендаций, направленных на предотвращение подобных аварий. Экспертизы актов и докладов, проводимые в рамках уголовных дел и судебных разбирательств, осуществляются Антикризисным центром ОНМА с участием автора настоящего исследования.

Из актов и докладов по расследованию аварий и инцидентов используется информация о параметрах отдельного процесса или показателях нескольких процессов, а также негативных явлениях, приведших движение системы к АМС [23]. Для повышения информативности прохождения процесса буксировки в нештатных ситуациях предполагается использование метода экспертного оценивания реальной аварии или инцидента с буксировщиком. Полученная информация об аварии или инциденте позволит определить начальные условия для графоаналитического моделирования процессов буксировки, что детерминирует возможность принятия адекватного решения. Исходя из того, что управление такими ситуациями не прописаны в

правилах плавания, а их необходимо осуществлять, то в процессе дальнейших исследований с помощью установления закономерностей безопасных воздействий на объекты или процессы, проходящие в них, вывести буксируемую систему из ЧС и/или АМС в штатную ситуацию путем компенсации или устранения негативных явлений. Возможно для этих целей потребуется выбор из нескольких альтернатив.

Последующим этапом научного исследования представляется разработка механизма или способа действий капитана (наблюдателя) буксирной системы по их исполнению в режиме реального времени или перенастроить систему для устойчивого функционирования. В результате чего создаются алгоритмы адекватных действий судоводителя/лей в неадекватных ситуациях буксировки.

Дальнейшая апробация таких действий в практике судовождения позволит перевести такие ситуации из состава исключений в состав правил. Поэтому такие программы действий участников транспортного процесса предполагается разрабатывать методами экспертного оценивания [3, 33]. Они разделяются на: анонимные и открытые опросы и анкетирование; совещания и дискуссии; деловые игры и мозговой штурм, искусственный интеллект, что нашло свое отражение в монографии Ю.И. Нечаева [55].

В задачи дальнейшего развития современной теории катастроф входит расширение и углубление анализа и синтеза геометрических и аналитических структур данных и формулировка теоретической базы их интерпретации, формирование которых (структур) на основе математического моделирования приводит к новым объяснениям феноменов физических явлений и процессов в системах поддержки принятия решений.

Для этого методом системного анализа требуется решение следующих проблем:

- выяснение и понимание качественной и количественной стороны исследуемого явления;

- формирование для каждой исследуемой ситуации одной из моделей теорий мягких систем или катастроф;
- установление устойчивости возможных моделей буксировки в неадекватных условиях.

Проблема реализации моделей катастроф при интерпретации нештатных и аварийных ситуаций решается синтезом «быстрых» алгоритмов анализа и прогноза для непрерывного контроля ситуаций и выработки практических рекомендаций и решений.

Главной задачей исследования является установление закономерностей безопасного группового управления буксировкой по обеспечению устойчивости ее элементов, когда один из них внезапно превращается в угрожающее для людей и окружающей среды негативное явление. В основу ее решения целесообразно также положить метод дедуктивных рассуждений в процессе перехода от предпосылок к следствиям характерным для теории катастроф [54] и методы построения алгоритмов [6, 56, 70].

Для реализации главной задачи целесообразно осуществить её декомпозицию на вспомогательные задачи для последующих параллельных исследований:

- анализ влияния собственных волн буксировщика на движение буксируемого объекта при скоростном режиме движения системы;
- анализ последствий рывка в буксируемой системе и опрокидывания буксировщика;
- анализ эффективности буксировки аварийного судна при ледовой проводке каравана судов.

2.3. Технология научного исследования.

Технология научного исследования представляет философский цикл познания: от запроса практики на необходимость решения неочевидных фактов действительности до этапов системного анализа с постановкой цели задач исследования, методов их доказательств, получения научных

результатов, их практического подтверждения, оценка теоретической значимости и практической ценности с последующей формулировкой научного положения, без которого невозможно достигнуть поставленной цели.

При формировании технологической карты исследования следует исходить от ранее накопленного опыта и располагаемой теоретической базы, касающихся буксирных систем. Согласно Кодексу торгового мореплавания Украины (ст. 229, 230), ответственным за буксировку на внутренней акватории порта назначается капитан буксируемого судна, а в открытом море и внешней акватории порта – капитан буксировщика.

При ледовом плавании судов в караване ответственным за их проводку назначается капитан ледокола (лидирующего ледокола), а ответственность за безопасность каждого судна каравана возлагается на его капитана. Капитан ледокола не несет финансовой и материальной ответственности за действия капитана судна в караване.

Ввиду эвристичности принятия решений и эмпиричности действий капитанов буксирных систем в ЧС и/или АМС наибольший интерес, на наш взгляд, представляет детерминация процессов взаимодействия в элементах буксирной системы на всех уровнях управления: по стабилизации параметров движения; логичности в последовательности перехода из одного вида движения в другое (маневрирование и циркуляции); синергизма в системе по компенсации негативных воздействий от явлений, которую возглавляет капитан буксирной системы (рис. 2.3).

Из рисунка 2.3 следует, что имеющая место информация носит описательный характер и не может быть представлена для использования в виде законов или закономерностей управления буксирной системой в аварийных ситуациях. Результатов аналогичных исследованию не обнаружено, правила буксировок отсутствуют. Поэтому данное исследование по безопасности буксирных систем является одним из первых.

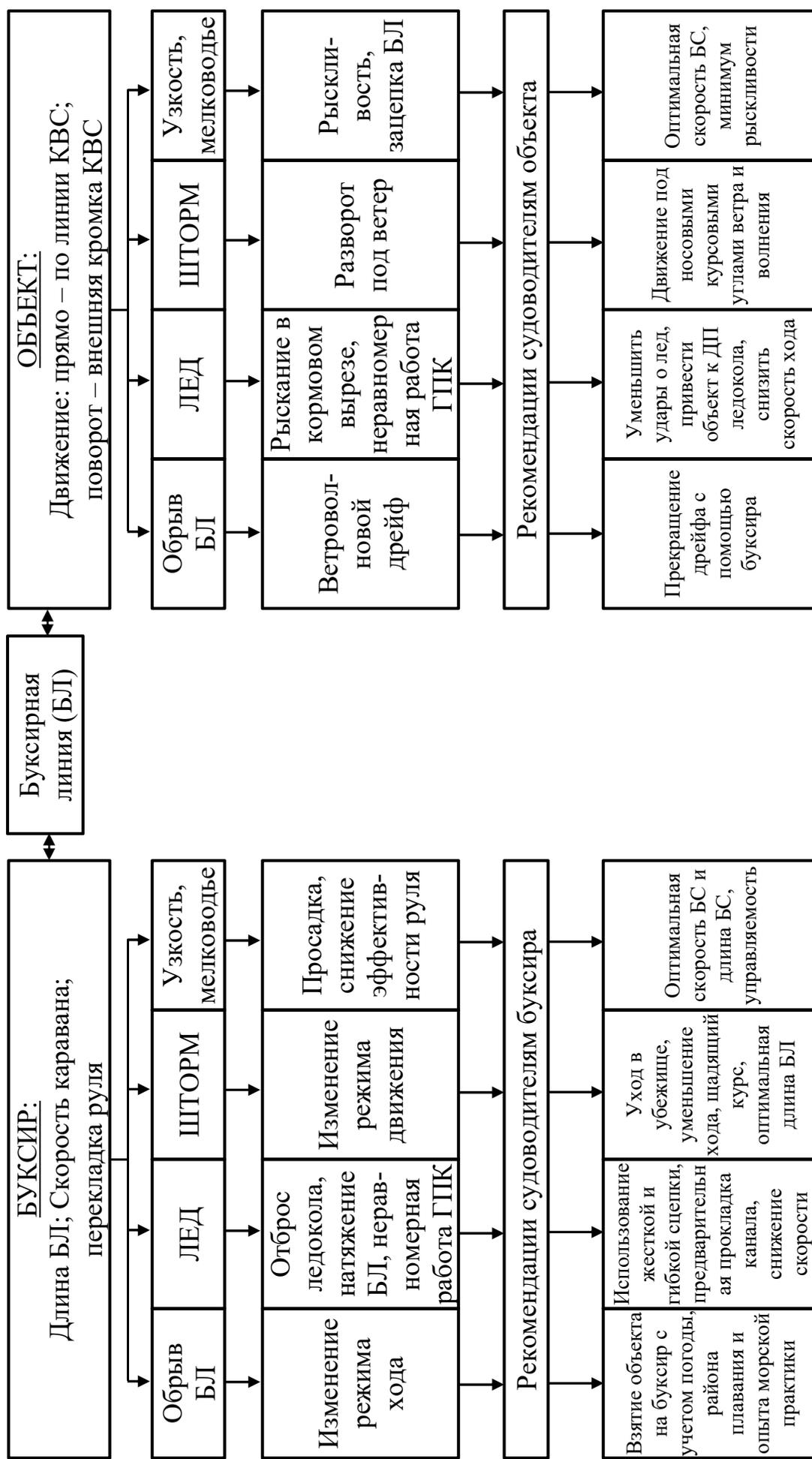


Рис. 2.3. Обобщенная схема управления буксирной системой.

Наличие исходной информации о результатах расследования АМС и инцидентов представленной официальными органами Морской администрации Украины для проведения научно-технической экспертизы связанной с действиями должностных лиц – участников транспортного процесса позволило реализовать решение задач исследования методом экспертного оценивания [23, 55], а научные результаты, характеризующие закономерности поведения системы в аварийных ситуациях, представить в виде необходимых и достаточных условий.

Технологическая карта исследования представлена на рис. 2.4.

Каждая из вспомогательных задач решается с использованием следующих методов:

- графоаналитического – при установлении с свойств элементов системы, из связей с внешне средой в процессе ее движения, а также энергетических ресурсов;
- алгоритмического – при установлении материальных ресурсов и людских резервов, а также характера действий участников транспортного процесса;
- эвристического – при определении роли капитана (наблюдателя) буксирной системы в организации и проведении буксировочной операции.

Научные результаты решенных вспомогательных задач предполагается представить в виде закономерностей безопасного управления.

Главным научным результатом предполагается разработка алгоритма группового управления буксирной системой.

Научное положение формируется после подтверждения достоверности научных результатов исследования на имитационных моделях с использованием программных комплексов для усовершенствования технологий управления судами.

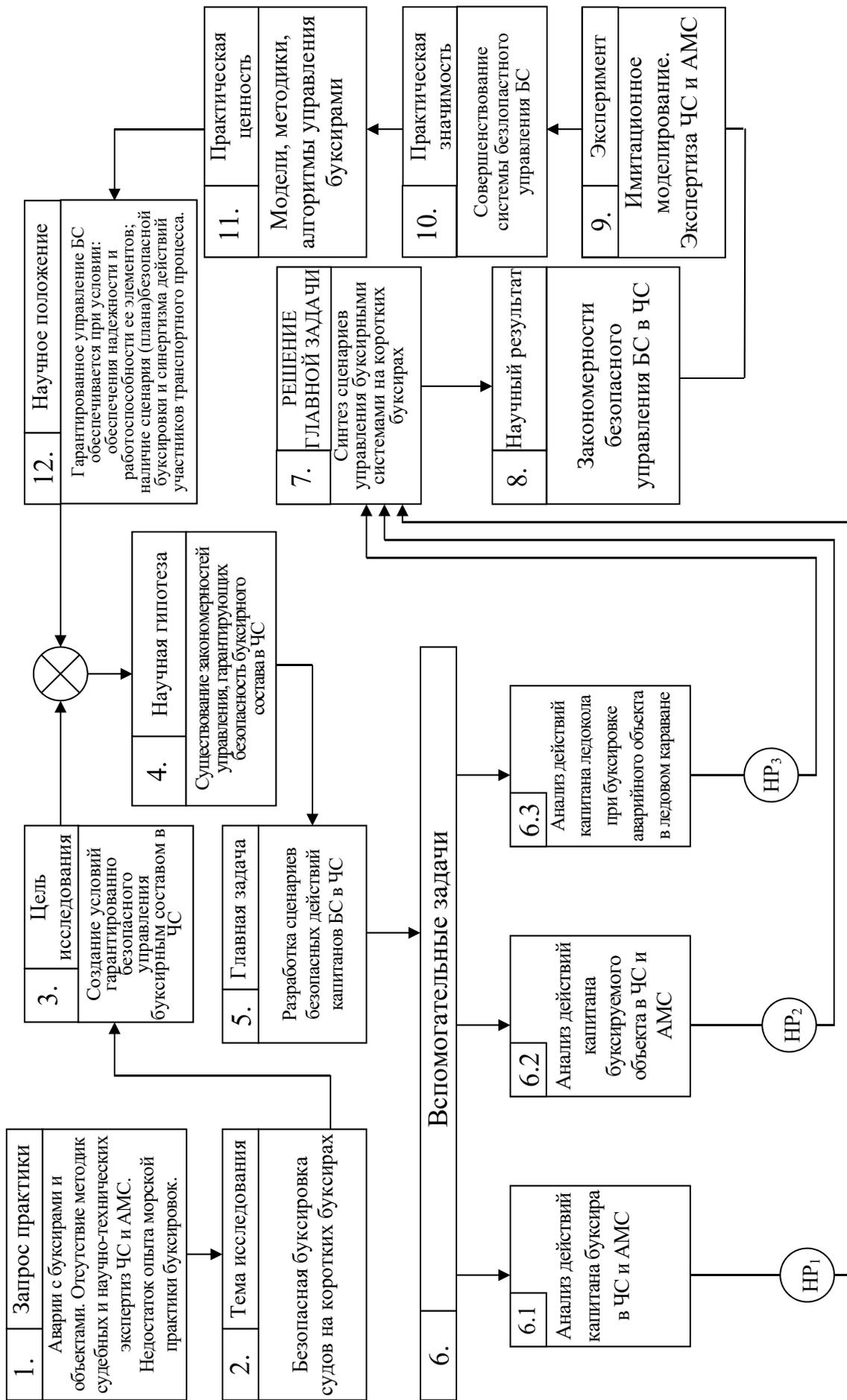


Рис.2.4. Технологическая карта научного исследования на тему: «Безопасная буксировка судов на коротких буксирах»

2.4. Выводы к главе 2

1. Выбор темы научного исследования осуществлен методом экспертных оценок проблемных задач по следующим факторам оценивания: актуальности, научной новизны, экономической целесообразности, соответствии направлениям паспорта специальности 05.22.13 – навигация и управление движением, а также деятельности научной школы кафедры управления судном Одесской национальной морской академии и срокам реализуемости работы.
2. В качестве объекта исследования выбрана оперирующая буксирная система, а предмета исследования – процессы маневрирования буксиров.
3. Методология научного исследования, целью которой является создание условий гарантированного управления буксировщиком в чрезвычайных и аварийных ситуациях, базируется на принципах системности с использованием теорий жестких и мягких систем, а также теории катастроф с их методами исследования.
4. Гипотеза научного исследования заключается в предположении о существовании стратегии адекватных действий операторов систем в неадекватных условиях буксировок.
5. Главная задача исследования направлена на разработку алгоритмов для систем принятия решений и адекватных действий судоводителей буксирных систем в неадекватных условиях буксировок.
6. Научно-прикладное исследование предусматривает решение трех вспомогательных задач, связанных с выявлением физических причин аварий и инцидентов с буксирами и объектами, детерминацию событий для принятия решений и анализ особенностей действий судоводителей в неадекватных условиях.
7. Для осуществления исследования выбраны научные методы:
 - дедукции – для информационного поиска;

- экспертных оценок – для выбора темы исследования, анализа причин аварий и инцидентов, а также поведения в них судоводителей;
 - системного анализа – для определения цели и задач, а также разработки технологии научного исследования;
 - графоаналитический – определения свойств элементов системы математического моделирования переходных процессов в системе и ее элементах;
 - имитационного моделирования – для генерации альтернатив и детерминированных решений;
 - минимакса при принятии решений;
 - иерархии при организации группового управления.
8. Так как настоящее исследование базируется на данных опыта морской практики, то нет необходимости в экспериментальном подтверждении научных результатов исследований, так как они по сути являются эмпирическими, однако в процессе доказательств планируется использование методов математического моделирования.
9. Научная значимость результатов предполагаемого исследования состоит в развитии методологии безопасности сложных систем на принципах информированности, определенности и реализуемости, а также совершенствовании методов научно-технических экспертиз.
10. Важной практической ценностью работы является формирование механизма обеспечения безопасности буксируемых систем при маневрировании, включая и условия неадекватности.
- Основное содержание главы 2 изложено в [29, 42, 43].

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ПРИЧИН АВАРИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ БУКСИРНОЙ СИСТЕМЫ

Постановка задачи исследования носит эволюционный характер и исходит из системного анализа проектируемых систем, который включает три этапа [3, 68, 74]:

- построение модели исследуемой системы, т.е. осуществление формализованного описания изучаемого объекта;
- формулировка критерия решения задачи системного анализа, т.е. построение задачи исследования;
- решение поставленной задачи.

К основным процедурам системного анализа относят [37, 69, 71]:

- изучение структуры системы, анализ ее компонентов, выявление связей и отношений между ними;
- сбор информации о функционировании системы, исследование информационных потоков, включая обнаруженное, идентификацию и сопровождение процессов в системе;
- построение модели процесса;
- проверка адекватности (соответствия) моделей, анализ неопределенности и чувствительности;
- исследование ресурсных возможностей системы;
- установление причины аварии или инцидента;
- определение степени и уровня экстремальности условий и аварийной ситуации.

Обеспечение информацией о происшествиях на море осуществляет сеть оповещения об авариях (Marine Accident Report System – MARS).

Основными действующими международными и национальными нормативными документами, которые регламентируют классификацию, порядок расследования и учет морских аварий и инцидентов, являются:

- «циркулярное письмо MSC/Circ.801 «Доклады об авариях и инцидентах на море», принятое Комитетом ИМО по безопасности на море (Marine Safety Committee) 31 мая 1997 года;
- резолюция ИМО А.849 (20) «Кодекс по расследованию морских аварий и инцидентов», принятая 27 ноября 1997 года;
- резолюция ИМО А.884 (21) «Поправки к Кодексу по расследованию морских аварий и инцидентов (Резолюции А.849 (20))», принятая 25 ноября 1999 года;
- «Положение о порядке расследования и учета транспортных происшествий на внутренних водных путях Украины», утвержденное приказом Министерства транспорта и связи Украины №857 от 05 ноября 2003 года;
- «Положение о классификации, порядке расследования и учета аварийных морских происшествий с судами (ПРАМП-2006)», утвержденное приказом Министерства транспорта и связи Украины №516 от 29 мая 2006 года.

Морские печатные издания различных стран публикуют статистические сведения об аварийности, анализ которых направлен на оценку тенденции изменения уровня обеспечения безопасности мореплавания и пути его повышения.

В Резолюции ИМО А.884(21)/1999 изложен метод расследования человеческого фактора ИМО/MOT, включающего SHELL модель (L – человек, E – окружающая среда, H – конструкция, S – программное обеспечение) для сбора информации о происшествии, а также модели GEMS и Ризона на базе SHELL для установления динамики происшествия; выявления опасных действий или принятых решений, а также опасных условий для каждого из них; установление типа ошибки или нарушения; определения психофизиологических факторов, лежащих в основе ошибки или нарушения; установление потенциальных проблем безопасности и разработки мер безопасности.

Судебная экспертиза осуществляется согласно закона Украины «О судебной экспертизе» введенного Постановлением ВРУ от 25.02.1994 г., №4038а-ХІІ (ВВР, 1994, №28, с. 233). Судебно-экспертная деятельность осуществляется на принципах: законности, независимости, объективности и полноты исследования. Методики проведения судебных экспертиз подлежат аттестации и государственной регистрации в порядке, который определяется Кабинетом Министров Украины.

В ходе судебных разбирательств по случаю аварии или аварийного происшествия возникает необходимость проведения, кроме судебных, дополнительных научных и научно-технических экспертиз.

Научная и научно-техническая экспертиза осуществляется согласно закону Украины «О научной и научно-технической экспертизе» введенного в действие с 01.06.1995 г. Постановлением ВРУ от 10.02.1995 г., №52/95-ВР (ВВР, 1995, №9, С.182).

Научная и научно-техническая экспертиза осуществляется на принципах: компетентности и объективности; учета мирового уровня научно-технического процесса, норм и правил технической и экологической безопасности, требований стандартов, международных договоров; ответственности за достоверность и полноту анализа, обоснованности рекомендаций экспертизы [23, 63].

Методической базой экспертизы является методология научных исследований и методики из различных областей науки и техники. Применительно к АМС научно-методическая база требует специального исследования синергизма в управлении судном [23, 50].

В повседневной практике процесс обработки информации о происходящих событиях и наблюдаемых системах осуществляется по причинно-следственному принципу, согласно которому время привязывается к событиям, зафиксированным в памяти при наличии в ней генератора отсчета (часов).

Для более экономичного кодирования информации о событиях с целью минимизации объема памяти системы [12, 14, 16]:

- пространственные изменения, поступающие из внешней среды, кодируются через заданные интервалы в одномерной системе координат, без учета реального времени;
- любые изменения направления и скорости движения судна определяются по сравнению с эталонными или ранее запланированными траекториями (и/или алгоритмами).

Вместе с тем, память об аварийных событиях формируется по иному – следственно-причинному принципу с отрицательной стрелой времени направленной в прошлое при традиционном кодировании информации о событиях и эталонными траекториями планируемыми инверсным способом.

Фиксация факта наступления аварийного события требует знания интервала реального времени, за которое траектория (процесс) движения судна отклонилась от эталонной, став неустойчивой. Поэтому факт установления опасно неустойчивого движения судна требует исключительного знания обстоятельств аварий и аварийных происшествий.

К сожалению в настоящее время отсутствует специально разработанная методическая база для проведения научно-технической экспертизы аварий и аварийных происшествий с морскими судами.

Для установления момента наступления аварийного события с судном связанным с неустойчивым характером процесса движения предложен способ, использующий следственно-причинный принцип формирования знаний о событиях, поступающих из внешней среды с эталонным источником времени (часы) и алгоритмом нормативных событий.

Отличительной особенностью экспертизы АМС является наличие сценария сформированного по результатам расследования без глубокого анализа причин ее возникновения и наступления. Ввиду того, что сценарий предполагает описание внешних условий (картин, процессов) порядок и последовательность действий операторов в сценах, а также «режиссуру»

сценария, то в разработку экспертизы АМС положим: физическую, логическую и эвристическую компоненты.

Физическая компонента сценария включает физическое и графоаналитическое моделирование, использующее теорию подобия и математического анализа.

Логическая компонента предполагает выявление логически обоснованных действий операторов по управлению временем в конкретном процессе.

Эвристическая компонента предполагает непрерывность наблюдения, сопровождения и управления отдельной морской операцией (буксировкой).

Такой подход позволит всесторонне изучить сюжетную линию.

3.1. Анализ влияния собственных волн буксировщика на движение буксируемого объекта.

Первая вспомогательная задача управления буксирной системой направлена на установление пределов скоростного режима движения по взволнованной поверхности и способа безопасного управления буксируемым объектом в чрезвычайной ситуации.

Решение задачи предусматривает получения достоверной информации о:

- характере действия взволнованной поверхности создаваемой собственной системой кормовых волн буксировщика на объект буксировки;
- анализ процесса генераций собственной кормовой системы волн судна;
- исследование процесса воздействия регулярных волн на объект буксировки;
- исследование процесса движения буксируемого объекта в режиме «одерживания»;

- установление устойчивого скоростного режима движения буксирной системы на коротком буксире.

3.1.1. Постановка задачи исследования процесса воздействия кормовых волн буксировщика на буксируемое судно.

Постановка задачи исследования осуществлялась по информации полученной в результате экспертного оценивания по состоянию аварийного морского события, происшедшего в реальных условиях с буксируемой системой.

Экспертное оценивание осуществлено с участием автора по методике разработанной В.В. Голиковым [32, 42], которая включает оценку физической, логической и эвристической компонент аварии и представляет аварийное событие связано с переворотом вверх дном буксира-кантовщика буксируемого мощным судном-буксировщиком в портовых водах на реке Южный Буг. Погодные условия за время буксировки: малооблачно, без осадков, видимость хорошая (12 км), ветер: восточный, скорость 12÷17 м/с (4÷5 баллов), температура воздуха 17÷22 °С, температура воды 14÷16 °С, волнение отсутствует.

Буксирная система состояла из буксировщика (большой десантный корабль), буксируемого объекта (буксир – толкач) и буксирной линии в виде двух синтетических тросов длиной 18 метров, заведенных через центральный кормовой клюз буксировщика на носовые битенги буксируемого судна (рис. 3.1).

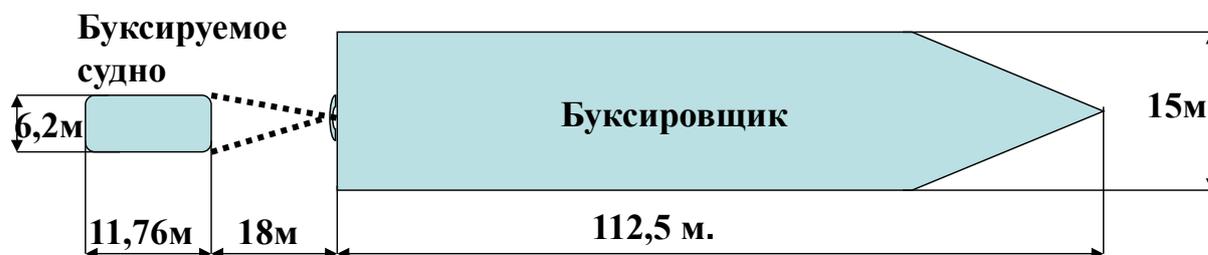


Рис. 3.1. Схема буксировки судов

Буксировщик – валовой вместимостью 4080 т, длиной 112,5 м, шириной 15 м, осадкой 3,7 м, скоростью хода 18 узлов, мощностью 14131 кВт, тип двигателей – 2ВРШ, численность экипажа 87 человек.

Буксируемое судно – валовой вместимостью 39 т, длиной 11,76 м, шириной 6,2 м, высота борта 2,0 м, надводный борт 0,387 м, осадка средняя 1,531 м, деферент на корму 0,026 м, мощностью 352 кВт с двигателями 2ВРК.

Эксплуатационные ограничения:

- скорость движения не более 4,8 узла;
- волнение не более 3-х баллов с высотой волн до 1,25 м;
- угол крена судна на циркуляции не более 12°;
- угол отклонения оси ВРК от ДП судна на циркуляции составляет:

$$\alpha \leq \begin{cases} 148,6 - 0,07143n & \text{при управлении 1-й ВРК,} \\ 40,7 - 0,0143n & \text{при управлении 2-мя ВРК,} \end{cases}$$

где n – частота вращения ВРК, мин⁻¹.

Процесс буксировки по данным АИС «Русская коса» и любительской видеозаписи по местному времени представлен в виде таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Хроника буксировки буксира-толкача

№ п/п	Время, мин:сек	Событие (сцена)	Характеристики процесса			Комментарии
			Скорость, узлы	Курс, град.	Координаты	
1	00.00	Буксирная система сформирована	0,6	237	46°56,28N 031°59,85E	Буксир-толкач на коротком тресе $L_t = 1,55L_6$ (рис.3.1)
2	01.00	Поворот системы вправо	5,4	250	46°56,25N 031°59,74E	Скорость буксировки превышена в 1,125 раза
3	03.03	Прямолинейное движение буксирной системы	11,0	246	46°56,17N 031°59,38E	Скорость буксировки для буксируемого объекта превышена в 2,3 раза
4	03.28	Опрокидывание буксируемого объекта	11,4	243	46°56,14N 031°59,30E	Превышение скорости буксировки в 2,4 раза
5	03.37	Отрыв битенгов, носового фальш-борта и объекта	–	–	–	Экипаж буксируемого объекта спасен, буксируемый объект на плаву вверх дном

Оценка физической компоненты АМС показала, что буксирная система двигалась с превышением разрешенной скорости буксировки в 2,5 раза. За 28 секунд объект буксировки перевернулся с креном влево. При этом поворотные колонки объекта находились в положении «вперед-влево» (рис. 3.2).



Рис. 3.2 – Положение ручек ВРК перед затоплением буксира-толкача.

Оценка логической компоненты выявила ряд процессуальных нарушений:

- для осуществления операции буксировки в портовых водах необходимо выполнение требований п 3.2.3 приказа Министерства инфраструктуры Украины от 01.08.2007 г. №655, которым утверждены Правила плавания и лоцманского сопровождения судов в Юго-Западной части Черного моря и БДЛК относительно подачи заявок на движение судов в зоне действия РС (РРС) «для судов, которые буксируют объекты, в заявках указать способ буксировки (на буксире, лагом и толканием) и максимальные размеры каравана»;

- управление буксирной системой в портовых водах осуществляет капитан буксируемого судна, но не лоцман, находящийся на буксировщике;
- перед началом буксировки необходимо согласовать план буксировки между объектом буксировки и буксировщиком, обратив внимание на ограничение в 4,8 узла скорости хода объекта.

Эвристическая компонента АМС предлагает работу гидропропульсивного комплекса судна в режиме «одерживания», а не хода «вперед – влево», что, по-видимому, способствовало перевороту буксира-толкача.

3.1.2. Анализ процесса генерации собственной кормовой системы волн буксировщика.

Исследование процесса буксировки осуществлялось методом анализа условий движения буксируемого судна на волнении. В практике судовождения известны факты заливаемости главной палубы судна от встречного волнения, слеминга и брочинга под действием волны резонансной длины.

В анализируемой ситуации генератором регулярных волн был буксирующий корабль, воздействующий кормовой системой корабельных волн сектором около 80° на буксируемое судно (рис.3.3).

Характеристики регулярных кормовых поперечных корабельных волн зависят от скорости движения корабля (судна) V_c (узлы):

$$\begin{aligned}
 & - \text{длина} && \lambda \approx 0,1694 V_c^2 \text{ (м);} \\
 & - \text{скорость} && C \approx 0,5145 V_c \text{ (м/с);} \\
 & - \text{высота} && h \approx 0,045 V_c^{1,5} \text{ (м);} \\
 & - \text{амплитуда} && A \approx 0,5 h \text{ (м).}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

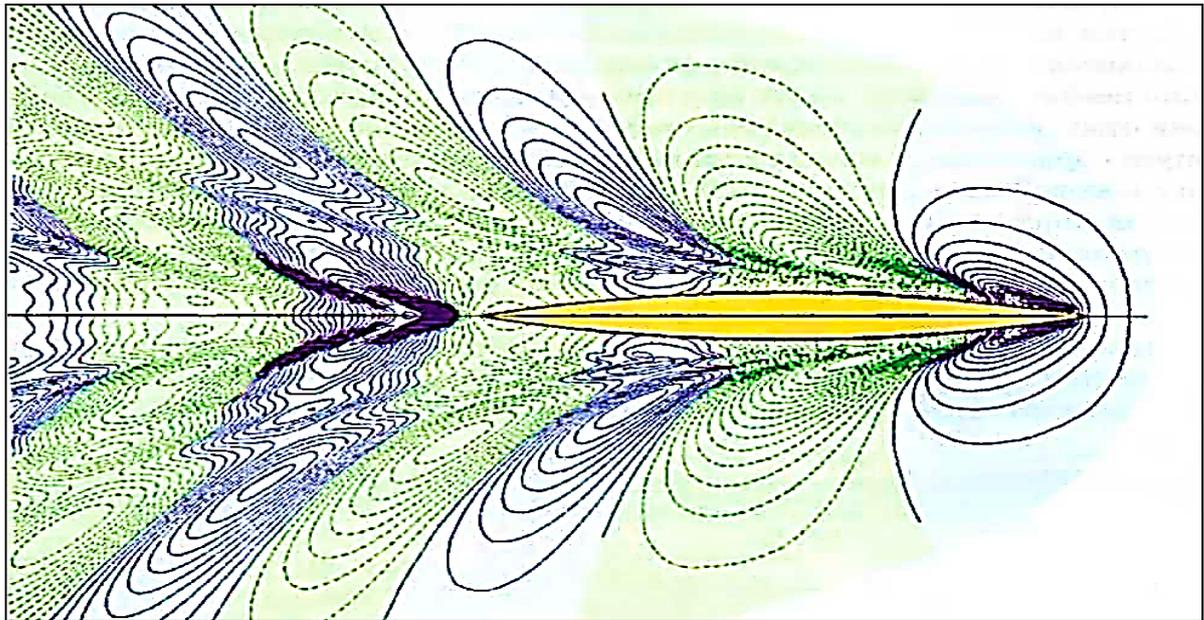


Рис.3.3. Корабельные волны: носовая система – угол 20° ;
кормовая система – угол 40° .

Общая характеристика судов определялась числом Фруда ($Fr \approx 0,1642V_c L_c^{-0,5}$), а характер взаимодействия с волной определяется отношением λ/L_c и A/H_c , где L_c – длина судна по действующей ватерлинии, H_c – высота надводного борта до главной палубы, м. Характеристики процесса взаимодействия судов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Расчётные характеристики движения буксируемых судов.

Характеристика	Обозначение	Численные значения								
		4	5	6	7	8	9	10	11	
Скорость (узл)	V_c									
Число Фруда: буксировщик буксируемое судно	$Fr_{бщ}$	0,062	0,077	0,093	0,11	0,125	0,141	0,157	0,172	
	$Fr_{бк}$	0,192	0,24	0,288	0,336	0,384	0,432	0,479	0,527	
Длина волны	λ	2,71	4,23	6,1	8,3	10,9	13,8	17,0	20,6	
Скорость волны	C	2,1	2,6	3,1	3,6	4,11	4,63	5,14	5,66	
Высота волны	h	0,36	0,5	0,66	0,83	1,02	1,21	1,42	1,64	
Амплитуда волны	A	0,18	0,25	0,33	0,42	0,51	0,61	0,71	0,82	
Отношение дл. буксировщика буксируемого	$\lambda/L_{бщ}$	0,024	0,0376	0,054	0,074	0,091	0,123	0,151	0,183	
	$\lambda/L_{бк}$	0,23	0,36	0,52	0,71	0,93	1,17	1,44	1,75	
Отношение высоты	$A/H_{бк}$	0,45	0,625	0,825	1,05	1,28	1,53	1,78	2,05	

Анализ расчётных данных показывает, что при скорости буксировки судов в 7,0 узлов буксировочное сопротивление буксира-толкача при $A/H_{\text{бк}} \approx 1,0$ достигает первого локального экстремума ($Fr_{\text{бк}} \approx 0,33$), а второго глобального экстремума ($Fr_{\text{бк}} \approx 0,5$) при скорости 10,5 узлов $A/H_{\text{бк}} \approx 2,0$ или $h/H_{\text{бк}} \approx 1,0$. Таким образом, угроза заливаемости главной палубы буксируемого судна возникла при скорости от 7,0 узлов и выше, а её максимум достигнут при скорости буксировки в 8,5 узлов. Хотя его проявления наблюдаются в диапазоне $\lambda/L_{\text{бк}} \in [0,7; 1,3]$, т.е. при $V_c \in [7,0; 9,5]$ узлов].

3.1.3. Исследование процесса воздействия волн на объект буксировки.

Ввиду допущения в расчётах регулярности волнения при установлении истинного проявления динамичности эффектов заливания и волнового резонанса буксируемого судна, для уточнения результатов представленного расчёта было осуществлено имитационное моделирование буксировки буксира-толкача с использованием программного комплекса «Flow Vision» в два этапа.

На первом этапе моделировались силы, которые действуют на корпус буксира-толкача без учёта вертикальных и угловых перемещений вокруг его поперечной оси (без учёта динамической просадки и дифферента) во время движения со скоростью 10,5 узлов (рис.3.4).

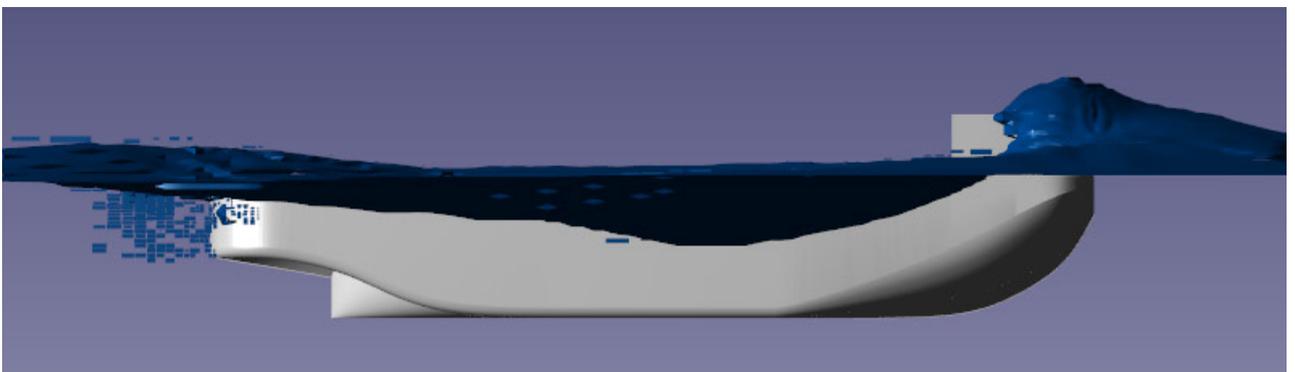


Рис.3.4. Характер заливания носовой части буксира-толкача ходовой волной с учётом динамической просадки без носового дифферента, вид с боку.

На втором этапе моделировались силы, которые действуют на корпус буксира-толкача с учётом вертикальных, но без учёта угловых перемещений вокруг поперечной оси судна (с учётом динамической просадки и ходового дифферента). Попытки учёта ходового дифферента при моделировании процесса движения приводили к полному погружению буксира-толкача в воду (рис.3.5).

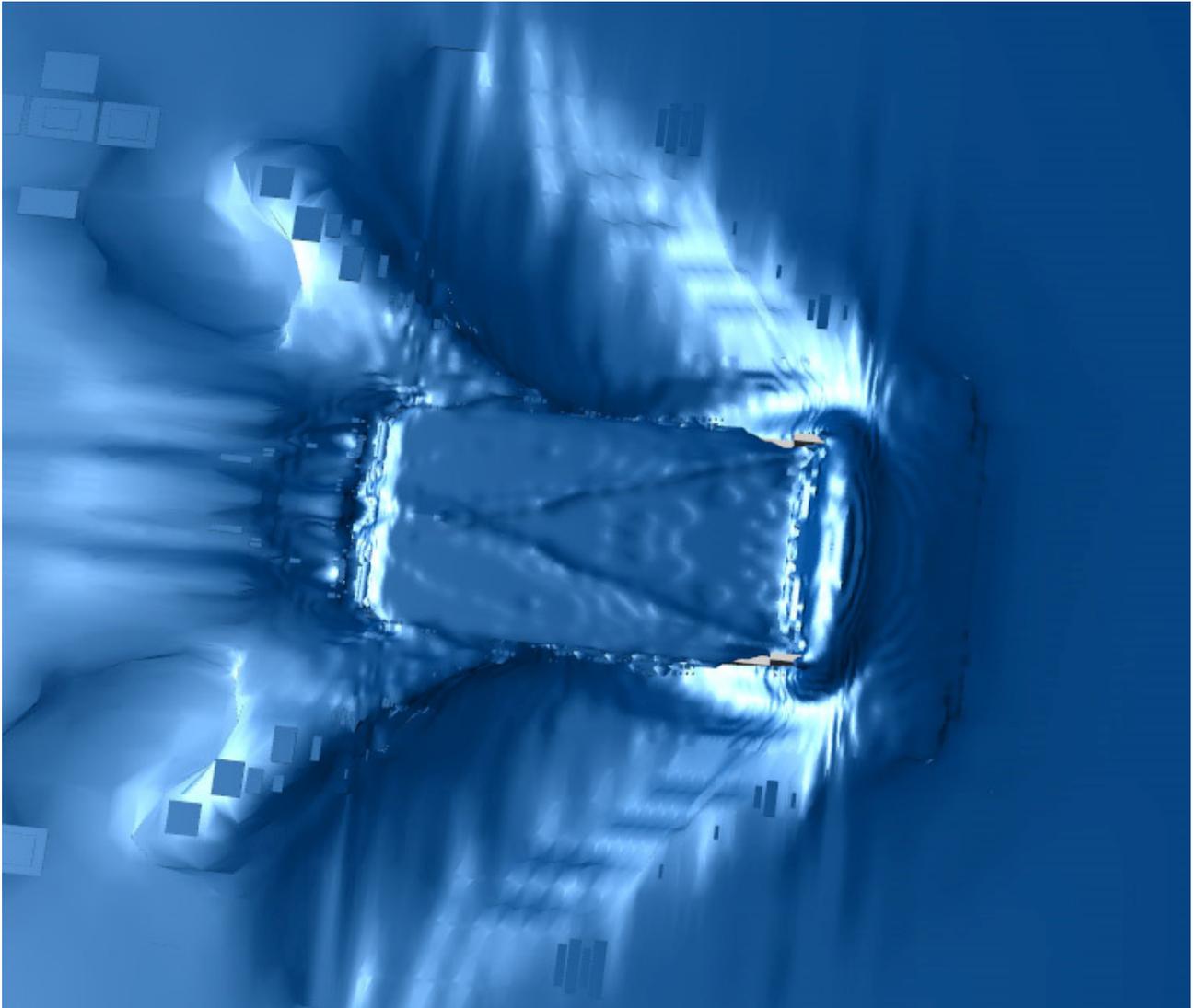


Рис. 3.5. Характер заливания буксира-толкача ходовой волной с учётом динамического проседания, но без носового дифферента, вид сверху.

Моделирование процесса генерации корабельных волн судном буксировщиком подтверждает факт появления системы носовых и кормовых расходящихся и поперечных волн, последняя из которых с амплитудой около 0,7 м (в расчётах 0,75 м) непосредственно воздействует на корпус буксируемого судна.

Подъём воды перед форштевнем буксируемого судна (бурун) по формуле Тасаки может достичь около 2,4 м, а колебания носовой части судна может составить около 3А, т.е. 2÷2,3 м. В свою очередь, суммарное перемещение носовой части буксира-толкача могут составить 4÷4,5 м относительно ватерлинии на тихой воде, что неизбежно приведёт к попаданию на главную палубу больших масс воды.

Обсуждение основных результатов. Буксировка маломерных судов на коротком буксире связана с потерей мореходности от резонансных воздействий корабельных волн соизмеримых с длиной буксируемого судна. Это подтверждается результатами расследования аварийного морского происшествия, руководящими и нормативными документами, теоретическими расчетами и имитационным моделированием.

Из-за низкой высоты надводного борта буксируемого объекта и плохой обтекаемости носовой части происходит ее "заныривание", создавая бурун значительной высоты. В такой ситуации, с учетом необходимости движения буксируемой системы в диапазоне резонансных скоростей, буксируемому судну следует работать в режиме одерживания, переводя работу своей энергетической установки на полный задний ход и не допуская рыскания.

Следует также отметить высокую достоверность графо-аналитических расчетов характеристик продольной качки маломерных судов, включая элементы волнового резонанса.

Это в полной мере можно отнести и к динамике волнового резонанса генерируемого буксировщиком реализованного методом имитационного моделирования. Однако следует отметить, что допущение о регулярности качки создает более благоприятные условия для процессов, снижающих их мореходность в сравнении с нерегулярным волнением, удлиняя период наступления негативного явления.

Наиболее благоприятным является движение буксирной системы при условии $\lambda / L_c < 0,7$, т.е. $V_c < 2\sqrt{L_c}$. Возможна и скоростная буксировка при

$\lambda / L_c > 1,3$, т.е. $V_c > 2,77\sqrt{L_c}$ исходящая из условий резонанса маломерного судна буксируемого на регулярной волне.

На основании анализа результатов математических расчётов параметров состояния буксируемых судов и качественно-количественного имитационного моделирования их движения в экстремальной волновой среде даже без учёта влияния струй от винтов буксировщика на носовую часть буксира-толкача свидетельствует о неизбежном попадании больших масс воды на палубу буксира-толкача, а любой, даже самый малый манёвр, случайная незначительная смена курса буксируемым судном в силу высокой скорости и наличия больших масс воды неминуемо приводит к потере остойчивости и его опрокидыванию.

Вместе с тем, наблюдалась успешная буксировка этого объекта в аналогичном скоростном режиме подобным судном-буксировщиком. Только в последнем случае поворотные рулевые колонки судна были установлены на «полный ход назад». Исследование такого режима буксировки с учётом работы средств активного управления судном стало предметом дальнейших исследований по успешному управлению скоростной буксировкой.

3.1.4. Условия безопасного управления скоростным режимом буксирной системы, находящейся под действием корабельных волн.

Рассматривается буксирная система (рис. 3.1) с судами, валовая вместимость которых отличается более чем в 105 раз, а скоростной режим почти в четыре (3,75) раза. Безопасный скоростной режим буксировки обеспечивается при условии $V_c < 2\sqrt{L_{\delta c}}$, т.е. $V_c < 6,8$ узла. После чего наблюдаются резонансные воздействия корабельных волн, вызывая продольную качку буксируемого объекта с перемещением носовой части до 3-х и более амплитуд корабельной волны (от 2 до 4,5 метров) при высоте надводного борта 0,375 метра. Такие динамические нагрузки, когда судно практически погружается под воду приводит к АМП. Явление резонанса продольной качки должно прекратится при $V_c > 2,77\sqrt{L_{\delta c}}$, т.е. $V_c > 9,4$ узла.

Аналитический расчет показывает резонанс продольной качки, в то время как судно опрокинулось при $V_c \in (11,0; 11,4)$ узлов. Результаты имитационного моделирования процесса взаимодействия судна с корабельным волнением указывают на то, что, кроме резонанса качки, развивается и явление заливаемости судна, которое увеличивается с повышением скорости буксировки.

Как показывают наблюдения опрокидывание произошло при положении органов управления ВРК в положении «вперед – влево» (рис. 3.2), что из-за ослабления натяжения буксирной линии привело к увеличению дифферента судна на нос (заныриванию) с увеличением заливаемости.

Опыт предыдущих аналогичных буксировок (более десяти) подтверждает успешность доставки буксиров на большие расстояния для последующего сопровождения буксировщика, развода мостов для его прохода, постановку на бочки либо отшвартовки к отдаленному причалу. При этом органы управления буксира-толкача находились в положении «назад-накрест» с работой двигателей ВРК на полную мощность. Такое положение органов управления, обеспечивающих режим «одерживания» за счет натяжения буксирной линии снижает дифферент с носа на корму судна, обеспечивая ему подъемную силу достаточную для компенсации его заливаемости.

Под действием собственных кормовых поперечных (корабельных) волн многотоннажного буксировщика в зависимости от скоростного режима буксировки буксируемый объект находится в устойчивом состоянии при $V_c \leq 2\sqrt{L_{\delta c}}$, в состоянии резонанса от продольной качки $2\sqrt{L_{\delta c}} < V_c \leq 2,77\sqrt{L_{\delta c}}$ и неустойчивого зарезонансного состояния при $V_c > 2,77\sqrt{L_{\delta c}}$.

Стабилизирующим движение буксируемого объекта является его посадка и режим хода для обеспечения подъемной силы, которая достигается при максимально допустимом дифференте на корму, работой гидропульсивного комплекса на ПЗХ, без крена – руль «ПРЯМО».

Поэтому необходимым условием устойчивости буксируемого объекта, на коротком буксире является скоростной режим при $V_c < 2\sqrt{L_{\delta c}}$, а достаточным – режим «одерживания» с максимально допустимой посадкой на корму.

Научным результатом решения первой вспомогательной задачи является утверждение о том, что безопасность скоростной зарезонансной буксировки обеспечивается режимом максимального «одерживания» буксируемого судна, что создает максимальный кормовой дифферент и максимальный угол атаки судна.

3.2. Анализ последствий рывка в буксирной системе.

Решение второй вспомогательной задачи необходимо для обеспечения безопасности буксировщика в ситуации, когда его водоизмещение в несколько раз меньше буксируемого объекта, а буксирная связь очень короткая. Значительная инерционность объекта даже при соизмеримых скоростях движения способна совершить работу относительно буксировщика в случае его остановки или предельного отклонения.

Ввиду серьезности рассматриваемой ситуации установление физических свойств системы, логики действий и эвристичности принимаемых решений в процессе буксировки целесообразно осуществлять путем анализа эмпирических данных методом экспертного оценивания АМС.

Постановка задачи в общем виде вызвана тем, что буксирная система «буксировщик – буксирная связь – буксируемый объект» представляет весьма сложную в управлении структуру. Не все этапы буксирной операции достаточно изучены, а потому требуют определённых уточнений. Известно, что характерной особенностью сложных буксирных операций является высокая вероятность потери ходкости и (или) управляемости буксирной системы, что, в свою очередь, может стать основной причиной аварий при выполнении буксировки [61].

Например, на одном из судов буксирной системы могут возникнуть непредвиденные обстоятельства: остановка главного двигателя (ГД), рулевого

или якорного устройства; неправильное восприятие команды «на руль» или в «машину»; непрогнозируемый маневр; внезапное ухудшение видимости и т.д.

Поэтому необходимо всегда быть готовым к принятию быстрых и решительных мер по избеганию аварии, включая возможную опасность опрокидывания одного из судов. Так при кантовке больших судов наиболее опасным является положение буксирного троса в траверзном направлении относительно судов буксирной системы, что может привести к потере устойчивости при рывке. Резкое увеличение кренящего их момента наблюдается при: неравномерной работе ГД буксировщика, рыскании судов, страгивании с места буксируемого объекта в начале буксировки, резком повороте буксира, внезапно налетевшем шквале, т.е. в случаях импульсных и скачкообразных динамических нагрузок на буксирный трос [67].

Опыт морской практики подсказывает, что умелое управление буксирным караваном может исключить или свести до минимума действие неожиданного рывка.

К мерам предупреждения опрокидывания буксировщика относят: возможность немедленной отдачи буксирного троса; своевременное предупреждение капитана буксира о начале работы ГД или об изменении режима работы энергетической установки буксируемого судна и, наоборот; остановка буксируемого судна до момента, когда буксировщик развернется в безопасное положение; остановка судна и отдача буксирного троса при возникновении на буксировщике крена во избежание его опрокидывания. Кроме того, при подаче команды «на руль» или «в машину» необходимо следить за правильным ее выполнением, обращая внимание на движение стрелки аксиометра при перекладке руля и на показания тахометра при работе ГД. Если команда «на руль» выполнена неправильно, то рекомендуется поставить руль «прямо», после чего дать нужную команду. Если команда в центральном посту управления машинного отделения (ЦПУ МО) принята неправильно, то следует остановить ГД, а затем подать нужную команду.

На буксировщике у буксирного гака должен быть инструмент для приведения в действие отдающего устройства, а на буксируемом судне – инструмент, позволяющий перерубить буксирный трос.

С уменьшением скорости буксировки управляемость буксирной системы ухудшается. Управляемость буксира тем хуже, чем больше натяжение буксирного троса и чем дальше точка его закрепления отнесена в корму от миделя. Расположение точки закрепления буксирного троса вблизи миделя значительно улучшает управляемость, но при боковом рывке буксирного троса возникает динамическое усилие, которое может привести к опрокидыванию буксира. Возможность закрепления буксирного троса вблизи миделя может быть обеспечена лишь при наличии на буксире чистой палубы в корму от миделя. Это обеспечит: свободное перемещение буксирного троса с борта на борт при перемене курса; более удобное размещение буксирного оборудования и уменьшение длины буксира, что важно для маневрирования в стеснённых условиях акватории порта.

Недостаточная устойчивость буксируемого судна на курсе приводит к сильному зарыскиванию, затрудняющему буксировку. Так при повороте судна точка приложения равнодействующей сил сопротивления воды, лежащая в носовой части корпуса, смещается в сторону поворота от курса буксировки. Это создаёт момент, вращающий судно в сторону начавшегося поворота. Отклонению судна от курса препятствуют натяжение буксирного троса и величина момента от перекладки руля, который незначителен вследствие малой скорости буксировки. При этом руль у буксируемого судна может бездействовать. Противодействие буксирного троса рыскливости тем сильнее, чем короче буксирный трос и чем ближе к форштевню буксируемого судна он закреплен. При креплении буксирного троса вдали от форштевня для уменьшения рыскливости его следует выводить через носовой центральный клюз или раскреплять в поперечном направлении вблизи форштевня. Крепление буксирного троса на буксируемом судне в стороне от диаметральной плоскости (ДП) или вывод его через бортовой клюз приводит

к тому, что буксируемое судно будет идти с некоторым постоянным дрейфом. Вследствие этого буксировочное сопротивление буксируемого судна увеличится, а рыскливость резко уменьшится. Такой же эффект будет при перекладке руля буксируемого судна на борт и закреплении его в этом положении. К уменьшению рыскливости судна приводит также создание дифферента на его корму.

В задачи исследования входили: анализ нетипичных причин опрокидывания портового буксира; разработка сценария опрокидывания и затопления буксира, а также мероприятий по обеспечению безопасности буксировщика.

Изложение основного материала исследования начинается с того, что портовые буксиры транспортно–маневрового назначения – суда с малыми размерами корпуса, минимальной величиной надводного борта и высокими маневренными качествами. Их конструктивные особенности обусловлены свободой маневрирования между судами, судами и причалами, проходом под натянутыми швартовными концами, под кормовыми подзорами транспортных судов, т.е. работать в сложной обстановке, характерной для стеснённых портовых акваторий.

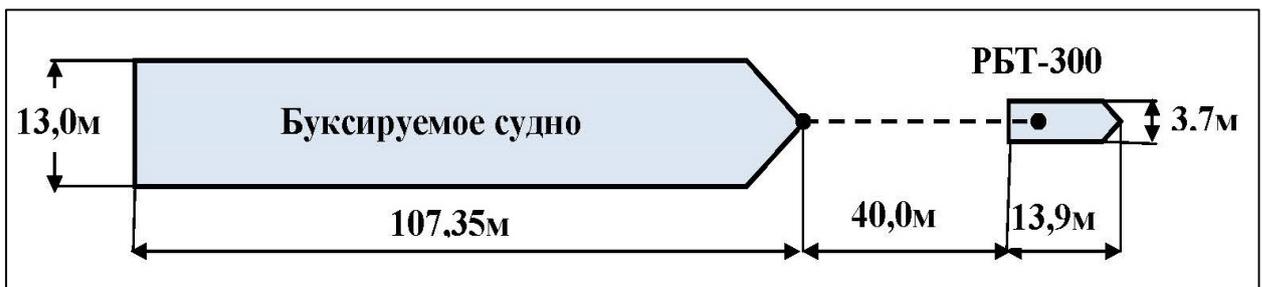


Рис.3.6. Схема буксирной системы.

Объектом исследования стала буксирная система (рис. 3.6), включающая портовый буксир типа РБТ-300 – однопалубный, двухвинтовой, ледокольный малогабаритный буксир-толкач с жилыми и служебными помещениями в корпусе и ходовой рубкой на палубе предназначенный для портовых и рейдовых работ, буксировки несамоходных судов в речных и морских портах, на реках, озерах и водохранилищах. Удаление от места

укрытия не более 20 км, при силе ветра не более 8 баллов. Буксир приспособлен для преодоления непрерывным ходом ледяных полей толщиной 20-25 см и форсирования льдин толщиной до 40-50 см. Основной деталью буксирного устройства является буксирный гак, который крепится катающимся роликом к буксирной дуге, расположенной позади миделя за рубкой, вблизи точки, через которую проходит ось вращения буксира на циркуляции. Радиус кривизны буксирной дуги равен расстоянию от неё до центра тяжести буксира. Для наилучшей управляемости буксира гак перемещается с борта на борт относительно ДП по буксирной дуге. Для повышения безопасности буксирная дуга закреплена в шарнирах. Отдача гака осуществляется из рубки механическим способом. В случае натяжения буксирного троса, когда из рубки отдать гак невозможно, отдача гака осуществляется ударом лома или кувалды в месте его установки.

Основные размерения и характеристики буксировщика типа РБТ-300 (рис. 3.7): длина – 13,5м; ширина – 3,7м; осадка – 1,6м; высота борта – 2,3м; надводный борт – 0,8м, масса буксира – 32 т; максимальная скорость – до 10 узл.; полная мощность 2-х ГД – 225 кВт. Реверс-редуктор несоосный с фрикционной двухдисковой муфтой и шестерёнчатый одноступенчатый редуктором.



Рис.3.7. Общий вид буксира типа РБТ-300

При небольших размерениях и малом водоизмещении энерговооружённость буксировщика составляет около 3,5 кВт/т с тягой на гаке около 310кН. В результате этого РБТ-300 обладает высокими маневренными качествами, и в отличие от обычных буксиров, повороты, остановки при перемене хода и набор им скорости при трогании с места происходит гораздо быстрее.

Согласно «Информации об остойчивости для капитана» при управлении буксиром на ходу порожнем и при буксировке в нормальных эксплуатационных условиях, включая и случаи съёмки судов с мели, остойчивость буксира достаточна. В стеснённых условиях, когда РБТ-300 теряет свободу перемещения в случае посадки на мель или при навале на буксируемое судно, остойчивость может оказаться недостаточной, и буксир, лишённый возможности вывернуться кормой в направлении натяжения буксирного троса, может получить опасный крен, при котором произойдёт заливание и опрокидывание буксира. Остойчивость может также оказаться недостаточной в результате неправильного выполнения манёвра, когда буксирный трос окажется под корпусом судна и получит при этом натяжение. Реакцией на такие ситуации является немедленная отдача гака.

Обычно длина буксирного троса должна составлять не менее 50 м, но при буксировке на коротком буксире следует соблюдать особую осторожность: внимательно следить за направлением буксирного троса, не допуская зарыскивания и отклонения буксирного троса от ДП буксира более чем на 40° ; угол опрокидывания буксира составляет $40^\circ \div 47^\circ$; угол заливаемости – $43^\circ \div 48^\circ$; угол входа палубы в воду – $13^\circ \div 19^\circ$; угол крена от поперечного рывка буксирного троса – до $37,5^\circ$; буксирный трос следует всегда держать в диаметральной плоскости, дверь левого борта – закрытой, так как при крене на левый борт заливание буксира через люки машинного отделения и кубрики может произойти значительно ранее, чем при крене на правый борт.

Буксируемое судно – смешанного плавания, типа Волго-балт 1971 года постройки: длина – 107,35 м, ширина – 13,0 м, высота борта – 5,5 м, осадка носом – 2,17 м, осадка кормой – 2,69 м, два ГД мощностью – 1030 кВт, в 4,5 раза мощнее буксировщика, энергоэффективностью 0,38 кВт/т.

Положение судов от начала буксировки до затопления буксировщика представлено на рис.3.8. Буксировка осуществлялась в порядке с помощью синтетического буксирного троса длиной около 40 метров окружностью 180 мм, заведённого с буксирного гака РБТ-300 на кнехты правого борта буксируемого судна через его центральный носовой клюз при благоприятных погодных условиях: ветер южный 4÷9 м/с; без осадков; видимость до 12 км; температура воздуха около + 4,3°С; температура воды + 1,4°С.

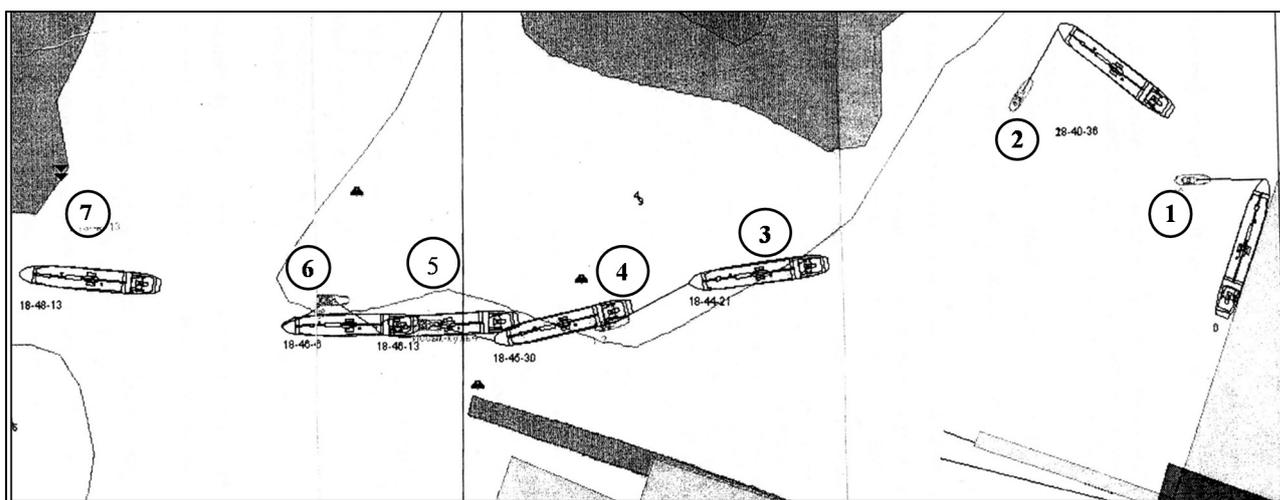
Анализ процесса буксировки осуществлялся хронологически по данным береговой системы АИС (таблица 3.3).

Таблица 3.3. Хронология движения анализируемой буксирной системы

№ п/п	Время (час:мин:сек)	Буксируемое судно		РБТ-300		Скоростной градиент (узл)
		Курс (град)	Скорость (узл)	Курс (град)	Скорость (узл)	
1.	18:40:36	308	2,2	249	1,6	- 0,6
2.	18:40:42	308	2,2	215	2,2	0,0
3.	18:41:10	308	2,2	233	2,2	0,0
4.	18:44:21	262	3,5	258	3,6	+ 0,1
5.	18:45:30	257	4,2	271	4,2	0,0
6.	18:46:32	265	4,6	273	4,3	- 0,3
7.	18:46:59	277	4,6	291	2,2	- 2,4
8.	18:47:02	282	4,5	Буксир перевернулся и затонул		

В результате анализа установлено, что до 18ч.46м.32с. буксировка происходила в штатном запланированном режиме (позиции 1÷6 табл.3.6) при синхронной скорости буксировки судов от 1,6 до 4,6 узла и изменении направления движения от 249° до 273°.

Начиная с позиции 6 (18ч.46м.32с.) скорость буксира резко уменьшилась в два раза: с 4,3узлов до 2,2узлов (позиция 7).



	Время (ч:м:с)	Буксируемое судно		Буксировщик		Скоростной градиент (узл)
		Курс (град)	Скорость (узл)	Курс (град)	Скорость (узл)	
1.	Отшвартовка от причала					
2.	18:40:36	308	2,2	213	2,2	0,0
3.	18:44:21	263	3,7	259	3,6	- 0,1
4.	18:45:30	256	4,2	270	4,0	- 0,4
5.	18:46:13	270	4,6	272	3,9	- 0,7
6.	18:46:59	277	4,6	291	2,2	- 2,4
7.	18:48:13	Следует на «якорь»		Переворот и затопление		

Рис.3.8. Результаты счисления пути судов буксирной системы по данным БРЛС.

В позиции 7 (18ч.46м.59с.) направление поступательного движения обоих судов оставалось почти однонаправленным с разностью в 14° . При этом минимальная скорость движения РБТ-300 составила 2,2 узла, а буксируемого судна – около 4,6 узла.

В период полуминуты, с 18ч.46м.32с до 18ч.47м.02с, скорость буксируемого судна была достаточной, чтобы настичь буксировщик.

Буксир ударился кормой левого борта в правый борт буксируемого судна, получил резкий динамический рывок буксирного троса, опрокинулся через правый борт и затонул. После подъёма РБТ-300 было установлено положение его органов управления на момент затопления.

Ручка машинного телеграфа левого двигателя находилась в положении работы левого ГД «полный вперёд», а правого ГД в положении – «стоп» (рис.3.9).

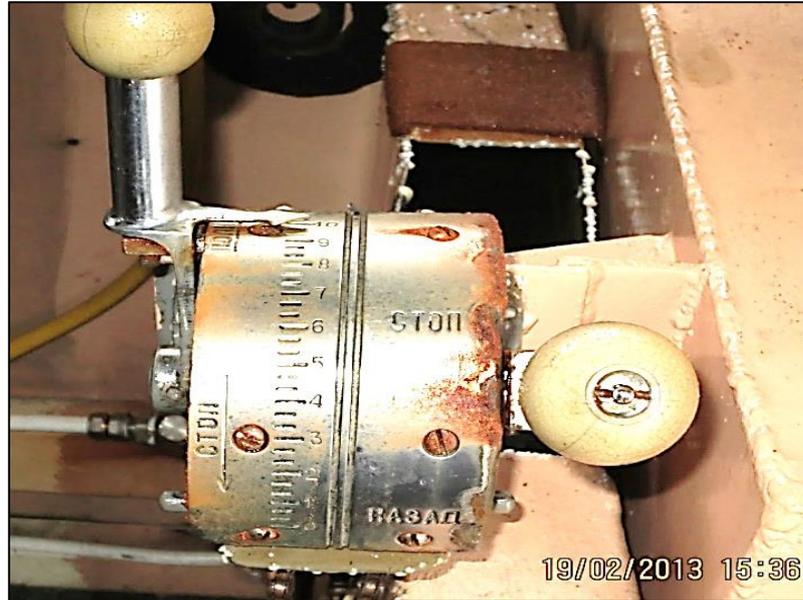


Рис.3.9. Положение ручек машинного телеграфа перед опрокидыванием буксира.

Аксиометр положения пера руля находился в положении «лево на борт» (рис.3.10).



Рис. 3.10 Положение руля зафиксированное на аксиометре - «лево на борт».

Буксирный гак и буксирный синтетический трос находились на левом борту, буксирная дуга имеет значительную деформацию (рис.3.11) с разрывом ограничителя левого борта приваренного к палубе (рис.3.12).



Рис.3.11. Буксирный гак и буксирный трос на левом борту, деформированная буксирная дуга.



Рис. 3.12. Положение ограничителя буксирной дуги.

На рисунке 3.13 представлено развитие ситуации, приведшее к аварии – перевороту с последующим затоплением буксировщика, из которого следует, что буксир взял слишком круто вправо (позиция 1), а буксируемое судно, двигаясь с постоянной скоростью вперед, стало его догонять и обгонять.

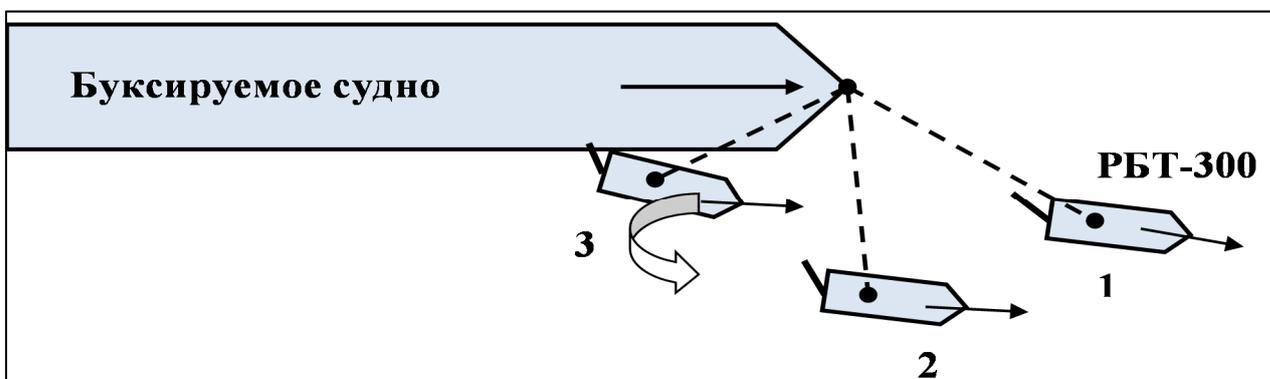


Рис.3.13. Этапы развития аварийной ситуации затопления буксира РБТ-300.

В этой ситуации буксир уже не смог лечь на курс параллельный судну. Из-за короткого буксирного троса буксировщик был не в состоянии выйти из положения 2 без отдачи буксирного троса. В противном случае буксировщик будет двигаться по окружности радиусом 40 м с центром у носового клюза буксируемого судна и обязательно ударится о его борт либо своей кормой, либо своим левым бортом (в данной ситуации) и перевернётся, что и привело к его опрокидыванию и затоплению (позиция 3).

Анализ результатов развития аварийной ситуации и опрокидывания портового буксира типа РБТ-300 указывает на то, что: опасным является динамическое наклонение от рывка короткого буксирного троса, при котором буксировщик испытывает действие, подобное удару, а натяжение буксирного троса может во много раз превзойти величину тяги буксира при движении с постоянной скоростью даже на прямом курсе: особенно опасен для буксира поперечный рывок, когда буксирный трос выходит на угол под 90° к ДП буксировщика, а кренящий момент при рывке настолько велик по сравнению с восстанавливающим, что неминуемо приводит к потере устойчивости и опрокидыванию буксира; невыполнение капитаном

буксировщика требований «Информации об устойчивости для капитана» и пренебрежение обычной морской практикой при буксировках создало аварийную ситуацию с потерей устойчивости буксира и его затоплением в акватории порта.

Для повышения безопасности буксировок следует: на всех портовых буксирах, особенно типа РБТ-300, согласовать с классификационным обществом установку ограничителей движения буксирного гака до 40° по буксирной дуге (рис. 3.14 и 3.15);

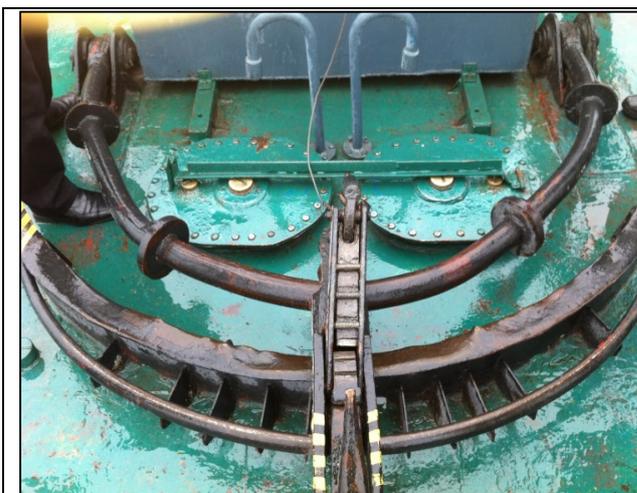


Рис.3.14. Схема установки ограничителей на буксирной дуге безопасного движения гака.

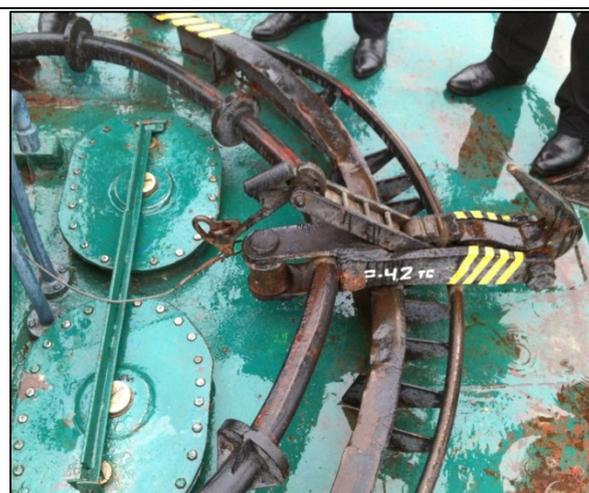


Рис.3.15. Схема установки ограничителей на буксирной дуге безопасного движения гака.

буксирную дугу не фиксировать от её движения по вертикали как это было сделано в рассматриваемой аварийной ситуации; предварительно согласовать технологию буксировки между судами с учётом их технических характеристик, устойчивости и ходкости; избегать рывков буксирного троса в поперечном или близком к 90° направлениях.

Безопасная буксировка судов требует равномерного движения буксирной системы соблюдения требуемой классификационным обществом минимальной длины буксирного троса и обеспечения буксира надёжным буксирным оборудованием с ограничениями поперечного перемещения троса и его быстрой отдачи в случае крайней необходимости.

Следует также учитывать особенности движения тела по окружности. Особенно это касается действия ускорения, которое всегда перпендикулярно

к центробежной скорости буксира, причем чем меньше радиус окружности тем больше ускорение определяемое как V_{δ}^2/r . Для рассматриваемого случая V_{δ} с учетом поступательного движения буксируемого судна составит 1,2 м/с (табл. 3.6), а $r \approx 40$ м. Тогда радиальное ускорение a_r составит $0,036 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$, а время до соударения составит $t = \sqrt{r/a_r} = 33,3 \text{ с}$. В случае, когда буксировщик начинает двигаться по линии окружности с радиусом $R_{\text{ц}} = 40 \text{ м}$, то его путь составит $\pi R_{\text{ц}}$. Таким образом скорость буксировщика снижается в π раз, что, безусловно, увеличивает более чем в 3 раза время на принятие решения капитаном буксируемого судна. Поэтому буксируемому судну рекомендуется снизить скорость и отвернуть от опасности за указанное время после отдачи буксира или обрубить буксир. В связи с этим используем процесс его возможного торможения способом «одерживания».

3.2.1. Исследование процесса движения буксируемого объекта в режиме «одерживания».

Для «одерживания» судна, оборудованного винто-рулевыми колонками (ВРК), требуется наличие его тормозных характеристик для управляемого изменения скорости и направления поступательного движения при работе двигателей ВРК с максимальным упором.

Идея такого вида торможения связана с лыжным спортом, когда лыжник подтормаживает движения клином: носами лыж во внутрь.

В задачи исследования входило:

- имитационное моделирование процесса подтормаживания судна клином;
- статистическая обработка результатов моделирования, и установление скоростной характеристики ВРК.

Решение поставленных задач осуществлено с использованием полномасштабного тренажера компании Transas “Navi-Trainer 5000 Pro” и математической модели судна типа река-море (водоизмещение 6716 тонн, версия V17). Размерения судна: длина по КВЛ 134,0 м; ширина 16,6 м; осадка 3,7 м; мощность двигателей 2×971 кВт; тип движителей FPP.

В процессе моделирования контролировались и вычислялись следующие конечные параметры:

- положение ручек ВРК $\alpha_{П,Л}$ от 0 до 360°;
- падение скорости $|-V|$ от 0 до 20 узлов;
- период торможения T от 0 до 520 с;
- период максимального торможения T_{\min} от 33 до 120 с;
- период хода «Вперед» до смены направления движения T_0 от 104 до 123 с.

В таблице 3.4 приведены кинематические данные результатов имитационного моделирования динамического процесса торможения клином вышеуказанного судна при положении ручек ВРК от 0 до 180° расположенных «накрест» относительно оси диаметральной его плоскости.

Обработка результатов моделирования позволила установить нелинейную связь между модулем падения скорости движения судна управляемого ВРК по типу «накрест» относительно диаметральной оси судна при торможении клином.

Экспериментальная зависимость $|-V| = f(\alpha_{П,Л})$ получена в виде кусочно-линейной функции, прямолинейные участки которой аппроксимированы по методу наименьших квадратов, имеет следующий аналитический вид:

$$|- \Delta V | = \begin{cases} 0,2\alpha_{П,Л} & \text{при } 0 \leq \alpha_{П,Л} \leq 30; \\ 0,19\alpha_{П,Л} - 5,1 & \text{при } 30 \leq \alpha_{П,Л} \leq 90; \\ 0,128\alpha_{П,Л} + 0,48 & \text{при } 90 \leq \alpha_{П,Л} \leq 145; \\ 19,4 & \text{при } 145 \leq \alpha_{П,Л} \leq 180. \end{cases} \quad (3.2)$$

Аналогичную величину $|- \Delta V |$ можно получить графоаналитическим методом построения компонент суммарного вектора скорости судна:

$$|- \Delta V | = V_H (1 - \cos \alpha_{nl}). \quad (3.3)$$

Для определения погрешности формул (3.2) и (3.3) в сравнении с результатами имитационного моделирования (табл.3.4) составим сравнительную таблицу 3.5.

Таблица 3.4. Кинематические и динамические характеристики судна с РПК при торможении «НАКРЕСТ» со скорости 12,00

УЗЛОВ

№ п/п	Положение ручек ВРК $\alpha_{пл}/\alpha_{д}$, град	$ \Delta V $, узлы	$ \Delta V $, %	T , с	$-\Delta S$, м	$-a$, $м \cdot с^{-2}$	$-\tau$, $с^2 \cdot м^{-1}$	T_{min} , с	$-\Delta S_{min}$, м	$-a_{min}$, $м \cdot с^{-2}$	$-\tau_{min}$, $с^2 \cdot м^{-1}$	T_0 , с
1	0/0 (360)	0/12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	10/10 (350)	0,009	0,075	033,0	0,153	$1,4 \cdot 10^{-4}$	7127,4	33,0	0,153	$1,4 \cdot 10^{-4}$	7127,4	
3	20/20 (340)	0,235	1,96	518,0	62,62	$2,3 \cdot 10^{-4}$	4285,1	72,5	8,8	$16,7 \cdot 10^{-4}$	599,2	
4	30/30 (330)	0,60	5,0	259,0	79,3	$11,9 \cdot 10^{-4}$	839,2	119,0	36,7	$25,9 \cdot 10^{-4}$	385,6	
5	40/40 (320)	2,2	18,3	340,0	384,8	$33,3 \cdot 10^{-4}$	300,4	87,2	94,2	$129,8 \cdot 10^{-4}$	77,05	
6	50/50 (310)	4,47	37,2	350,3	805,5	$65,6 \cdot 10^{-4}$	152,3	77,5	178,2	0,0297	33,7	
7	60/60 (300)	7,11	59,25	340,0	1243,5	0,0108	92,9	71,8	262,6	0,0509	19,63	
8	70/70 (290)	9,25	077,1	265,0	1260,9	0,01795	55,7	57,3	272,6	0,083	12,04	
9	80/80 (280)	10,7	88,89	256,0	1409,0	0,0215	46,51	62,85	345,9	0,0875	11,42	
10	90/90 (270)	12,0	100,0	292,0	1802,4	0,0211	47,3	56,23	347,1	0,11	9,11	
11	100/100 (260)	13,0	108,33	256,0	1711,9	0,0261	38,3	54,5	364,45	0,1227	8,15	129
12	110/110 (250)	14,3	119,7	303,0	2229,0	0,0243	41,2	79,0	581,1	0,0931	10,74	112
13	120/120 (240)	15,7	130,8	350,6	2795,0	0,023	43,4	102,5	827,8	0,0788	12,7	122,4
14	130/130 (230)	17,1	142,7	321,2	2829,5	0,0274	36,5	73,35	646,1	0,12	8,33	106,2
15	140/140 (220)	18,4	153,1	305,5	2887,6	0,0309	32,32	82,1	776,0	0,115	8,69	107,8
16	150/150 (210)	19,0	158,3	304,3	2976	0,0321	31,15	77,2	754,5	0,1266	7,9	110,2
17	160/160 (200)	19,4	161,5	292,0	2910,2	0,0341	29,3	78,2	779,4	0,1275	7,85	104,2
18	170/170 (190)	19,4	161,5	273,4	2724,8	0,0364	27,4	79,4	791,3	0,1255	7,97	108
19	180/180	19,4	161,5	280,0	2790,6	0,0356	28,1	75	747,5	0,133	7,525	106
Среднее значение				300±50				74,3±24				112±12

Обращает на себя внимание величина периода торможения которая составила 300 ± 50 с, что на порядок выше необходимой. Поэтому от этого режима следует воздерживаться в случае угрозы рывка, но использовать для обеспечения посадки судна на корму – режима «одерживания», а в рассматриваемом случае $\alpha_{Л,П} = 180^\circ$ при максимальной эксплуатационной мощности двигателя.

Таблица 3.5. К определению погрешностей обработки результатов имитационного моделирования торможения судна клином при $V_H = 12,0$ узлов

$\alpha_{П}/\alpha_{Л}$, град	$ \Delta V $, узлы	Формулы		$\alpha_{П}/\alpha_{Л}$, град	$ \Delta V $, узлы	Формулы	
		(3.2)	(3.3)			(3.2)	(3.3)
10/350	0,009	0,2	0,182	100/260	13,0	12,32	14,08
20/340	0,235	0,4	0,72	110/250	14,3	14,56	16,1
30/330	0,60	0,6	1,61	120/240	15,7	15,84	18,0
40/320	2,2	2,5	2,8	130/230	17,1	17,12	19,71
50/310	4,47	4,40	4,28	140/220	18,4	18,4	21,2
60/300	7,11	6,3	6,0	150/210	19,4	19,4	22,4
70/290	9,25	8,2	7,9	160/200	19,4	19,4	23,3
80/280	10,7	10,1	9,91	170/190	19,4	19,4	23,82
90/270	12,0	12,0	12,0	180/180	19,4	19,4	24,0

Анализ данных табл.3.5 показывает на недостаточную выраженность эффекта торможения судном при $\alpha_{П,Л} < 30^\circ (330^\circ)$ и после реверса ВРК «НАЗАД» при $90^\circ (270^\circ) < \alpha_{П,Л} \leq 130^\circ (230^\circ)$ в сравнении с графоаналитическими данными определяемыми по формуле (3.3). Это, по-видимому, связано с формой корпуса судна при его движении вперед и назад, а также учетом фактора его инерционности.

В процессе реверса движения судна учитывалась неоднозначность носовой и кормовой формы корпуса из-за чего номинальная скорость заднего хода при $\alpha_{П,Л} = 360^\circ/360^\circ$ снижается до $0,6V_H$, т.е. до 60% от скорости ПП при $\alpha_{П,Л} = 0/0$.

Период переходного процесса в среднем составляет 300 с, что вполне приемлемо для судов такого класса.

Торможение клином исследовано на глубокой и тихой воде, поэтому физические возмущения со стороны внешней среды будут увеличивать период торможения и уменьшать величину $|\Delta V|$.

Сравнительный анализ разгонных характеристик судна при торможении клином указывает на отличие значений кинематического показателя $|\Delta V|$ при острых углах образовавшегося клина $\beta = 180 - (\alpha_{II} + \alpha_{LI}) < 90$.

3.2.2. Установление устойчивого скоростного режима движения буксирной системы на коротком буксире.

При буксировке на буксирном тресе длиной $L_T \leq 50$ м эффект:

- заливаемости носовой оконечности буксируемого судна максимальный при условии равенства его длины L_{bc} длине собственной поперечной кормовой волны буксирующего судна $\lambda_{w(\delta)}$, т.е. при $V_{\delta(3)} \approx 2,43\sqrt{L_{\delta c}}$ или $V_{\delta(3)} \approx 4 \cdot H_{\delta c}$;
- слеминга может наблюдаться на буксируемом судне в случае, когда амплитуда собственной волны буксира A_w в шесть с половиной раз превышает осадку $T_{\delta c}$ буксируемого судна, т.е. $V_{\delta(c)} \approx 6,45T_{\delta c}^{0,67}$;
- резонанса килевой качки у буксируемого судна при одинаковых курсовых углах буксируемого состава будет наблюдаться при $V_{\delta(p)} \approx 7,3\sqrt{T_{\delta c}}$, а при различных курсовых углах ΔK_y явление резонанса будет наблюдаться на скорости буксировки равной $V_{\delta(p)} \approx -\cos(\Delta K_y) / [0,64 \cdot (1 - 2,4\sqrt{T_{\delta c}})]$.

Таким образом, для обеспечения мореходности буксируемого судна скорость буксировки (м/с) не должна превышать при $L_{\delta} \geq L_{\delta c}$:

$$V_{\delta} < \begin{cases} 1,25\sqrt{L_{\delta c}}; \\ 4H_{\delta c}^{0,67} \text{ при } \Delta K_y = 0; \\ -\cos(\Delta K_y) / [0,64(1 - 2,4\sqrt{T_{\delta c}})] \text{ при } \Delta K_y < 90^{\circ}. \end{cases} \quad (3.4)$$

При управлении судном с помощью ВРК положение ее ручек соответствует следующим маневрам (табл. 3.6), которые были апробированы в результате имитационного моделирования.

Таблица 3.6 – Положение ручек управления ВРК в различных режимах движения судна

№ п/п	Режим движения	Положение ПРК, град		Положение винтов ПРК	
		левая	правая	левый	правый
1	Вперед	0	0	↓	↓
2	Назад	180	180	↑	↑
3	Стоп	90	270	←	→
4	Правый борт	30	210	↙	↗
5	Левый борт	150	300	↘	↖
6	Поворот ПХ:				
	Вправо	0	330	↓	↘
	Влево	30	0	↙	↓
7	Поворот ЗХ:				
	Вправо	150	135	↘	↙
	Влево	225	210	↖	↗
8	Разворот на месте:				
	Вправо	120	60	↘	↙
	Влево	300	240	↗	↖

Результирующий упор гребных винтов ВРК составит:

$$F_R = (F_l + F_p) \cos \alpha_l, \quad (3.4)$$

где α_l – угол поворота левой колонки, град. При этом $\alpha_p = 360 - \alpha_l$.

Эффективность упора винтов ВРК:

$$\eta_R = |\cos \alpha_l|. \quad (3.5)$$

Научным результатом решения второй вспомогательной задачи стали необходимые и достаточные условия защиты малоизмещающего буксировщика от рывка:

- полный контроль ускорений и замедлений в буксирной системе капитаном буксируемого судна;
- наличие средств быстрой отдачи буксира на буксировщике и особенно на буксируемом объекте;
- угол рыскания буксировщика относительно его ДП не превышает $\pm 45^\circ$;
- повышенное наблюдение за состоянием буксирного троса с буксируемого объекта;
- экстренное прекращение движения системы в случае остановки буксировщика – с отдачей буксирного конца.

Практическим результатом решения задачи является установление режима движения судна в зависимости от положения ручек ВРК.

3.3. Выводы к главе 3

АМС в буксирных системах с короткой буксирной линией характеризуются скоротечностью (менее 1-й минуты) перехода из штатной ситуации (ШС) в аварийную.

Анализ процесса перехода от ШС до АМС целесообразно проводить по методике используемой В.В. Голиковым при экспертной оценке ситуационного перехода к АМС по физической, логической и эвристической компонентам, которые устанавливают соответствие протекаемых физических процессов режимным требованиям и нормам, действия операторов буксирной системы (капитанов, лоцманов, диспетчеров и других участников транспортного процесса) на соответствие исполнения должностных инструкций и транспортных технологий, а также правильность и своевременность принятия решения и его реализацию должностным лицом

(капитаном одного из судов) по достаточной компенсации негативного явления ведущего систему к аварийной ситуации.

Установлено, что существуют диапазоны скоростного режима буксирной системы с короткой буксирной линией при $Fr \approx 0,3$ и $Fr \approx 0,5$, когда сопротивление движению у буксируемого объекта резко возрастает с характерными резонансными явлениями продольной качки и заливаемостью главной палубы судна вплоть до механических разрушений его конструкции и опрокидывания. Такие же последствия вызывает ускорение и замедление скоростного режима в отдельных элементах буксирной системы при градиенте в $0,5V_c$ и выше, который приводит к сближению судов с последующим столкновением и возможным затоплением одного из замедляющих движение буксирной системы. Угол отклонения буксирной линии от ДП буксировщика должен быть минимальным и не превышать $\pm 45^\circ$ относительно ДП. В противном случае вращательное движение с центром в носу судна, имеющего большее водоизмещение, приводит к увеличению центробежных сил пропорциональных синусу угла отклонения и из-за короткой длины буксирной линии меньшей длине буксируемого судна приведет к их столкновению.

Логическая компонента анализируемых АМС свидетельствует о несоблюдении правил буксировки со стороны участников транспортного процесса: оператора АИС, диспетчера порта, лоцмана и капитанов судов буксирной системы и, в первую очередь, капитанов буксируемых судов в части: планирования операции буксировки, согласования скоростного режима в портовых водах и ограничении по мореходности судов с учетом резонансных явлений, иерархии в управлении буксировочным процессом.

Эвристическая компонента экспертизы АМС свидетельствует о самоустранении капитанов буксируемых судов и передаче полномочий портовым лоцманам, которые проигнорировали ходовые, маневренные и мореходные качества судов буксирной системы и осуществляли лоцманскую проводку на запредельных режимах.

Безопасными компенсирующими действиями капитана буксира-толкача, включая и повышенный скоростной режим (от 10 и выше узлов), является работа его гидропульсивного комплекса в режиме максимального «одерживания» судна: работе двигателей на ПВХ, руль «прямо» или при наличии ВРК – двигатели на полный упор «накрест», положение ПРК $\alpha_n \in (90; 180^\circ)$, $\alpha_n = 360 - \alpha_n$. Экспериментальная проверка указанного режима подтвердила возможность буксировки объектов, гидропульсивный комплекс которого, работая в режиме одерживания создает условия не положительного, а отрицательного носового дифферента судна, создавая эффект глиссирования.

Безопасным компенсирующим действием капитана буксируемого судна типа Волгобалт при угрозе рывка буксировщика РБТ 300 является срочная отдача от судна буксировочного конца любым способом и полный задний ход до полной остановки судна.

Основные результаты 3-й главы изложены в [31, 62, 32, 66, 44, 29].

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ БУКСИРОВКОЙ АВАРИЙНОГО СУДНА В ЛЕДОВОМ КАРАВАНЕ.

Решение третьей вспомогательной задачи исследования отличается комплексными навигационными ограничениями ледовой обстановки, повышенными требованиями к прочности судов ледового класса, а также их энерговооруженности, отсутствием опыта эксплуатации ледоколов и судов ледового класса, а основное – правил ледового плавания, которые достаточно широко распространены для свободного плавания в водах Мирового океана [76], а имеющее место «Правила плавания во льдах» (1930 г), относящиеся еще к пароходам, давно устарели. Это в полной мере касается и правил буксировки судов во льдах, что вызывает повышенный интерес к исследованиям в данном направлении.

4.1. Постановка задачи исследования процесса буксировки судна с поврежденным корпусом в ледовом караване методом толкания

В постановку задачи входило изучение: особенностей формирования и построения ледовых караванов (приложение А); характера влияния навигационной обстановки на ледовый караван в Азовском море (приложение Б); требований к буксировке судов во льдах, включая околку судов (приложение В).

В приложении А изложены обстоятельства нештатной ситуации, в которой находятся суда при формировании и построении ледового каравана. Караван – группа судов ледового класса под проводкой ледокола, капитан которого руководит операцией ледовой проводки независимо от ледовой обстановки и оперативной деятельностью капитанов судов каравана.

Необходимыми условиями скорейшей и безаварийной проводки являются: единоначалие, соблюдение жесткой дисциплины, синхронизм в работе судов, скоростной режим, опыт ледового плавания.

Караван формируется в кильватер на открытой ото льда акватории. Число судов каравана и их ордер определяет капитан ведущего ледокола в зависимости от ледовой обстановки и льдопроходимости судов.

В приложении Б представлены результаты коллективного исследования с участием автора о навигационно-гидрографических особенностях Азовского моря: мелководье, мягкий грунт, средняя продолжительность зимнего периода на маршруте Керчь-Мариуполь-Бердянск от 22 до 145 суток, толщина ледового покрова от 0,1 до 0,8 метра, лед дрейфующий с ледяными полями, перемычками, стамухами, торосистыми льдинами, характер движения льда вращательный [27, 28].

Суда ледового плавания, участвующие в проводках, смешанного плавания и модернизированные суда речного и даже озерного типов с ледовым классом ЛУ2, слабо мореходные в штормовых условиях.

Ледокольная проводка осуществляется ледоколом и ледокольными буксирами с ледовым классом не менее ЛУ4. Проанализирована многолетняя работа ледокола «Капитан Белоусов» и четырех буксиров ледового класса, которые работали без заклиниваемости, с умеренной вибрацией корпуса и непрерывностью движения в условиях стесненных фарватеров покрытых битым льдом и шугой, а также ровном сплошном льду толщиной до 0,6÷0,8 метра [28].

Основной технической проблемой эксплуатации указанных судов является засорение систем охлаждения шугой.

Ледовая проводка караванов по труднопроходимым перемычкам осуществляется атаками по схеме «елочка», а колка льда – методом лидирования.

Из-за частого застревания во льдах судов каравана их околка осуществляется буксиром либо в крайнем случае ледоколом. Приведены рекомендации для окальваемого судна по недопущению столкновения судов, а также особенности гидродинамического режима движения ледокола и

каравана на мелководье Азовского моря: ударная вибрация, корабельная волна, снижение управляемости, повышенный тепловой режим энергоустановки, увеличение осадки и падение скорости судна.

Сделаны выводы о слабой конструктивной защищенности и мореходности судов смешанного плавания, а проведенная реновация ледокола «Капитан Белоусов» не решает проблему обеспечения пропускной способности морских путей Азовского моря, что создает проблемы в безопасности судов уже на этапе формирования и построения ледовых караванов.

Требования к буксировке судов во льдах (приложение В), включая аварийную околку, представляют базу знаний для ледовых условий буксировки терпящего бедствие поврежденного судна с минимальным запасом плавучести к месту посадки на мель расположенного за десятки миль [43].

Для успешной аварийной буксировки буксировочная система должна быть обеспечена: постоянной околкой поврежденного судна; постоянством площади действующей ватерлинии и водоизмещения для сохранения запаса плавучести судна; ходкость судна обеспечивает ледокол; буксировка аварийного судна по типу тандем с ледоколом или толканием буксиром при следовании за ледоколом к месту посадки на мель.

При буксировке судна ледоколом по типу «тандем» важнейшими остаются углы рыскания ведомого судна; которые должны находиться в пределах $10\div 20^\circ$, а потому проблема выхода форштевня ведомого судна из кормового выреза ледокола и обрыв буксирного троса в жесткой и гибкой сценке остается актуальной.

Значительный научный интерес представляют исследования по анализу ускорений и перемещений в месте стыка судов в тандеме [48, 49].

Метод толкания аварийного судна эффективен на малых скоростях движения (до 5-ти узлов). Очень важным остается период взятия аварийного судна на буксир, который не должен превышать 25÷30 минут.

Перед взятием поврежденного судна на буксир, необходимо произвести его околку приведенными в приложении В методами с учетом сжатия лучше всего с обоих бортов. Там же приведены особенности управления тандемом, ходом буксировки аварийного судна, включая также условия сжатия льда и обрыва троса.

4.2. Первичная структуризация анализируемой системы путем формирования ледового каравана в порту Мариуполь.

Первичная структуризация предполагает разбиение объектов и процессов на два класса: изучаемый объект и внешнюю среду [47, 79, 75, 77].

Известно, что во льдах суда обычно получают сильные повреждения вмятины и гофрировки наружной обшивки корпуса с деформацией набора, трещинами и/или пробоинами; поломки, потери и/или скручивания элементов винто-рулевой группы. На долю повреждений корпуса приходится 80-90% общего количества ледовых повреждений, из них: 60% - вмятины наружной обшивки; 30% - вмятины с трещинами; 10% - пробоины. Среди повреждений винто-рулевой группы: 60% - поломки лопастей винтов; 30% - поломки рулевых устройств; 10% - поломки дейдвудов и валов. Обычно повреждается скуловая часть судна по поясу переменных ватерлиний. Авторы книги отмечают, что около 90% ледовых повреждений судов происходит не в автономном плавании, а в составе каравана [24, 28].

Объективной причиной этих повреждений стало несоответствие прочности корпуса судов заданной в караване скорости движения, а, иногда, несовпадение технических возможностей (мощностей) ледоколов и транспортных судов.

Субъективная причина ледовой аварийности судов связана с человеческим фактором – недостаточным уровнем специальной подготовки и инструктажа судоводителей по тактике ледового плавания. Эта причина проявляется при навалах судна на судно и кромки канала ледокола, околке ледоколами судов, столкновениях судов с отдельными льдинами, в неспособности управлять судном.

К мерам предупреждения ледовых повреждений при следовании в караванах относят: хорошие знания и понимания тактики ледового плавания, а также умение применять эти знания на практике с учетом технико-эксплуатационных возможностей конкретного судна; строгое сохранение кильватерного строя, своего порядкового места и дистанции; контроль за льдом в канале ледокола при постоянной готовности “машины” выполнить любой маневр; на поворотах придерживаться внутренней кромки канала и двигаться с постоянной скоростью, сохраняя заданную дистанцию; ежечасную проверку наличия воды в льялах, подвесных танках, течи дейдвудных сальников, прокачку холодильников и очистку кингстонов; соблюдение правил организации внутрикараванной связи по радиотелефону.

Для разработки мероприятий по снижению аварийности судов исследуем типичную для Азовского моря ледовую проводку каравана из 10-ти судов, в составе которого находилось судно “Сергий Скадовський” типа “река-море”, которое построено в 1985 г. на верфи “Красное Сормово” в г. Горький (СССР). Длина – 110,76 м, ширина – 13,0 м, высота борта – 5,5 м, осадка – 3,81 м; суммарная мощность двух ГД – 970 кВт (1300 л.с.); валовая вместимость – 2466 м³, дедвейт – 3346 т.; экипаж – 13 чел. Судно было загружено пшеницей в количестве 3149 т [60].

Корпус судна разделен 8 поперечными водонепроницаемыми переборками на 11, 23, 55, 91, 94, 127, 133 и 166 шпангоутах на 9 водонепроницаемых отсеков.

В районе грузовых трюмов №№ 1-4 судно оборудовано двойными бортами, которые вместе с двойным дном образуют балластные танки.

На момент выхода из порта Мариуполь осадки судна Тн – 3,76 м; Тк – 4,0 м. Судно находится под надзором Российского морского Регистра судоходства. Ледовый класс судна – ЛУ1 (прежнее обозначение – Л4), т.е. “судно может осуществлять самостоятельное плавание в мелкобитом разреженном льду толщиной 0,4 м. со скоростью до 5 узлов, а также плавание за ледаколом в сплошном льду толщиной 0,35 м. со скоростью 3 узла при эпизодическом характере ледовой эксплуатации”.

Метеопрогноз Гидрометцентра (ГМЦ) Черного и Азовского морей (выпуск № 16 от 16.01.2008): ледовый обзор на 08.00 16.01.2008 – на трассе Мариуполь-Керчь торосы, лед сплоченностью 10 баллов, толщиной до 35-40 см. Метеопрогноз ГМЦ (выпуск № 17 от 17.01.2008): на 18-19 января 2008 года – ожидается подвижка, торошение льда, ухудшение ледовой обстановки, поля труднопроходимого льда толщиной до 35-40 см. Метеопрогноз ГМЦ (выпуск № 18 от 18.01.2008): на 18.01.2008 – по Азовскому морю поля крупнобитого льда толщиной до 30-40 см, сплоченностью 10 баллов.

Учитывая отмеченный прогноз погоды, судно имело право на отход из порта, однако проводка судна осуществлялась в условиях, предельных для действующего ледового класса судна.

После формирования каравана под проводкой л/к «Капитан Белоусов» (ЛУ5) и обеспечивающим морским буксиром «Портовик» (ЛУ4) по выходу из подходного канала порта Мариуполь, из записей в судовом журнале т/х “Сергій Скадовський” следует, что судно – «в составе каравана под проводкой лоцмана...переменными ходами и курсами следует во льду, сплоченность 10 б., толщина льда 30-60 см».

Из записей в судовом журнале м/б “Портовик” – «лед торосистый, толщиной от 30 см, подвижка ледовых полей. Производим околку льда вдоль каравана, капитаны судов подтвердили буксировку методом толкания в корму».

На момент аварийного происшествия в 18:05-18:50 18.01.2008 т/х “Сергій Скадовський” находился в районе труднопроходимого льда

сплоченностью 10 баллов толщиной от 30 см, наслоениями до 1,0 м, температура воздуха минус 5°С, ветер восточный 10-12 м/с.

В целом при формировании каравана целесообразно руководствоваться не только фактической, но и ожидаемой ледовой обстановкой.

В таблице 4.1 представлена схема формирования каравана при выходе судна из порта Мариуполь для его движения по Азовскому морю.

Таблица 4.1.Схема формирования ледового каравана при выходе из п.Мариуполь

№ в караване	НАЗВАНИЕ СУДНА (Флаг судна)	LOA / В Т(Н)/Т(К)	Мощность ГД, л.с.	Материал винта	Ледовый класс	Скорость на чистой воде, узлов
1	<i>АПОЛЛОГРАХТ</i> (Нидерланды)	129,80 / 18,90 7,90 / 7,98	5250	сплав	1А	11,0
2	<i>ЭЛАНДСГРАХТ</i> (Нидерланды)	137,16 / 18,90 8,00 / 8,00	7385	сталь	1А	11,5
3	<i>ЛЕДИ БАНА</i> (Панама)	145,50 / 21,00 7,81 / 7,85	7100	сталь	нет	10
4	<i>ДЕЙКЕН</i> (Словакия)	144,00 / 21,20 8,00 / 8,00	7900	бронза	нет	10,5
5	<i>БОДЕН</i> (Словакия)	129,00 / 19,50 8,00 / 8,00	8800	бронза	1А	7,5
6	<i>ВОЛГА 4009</i> (РФ)	140,00 / 16,40 4,68 / 4,71	2640	сталь	ЛУ2	8,5
7	СВЯТАЯ ЕЛИЗАВЕТА (Грузия)	224,6 / 28,50 7,99 / 7,99	12800	сталь	Нет	11,5
8	<i>МИРЗАГА ХАЛИЛОВ</i> (Мальта)	117,06 / 16,50 4,40 / 5,05	3260	сталь	ЛУ2	10,5
9	<i>МЕХАНИК ЮЗВОВИЧ</i> (Украина)	133,95 / 16,40 4,50 / 4,60	2640	сталь	ЛУ2	8
10	<i>СЕРГІЙ СКАДОВСЬКИЙ</i> (Украина)	110,76 / 13,00 3,76 / 4,00	1319	сталь	ЛУ1	7,5

Следует сразу отметить, что суда под номерами 3, 4, 7 в этот период года не должны были плавать в Азовском море.

Результаты первичной структуризации системы указывают на отклонения от правил формирования ордера каравана, в частности

маломощностью машин судна со слабым корпусом, к которому относится т/х «Сергій Скадовський», а поэтому он в ордере должен следовать за ледоколом и находиться в ближайшем за ледоколом месте.

Внешняя среда к моменту выхода каравана из порта Мариуполь была предельно допустимой для судна с ледовым классом ЛУ1 – плавание за ледоколом в сплошном льду толщиной до 0,35 метров со скоростью 3 узла. При выходе каравана из п. Мариуполь толщина сплошного льда составляла $0,3 \div 0,6$ метров, а в момент аварии т/х «Сергій Скадовський» толщина подвижных наслоений достигала 1,0 метра.

4.3. Аналитическое описание характеристик судов ледового класса по данным натурных испытаний, математическое моделирование процесса буксировки по типу тандем и математическая модель процесса заполнения емкости.

Формализация процесса ледовой проводки в караване предусматривает ледовую паспортизацию каждого из элементов системы: проводимые в караване суда и средства обеспечения ледовой проводки: ледоколы и ледокольные буксиры.

Поэтому при назначении скорости плавания судов во льдах используется ледовый паспорт каждого судна, в котором содержится информация об их ледовой ходкости, ледовой прочности и маневренности во льдах. В приложении Г диссертационного исследования предлагается методика оценки ледопроеходимости судов по данным ледовых испытаний, в которой учтены показатели ледовой ходкости судна: проходная толщина сплошного льда при номинальной мощности судна; проходная толщина сплошного льда при частичной мощности судна, а также его ледовая прочность. Программа проведения натурных испытаний приведена в специальной таблице Г.1.

Детерминация ходовых, маневренных и ледовых качеств судов ледового класса позволяет точнее и корректнее использовать мореходные качества

судов, а разработанная методика осуществлять аналитическое описание характеристик судов, используя эмпирические зависимости по методу наименьших квадратов, что позволяет расширить границы параметризации элементов системы.

Математическая модель процесса буксировки в жесткой сценке представлена в приложении Д диссертационной работы использует 2-й закон Ньютона для двух материальных точек при жесткой и гибкой сцепках, продольные усилия которых формируются силой инерции буксируемого судна. Эти закономерности являются общими для буксировок по типам тандем и толканием. Характер изменения скорости буксирной системы при скачкообразном торможении определяется формулой (Д.1), а максимальное замедление буксирной системы – формулой (Д.2). Движение буксирной системы во льдах с гибкой сцепкой (синтетическими канатами и кранцами) по инерции, но наличии гидродинамического сопротивления, представлен системой линейных дифференциальных уравнений движения двух материальных тел (Д.3) относительно перемещений ледокола и судна (тандем) и ледокольного буксира и судна (толкание). Интегрирование уравнений (Д.3) относительно перемещений при постоянном гидродинамическом сопротивлении движению судна (Д.4) (Д.5). Определено максимальное значение упругой связи (Д.6), которое в два раза сильнее жесткой связи (Д.7).

Установлено, что в системе соединенной упругой связью между судами при их движении с постоянной скоростью сила сопротивления движению линейно зависит от перемещения ледокола (ледокольного буксира). При ударе ледокола (ледокольного буксира) об лед тормозящая буксировщик сила линейно зависит от его перемещения.

В случае колебательного движения судов буксирной системы, наибольшее тормозящее усилие наблюдается при наличии равных упругих связей между судами, т.е. чтобы оба судна имели кранцы или матрацы в местах касания, а также приводит к увеличению инерционных усилий в $1,2 \div 1,7$ раза.

Математическое моделирование процесса потери плавучести поврежденным аварийным судном осуществляется по математическим выражениям физических законов, определяющих работу рассматриваемого объекта [47]:

$$F \frac{dT}{dt} = G, \quad (4.1)$$

где F – площадь действующей ватерлинии, m^2 ; dT – изменение средней осадки судна за период dT , м; G – разность объемных расходов поступающей G_0 и откачиваемой G_0 воды из внутренних емкостей судна, $G = G_{II} - G_0$, m^3/c .

Площадь действующей ватерлинии $F = f(\Delta T_{HK}, \Delta T_{ПЛ})$ является функцией дифферента $\Delta T_{HK} = T_H - T_K$ и крена $\Delta T_{ПЛ} = T_{II} - T_{Л}$. Если ΔT_{HK} и $\Delta T_{ПЛ}$ равны нулю, то $F = F_{KBЛ}$, где $F_{KBЛ}$ – площадь конструктивной ватерлинии, m^2 . При $T_H < T_K$ дифферент на корму, а при $T_H > T_K$ дифферент на нос.

Величина площади конструктивной ватерлинии при $\Delta T_{HK} = 0$ и $\Delta T_{ПЛ} = 0$ равна:

$$F_{KBЛ} = L_0 B_0, \quad (4.2)$$

где L_0, B_0 – конструктивные длина и ширина судна, м.

Величина площади действующей ватерлинии при $T_H \leq H_0$, $T_K \leq H_0$, $T_{II} \leq H_0$; $T_{Л} \leq H_0$, где H_0 – высота борта, м, равна:

$$F = F_{KBЛ} / \{ \cos[\arctg(|\Delta T_{ПЛ}|/B_0)] \cdot \cos[\arctg(|\Delta T_{HK}|/L_0)] \}. \quad (4.3)$$

Если углы крена α и дифферента γ известны или измеряемы, то формула (4.3) упрощается до:

$$F = F_{KBЛ} / (\cos \alpha \cos \gamma), \quad (4.4)$$

При $\Delta T_{HK} > H_0$ и/или $\Delta T_{ГК} > H_0$:

$$F = \frac{H_0^2}{\sin \alpha \sin \gamma}. \quad (4.5)$$

Общее решение линейного дифференциального уравнения (4.1) известно [47, 56] и представляет разгонную характеристику аperiodического звена первого порядка при скачкообразном возмущении в момент повреждения корпуса. Однако это обстоятельство следует подтвердить экспериментально в реальных условиях с оценкой запаса плавучести, который в условиях $F \geq F_{квл}$ можно представить, используя геометрическое постоянство размерений судна, как:

$$Z_n = \frac{H_0 - T_{cp}}{H_0} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

где T_{cp} – средняя осадка судна.

4.4. Анализ аварийного морского происшествия с т/х «Сергій Скадовський» и его буксировкой к месту посадки на мель.

Хроника плавания т/х «Сергій Скадовський» в ледовом караване представлена табл. 4.2, этапы проводки – на рис. 4.1, а структура управления буксировкой аварийного судна – на рис. 4.2.

После водолазного обследования подводной части корпуса аварийного судна были обнаружены повреждения, схема которых представлена на рис. 4.3.

Чрезвычайные условия в ледовой обстановке возникают при угрозе потери плавучести судном каравана, а его буксировка представляет механизм безопасности ледовых проводок. Буксирная операция посадки поврежденного судна на мель является единственным безопасным действием для судна, теряющего запас плавучести из-за разгерметизации корпуса и невозможности эффективно бороться с поступлением воды во внутрь судна.

Предрейсовое подкрепление корпуса буксируемого судна в заводских условиях, как оказалось, недостаточным. Капитан ледокола, по согласованию с руководителем ледовых операций, не учли суровость ледовой обстановки в море, поставив самое слабое судно в конце каравана в надежде на то, что вспомогательный буксир справится с его околкой.

Таблица 4.2 – Хроника ледовой проводки 10-ти судов по маршруту п.Мариуполь – Керчь Еникальский пролив

№ п/п	Время ч/м	Координаты пути		Состояние льда			Состояние атмосферы			
		φ, град:мин	λ, град:мин	плотность, баллы	толщина, м	подвижность, м/с	Направление	Скор-ть, м/с	Температура, °С	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	00:00	46°52'3N	036°26'9E	10,6	0,3÷0,4	—	4÷5 NE	10÷12	-5	+1,5
2	00:35	46°52'3N	036°26'6E	10,0	0,3÷0,4	—	—	—	—	—
3	04:35			Застревание во льду, потеря хода и времени 3 часа. М/б «Портовик» застревает и теряет ход.						
4	05:45									
5	06:30									
6	18:10	46°22'9N	036°57'5E	Начало дрейфа без ледового обеспечения на расстоянии 2 ÷ 4 кбт между судами каравана						
7	24:05	Штормовое предупреждение		10,0	Сжатие и торошение льда, дрейф		12÷17	-5	+1,5	
5	29:35	46°13'5N	036°48'8E	Конец дрейфа. Продолжение проводки каравана. Сильное сжатие канала с 29:35 до 31:20, преодоление ледовых перемычек до 1,0 м ледоколом и м/б с 28:00 до 34:25						
6	34:25	45°54'5N	036°47'5E	С ледокола – «СТОП» каравану: сильная подвижка и сжатие льда, суда каравана застряли, околка каравана						
7	34:30	Начало АМС		Околка т/х «С. Скадовский» с левого борта, повреждение левого фальшборта у 83÷105 шпангоута крен судна 2° л.б., толщина льда от 0,3 до 1,0 наслоениями						
8	34:50	Околка льда м/б «Портовик» атакой у л/б т/х «Сергей Скадовский», СППХ, движение отсутствует, интенсивное тогошение льда.								
9	35:15	46°01'1N	036°47'6E	Деформация корпуса л/б т/х «Сергей Скадовский» в районе 86÷105 шпангоутов, крен 2,5° л/б						
10	35:25	Прибыл ледокол и обколот т/х «С. Скадовский» вдоль левого борта. Общесудовая тревога на «С. Скадовский»								
11	35:31	М/б «Портовик» и т/х «С.Скадовский» начали движение.								
12	35:35	Т/х «С.Скадовский» следует за ледоколом «Капитан Белоусов» на дистанции 1,5 кбт с креном около 4,5° на левый борт								
13	35:45	45°59'6N	036°47'7E	Т/х «С.Скадовский»: в трюме №4 вода, крен 5° л/б						
14	36:55	Т/х «С. Скадовский»: крен до 6,5° л/б								
15	38:25	Работают насосы с суммарной объемной скоростью 320 м ³ /час, что уменьшило крен до 5° л/б								
16	41:25	Т/х «С.Скадовский»: вода во всех 4-х танках, в танке №2 уровень воды увеличивается.								
16	42:40	На аварийном т/х «С. Скадовский» увеличен дифферент на нос и крен до 7÷8° на л/б								
17	43:10	Экипаж т/х «С.Скадовский» пересажен на м/б «Портовик»								
18	44:45	Т/х «С. Скадовский»: гвavnая палуба судна вошла в воду до комингса трюма №1 с креном на левый борт около 5°								
19	48:05	Т/х «С. Скадовский»: осадка судна Т _н =5,5 м вместо 3,76м с разницей в 1,75 м, судно постепенно погружается в воду								
20	48:55	Т/х «С. Скадовский»: в районе мидель-шпангоута правого борта с м/б «Портовик» обнаружена трещина и вмятина								
21	50:25	Координационным штабом Минтрансвязи Украины рекомендовано вывести аварийное судно в безопасное место буксировкой по методу толкания по схеме: л/к «Капитан Белоусов» - т/х «С.Скадовский» - м/б «Портовик»								
22	51:25	Т/х «С. Скадовский»: крышка трюма №1 вошла в воду, крен до 11° л/б								
23	56:35	Л/к «Капитан Белоусов» и м/б «Портовик» околели т/х «С.Скадовский» и начали его буксировку методом толкания, толщина льда 0,3÷0,4 м.								
24	58:25	Буксировочная система в движении со скоростью около 4-х узлов, курс 176°								
25	63:25	Т/х «С. Скадовский» в 3-х милях от Бордовского буя. Из МТП Керчь движутся на помощь м/б «Бора» и м/б «Иван Красносельский»								
26	71:35	45°21'08N	036°77'41E	Т/х «С. Скадовский» посажен на мель с креном 1,5° л/б в 4,5 кбт от буя № 40 КЕК по каналу 312°						
		КК=177°								



Рис. 4.1 – Этапы перехода и точки обсервации судов каравана при ледовой проводке по маршруту Мариуполь – Керчь.

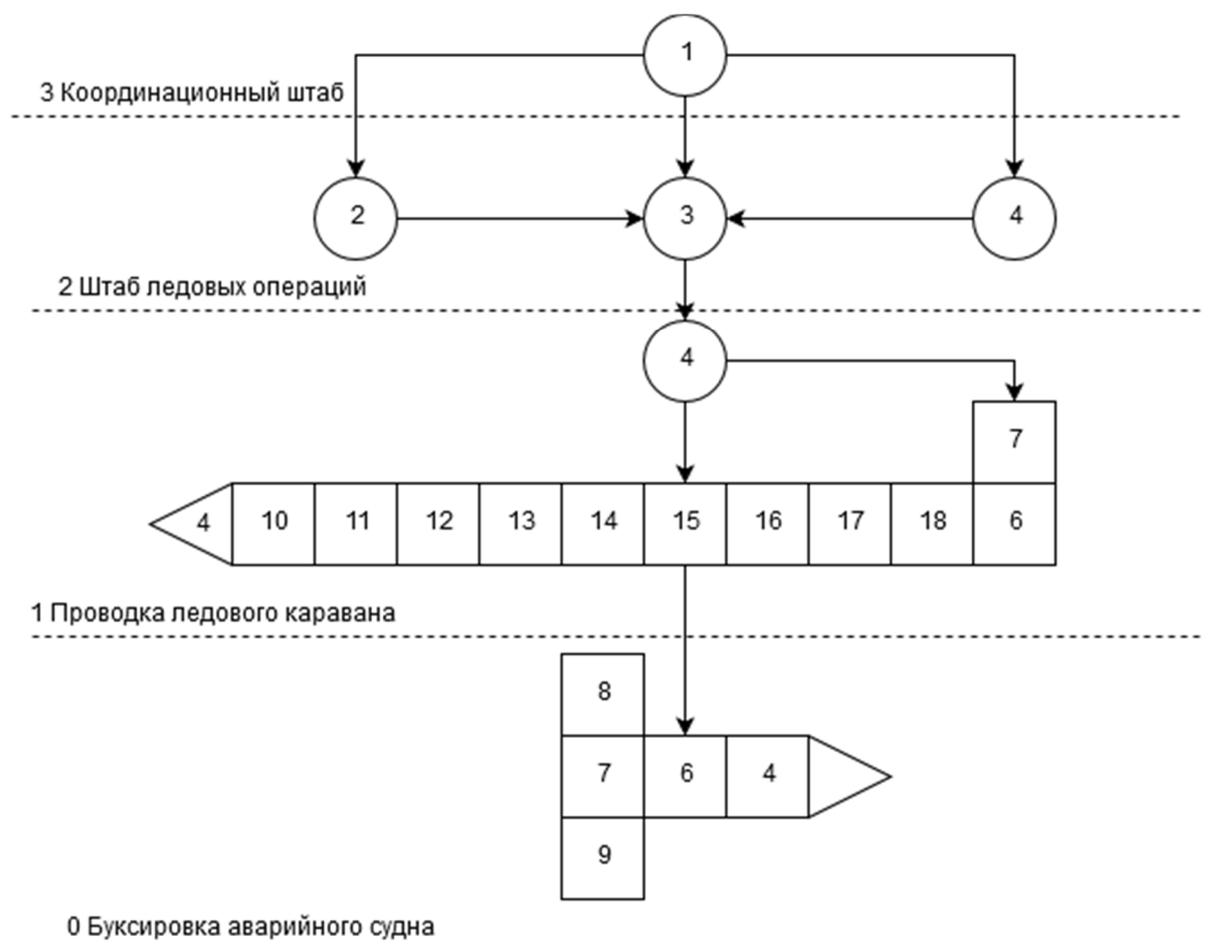


Рис. 4.2 – Схема управления спасательной операции т/х «С. Скадовський» путем буксировки методом толкания

Обозначения:

№	Наименование обозначения
1	Координатный штаб Укрморречфлот (г. Киев)
2	Штаб ледовых операций МТП Мариуполь
3	Старший ледовый координатор (г. Керчь)
4	Капитан ледокола Капитан Белоусов
5	Судовладелец – ДСК «Укркомфлот»
6	Капитан т/х «Сергей Скадовський»
7	Капитан м/б «Портовик»
8	Капитан м/б «Бора»
9	Капитан м/б «Иван Краснояльский»
10	т/х «Анна Аполлограхт» (Нидерланды)
11	т/х «Эландсграхт» (Нидерланды)
12	т/х «Леди Бана» (Панама)
13	т/х «Дейкан» (Словакия)
14	т/х «Боден» (Словакия)
15	т/х «Волга 4009» (Российская Федерация)
16	т/х «Святая Елизавета» (Грузия)
17	т/х «Марзага Халимов» (Мальта)
18	т/х «Механик Юззович» (Украина)

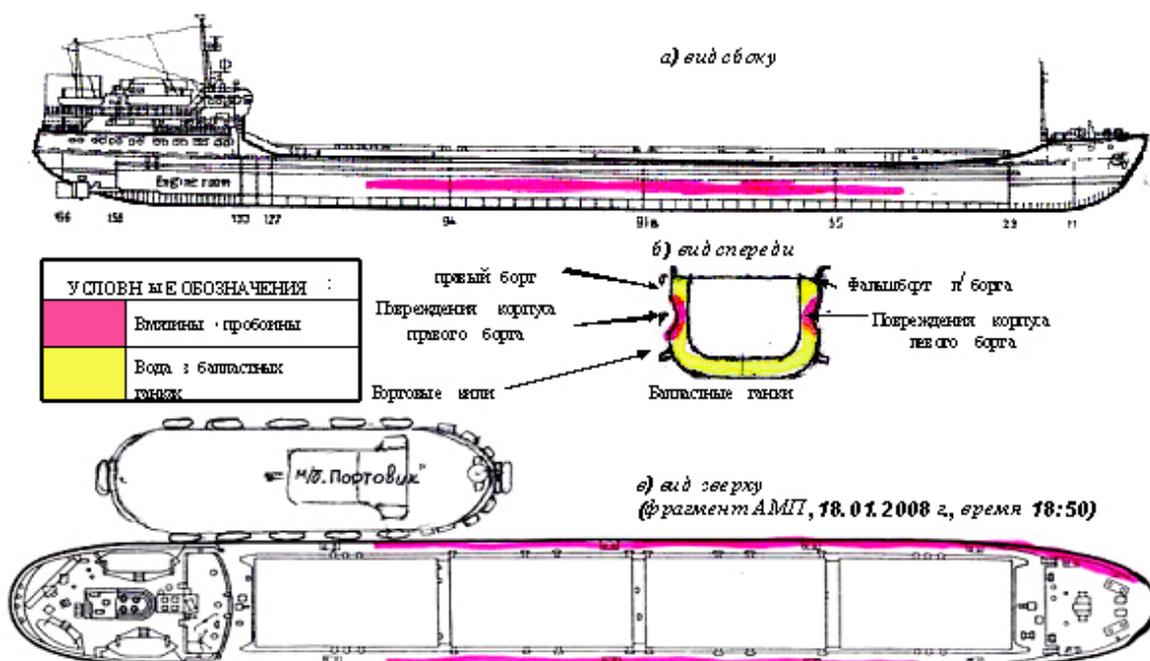


Рис. 4.3 – Схема повреждений корпуса т/х «Сергій Скадовський»

Однако этого не произошло, так как буксир застрял во льдах вместе с судном, вызвав на помощь ледокол. Во время ожидания ледокола льдины повредили корпус судна вдоль всех грузовых трюмов левого и правого бортов, не повредив корпус помещения машинного отделения, которое буквально прикрыл застрявший во льдах буксир с кормы левого борта судна (рис.4.3). Поэтому буксируемому судну буквально «повезло», что не является результатом осознанных действий участников ледовой проводки каравана. Созданная ситуация является результатом ошибки капитана ледокола, но после околки буксира и поврежденного судна он принял правильное решение, проведя указанное судно в начало каравана и следовавшего за ледоколом на расстоянии около 1-го кабельтова. Буксир непрерывно окалывал поврежденное судно, толкал его в корму до конца маршрута ледовой проводки, где были отмели.

На рис. 4.4. представлена динамика потери запаса плавучести т/х «Скадовський» от момента начала АМС до его перехода почти за 35 часов в устойчивое состояние нештатной ситуации.

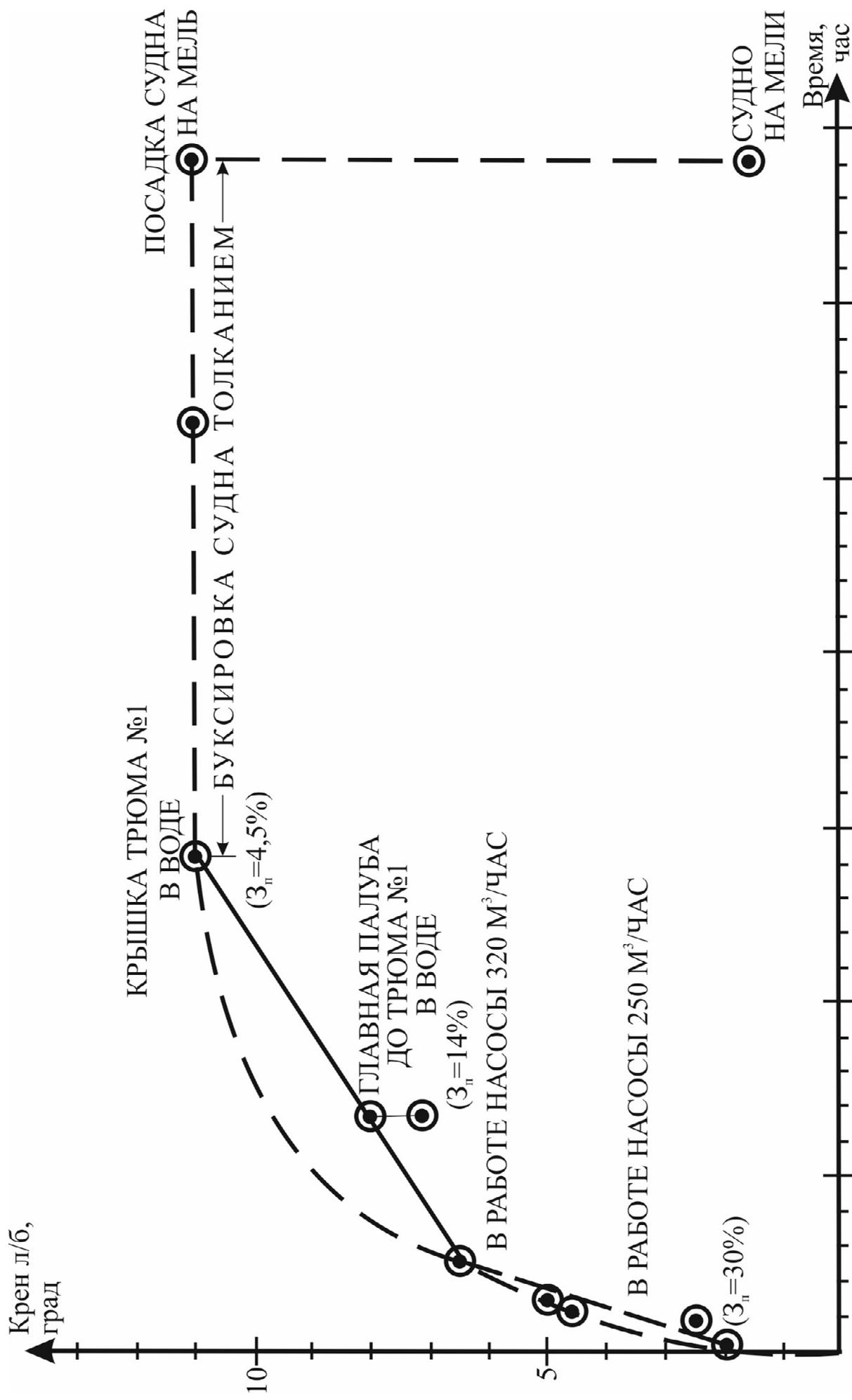


Рис. 4.4 – Тенденция погружения т/х «Сергей Скадовский» в процессе перехода из АМС в нештатную ситуацию.

По характеру изменения крена судна на левый борт при переходе из 30% запаса плавучести в устойчивый 4,5%, который длился более 14-ти часов до входа крышки трюма №1 в воду, видно, что он носит экспоненциальный вид.

Отклонения от экспоненты связаны с регулируемыми воздействиями, вызванными работой откачивающих насосов сначала объемной скоростью 0,069 м³/с (250 м³/ч), а затем после получения подвесных насосов с борта ледокола объемная скорость откачки была увеличена до 0,089 м³/с (320 м³/ч). Эти действия, хотя и замедлили переходной процесс, увеличивая постоянную времени погружения судна и давая возможность судну застabilizироваться на запасе плавучести в 4,5%, сохраняя его в процессе буксировки, который длился почти 20 часов.

По виду эмпирической кривой разгонной характеристики процесса погружения судна, что до принятия аварийных действий постоянная времени T_0 , характеризующая скорость погружения судна, составляла не более 1 часа, то при $G_{от} \approx 0,07$ м³/с $T_0 \approx 3$ часа, а при $G_{от} \approx 0,09$ м³/с $T_0 \approx 11$ часов. Тогда как для безопасной посадки судна на мель $T_0 \approx 35$ часов $G_{от} \approx 0,3$ м³/с (1080 м³/час), т.е. в три раза больше чем располагал т/х «С. Скадовський».

На рис. 4.5. представлена тенденция потери запаса плавучести судна, согласно которой прогнозируемый период его затопления составил бы 12,5 часов, что в 2,8 раза меньше фактического (около 35 часов). Последняя величина характеризует эффективность буксировки аварийного судна.

4.5. Установление и определение «сильных» компенсаторных воздействий логического и эвристического характера для сохранения запаса плавучести аварийного судна.

Первым правильным логическим действием участников транспортного процесса была пересадка экипажа т/х «С. Скадовський» на м/б «Портовик» через 6 часов 30 минут после наступления аварии, когда запас плавучести судна уменьшился вдвое с 30 до 14% (рис. 4.5).

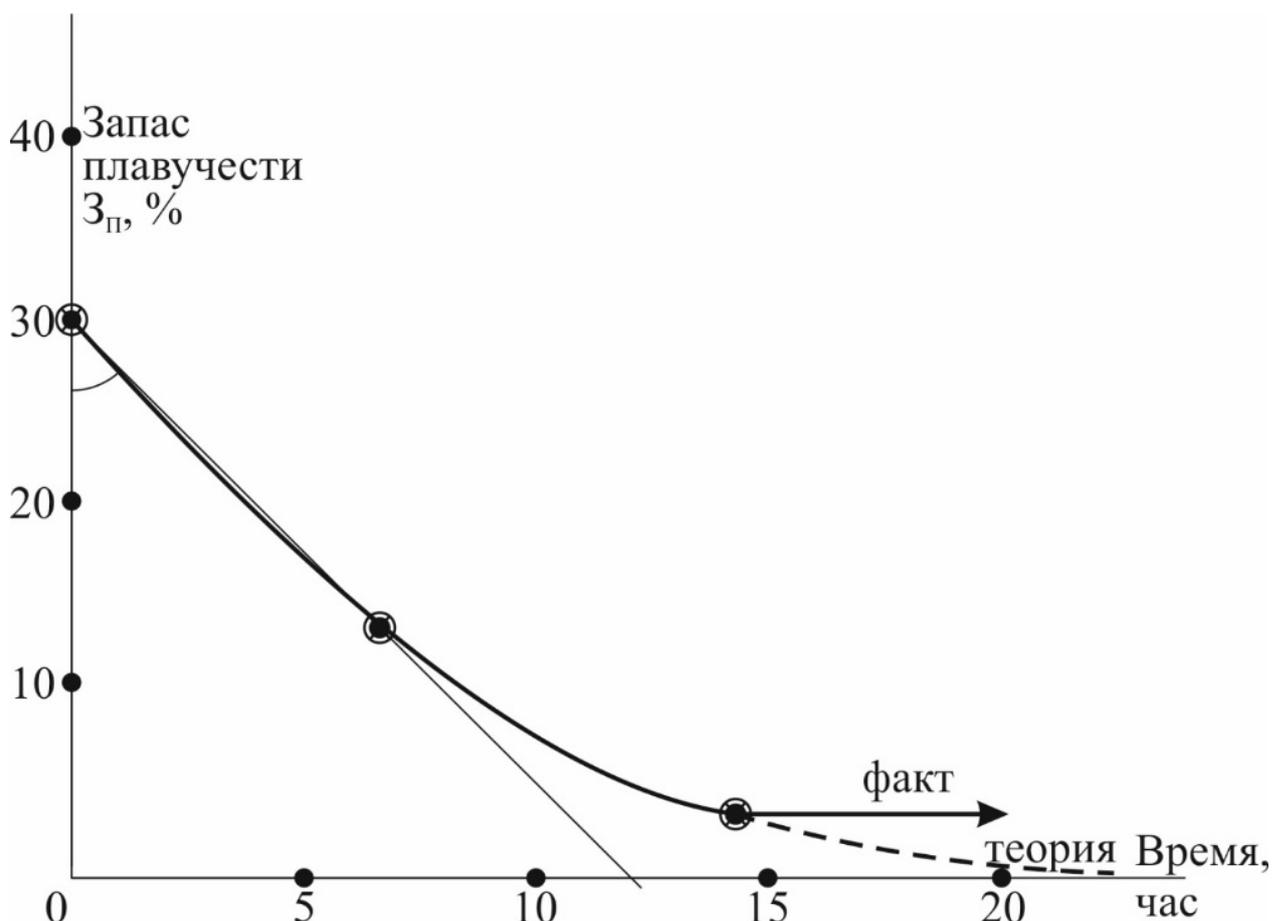


Рис. 4.5. Начальный темп падения запаса плавучести судна и фактический период ее стабилизации на минимальном устойчивом уровне.

Факт высадки экипажа свидетельствует о неуверенности руководства координационного штаба, штаба ледовых операций, капитана ледокола и капитана т/х «С. Скадовський» в успехе операции по борьбе за живучесть судна силами экипажа. На борту судна осталась аварийная партия из 5-ти человек во главе с капитаном судна.

Решение о начале буксировки аварийного судна было принято на уровне начальника координационного штаба по поиску и спасанию на море.

Основной вклад в сохранение частичного запаса плавучести судна внесли его конструктивные особенности: объем танков и трюмов не заполненные водой и находящиеся выше уровня моря, а также неповрежденный объем помещений машинного отделения, который не давал возможности корме уходить под воду.

Компенсаторные действия по откачке воды из разгерметизированных бортовых танков были мало эффективны так как балластными и пожарными насосами такой высокой производительности располагают пожарные и аварийно-спасательные суда вспомогательного флота, которых в принципе не могла быть в условиях зимы.

Логическая компонента буксировки реализована в соответствии с требованиями к буксировке (приложение В).

Эвристическая компонента буксировки не вызывает замечаний, кроме принятия ошибочных действий штаба ледовых операций и капитана ледокола как относительно ледового задания не соответствующего навигационной обстановке так формирование и построение каравана, которые должны соответствовать правилам приложения А.

4.6. Выводы к главе 4.

АМС с судами, проводимыми в ледовом караване и находящимися в нештатной ситуации, отличаются скачкообразным воздействием ледяного покрова различной природы, причиняя судам вмятины, пробоины, разрушения и потерю плавучести.

В практике ледовых проводок выработаны требования к формированию и построению ледовых караванов, опыт проводки ледовых караванов в Азовском море с оценкой работы ледокола и судов ледового каравана, согласно которой отличается их слабая конструктивная защищенность, несмотря на реновацию и модернизацию речных и озерных судов.

Буксировка поврежденных судов в ледовых канавах по типу тандем и толканием является компенсаторным действием по переводу буксируемого судна из АМС в чрезвычайную ситуацию путем посадки на мель.

Основные эвристические упущения происходят при формировании и построении каравана, а логические – при ледовой проводке, когда мало внимания уделяется околке судов.

В процессе буксировки следует больше использовать упругие связи в виде установки в местах контакта синтетических матрасов и резиновых кранцев наряду с жесткими связями, участвующими в движении буксирной системы.

Процессы взаимодействия буксируемых судов используют математическое описание законов Ньютона для их движения, ускорения, торможения и ударов.

Ледопроездимость судов каравана, скоростной режим, маневры и циркуляция для подготовки ледового паспорта предложено осуществлять эмпирически с использованием специально разработанной методики и программы натурных испытаний, что формирует статические характеристики буксирной системы.

Динамическую характеристику потери запаса плавучести поврежденного судна при скачкообразном возмущении предлагается представлять аperiodическим звеном первого порядка, которая получила свое подтверждение в результате анализа АМС с т/х «С. Скадовский».

Научным результатом решения третьей вспомогательной задачи является то, что безопасное управление буксировкой аварийного судна в нештатной ситуации ледовой проводки обеспечивается минимальным запасом плавучести судна (около 5%), который должен предусматриваться уже на стадии его проектирования. Откачка воды из погружаемого в воду судна увеличивает постоянную времени погружения, замедляя переходный процесс. Однако длительность периода буксировки до посадки на мель требует не менее 3-х кратного замедления погружения, на что потребуются энергетические затраты соизмеримые с мощностью энергетической установки судна. Необходимым условием безопасной буксировки во льдах остается следование за ледоколом и непрерывная околка для снижения гидродинамического сопротивления движению буксируемого объекта в ледовом канале.

Таким образом при буксировке аварийного судна во льдах необходимым является наличие минимального запаса плавучести, а достаточным – минимизация сопротивления его движению до места посадки на мель.

Причиной АМС стала первоначальная ошибка старшего ледового координатора и капитана ледокола в назначении места в порядке каравана судна со слабым корпусом. Судно, по крайней мере, должно находиться под номером девять, а судно под номером 9 оставить последним, так как мощность его энергетической установки значительно выше.

Содержание главы 4 изложено в [60, 28, 30, 31, 26, 27, 22].

ГЛАВА 5. СИНТЕЗ БУКСИРНОЙ ОПЕРАЦИИ ПО ЛИКВИДАЦИИ ИНЦИДЕНТА

Решение главной задачи исследования связано с групповым действием буксиров во вне штатных ситуации, например, раскантовки многотоннажного судна или его проводки по негабаритным каналам и фарватерам, а также при инцидентах с неуправляемыми объектами. Особенностью задач такого типа является внезапность проявления агрессии со стороны объекта буксировки и быстроедействие буксирной системы, которая на момент начала агрессии не была сформирована.

Факторы внезапности и быстрогодействия требуют использование критериев минимакса: устранить инцидент за минимальный период при максимальном использовании сил, материальных средств и людских ресурсов. Методической базой решения подобных задач могут стать системный анализ, современная теория автоматического управления, а также Резолюции ИМО А.848 (20), А.848 (21), ПРАМП 2006 относительно движения морских транспортных средств.

Ввиду того, что динамика поступательного, вращательного и колебательного движений материальной точки как объекта управления формализована законами Ньютона, то материальная точка представляет тело, имеющее массу, но его размерами и формой можно пренебречь. Пространство, в котором движутся материальные точки, определяет порядок их (объектов) существования, а время – порядок смены явлений.

Поэтому, используя ИМО-модель “SHELL”, усилим наблюдаемость за объектом методами современной теории автоматического управления по физической, логической и эвристической компонентам, объединенных термином – сопровождаемость объекта во времени. Это позволяет синхронно и непрерывно контролировать переходные процессы в объекте, ход развития инцидента, оценить логичность действий операторов буксирной системы и эвристичность принимаемых решений наблюдателем – лицом, генерирующим

синхронизм в функционировании буксирной системы. Для обеспечения быстрого действия по нормализации конфликтной ситуации на неуправляемом самопроизвольно движущемся объекте, следует минимизировать интервалы времени между локальными событиями в переходном процессе. Поэтому требуется сосредоточить максимально-возможные мобильные силы, средства и людской ресурс, а затем принять и реализовать стратегию управления буксирной операцией.

Последнее задание по силам только высокостоящим по иерархическому уровню системам, например, службам порта: диспетчерской и портафлота, а также назначенных лиц по СУБ (рис. 5.1)

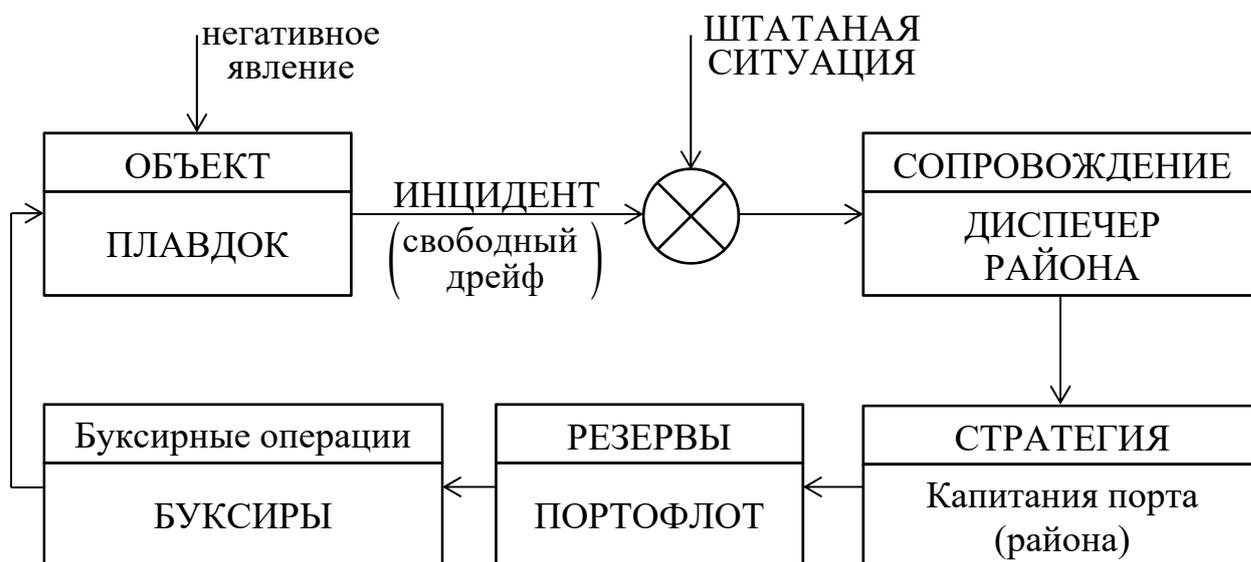


Рис. 5.1 – Общая схема управления инцидентом.

5.1. Постановка задачи остановки свободного дрейфа плавдока.

Постановка проблемы в общем виде связана с непрогнозируемым поведением плавающих объектов, которые произвольно движется в ограниченной акватории под действием внешней неконтролируемой силы. Самопроизвольное движение транспортного объекта, например плавдока, в условиях непогоды создает реальную опасность окружающей среде. Единственным способом предотвращения угрозы остается его остановка,

которая на тот момент не предусматривалось командно-штабными учениями порта.

До наступления инцидента плавдок был выведен из эксплуатации и находился в процессе ожидания освидетельствования Регистром судоходства Украины в балласте с осадкой 1,8 м на ровном киле, пришвартованным «клинолином» к причалу в направлении ДП дока около 158 градусов, что практически совпадало с направлением ветра.

Ситуацию срыва плавдока со своего штатного места можно рассматривать с двух позиций:

- экстремальные погодные условия с порывистым штормовым ветром до 25 м/с, что вызвало нагрузку на боковую поверхность дока от 100 до 150 тонн;
- человеческий элемент, вызванный недостаточным креплением плавдока к швартовым конструкциям.

Свободный дрейф плавдока к местам отшвартовки танкеров в Нефтегавани по времени не превышал пяти минут. Процессы остановки и отшвартовки плавдока №4 восстановлены с использованием оцифрованной во времени мультимедийной записью инцидента до момента его прекращения (Рис. 5.2÷5.5).



Рис. 5.2 – Движение плавдока с установившейся скоростью при дрейфе и обгоняющего плавдок буксира «Гранит» на фоне отшвартованного танкера.



Рис. 5.3 – Буксир «Гранит» ожидает встречи с плавдоком.



Рис. 5.4 – Процесс активного торможения плавдока.



Рис.5.5 – Остановка плавдока буксиром «Гранит».

Хроника буксирно-швартовной операции восстановлена по судовым журналам и объяснениям участников транспортного процесса, включая диспетчера порта.

В экстренной остановке плавдока и его отшвартовке к причалу участвовало семь буксиров. Остановка дока была осуществлена капитаном буксира «Гранит».

На момент отрыва плавдока портофлот располагал следующими портовыми буксирами: «Гранат», «Булат», «Патриот», «Новатор», «Ударник», «Бугаз», «Стивидор» (табл. 5.1), которые осуществили буксирно-кантовочные работы по остановке свободно дрейфующего плавдока (табл. 5.2), его удержанию от навала на причалы нефтегавани и швартовке к свободному причалу при штормовой погоде (табл. 5.3).

Таблица 5.1 – Тактико-технические данные буксиров, участвующих в инциденте по прекращению дрейфа плавдока

№ п/п	Название	Размерения, м				Вмест., т валов/чист.	Мощность, кВт	Тяга, кН/т	Тип двигателя
		L	B	H	T				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Гранит	36,67	12,0	7,0	6,2	728/218	3700	736/75	2 ВРШ

Продолжение табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Патриот	20,37	9,8	4,5	3,4	217/65	3000	490/50	2 ВРК
3	Булат	20,37	9,8	4,5	3,4	217/65	3000	490/50	2 ВРК
4	Новатор	32,07	9,0	4,5	4,2	230/69	1852	314/32	1 ВРШ
5	Ударник	30,00	9,0	4,5	3,95	277/83	1700	304/31	1 ВРШ
6	Стивидор	32,4	9,0	4,5	4,3	269/80	1700	304/31	1 ВРШ
7	Бугаз	27,0	8,3	4,3	3,86	117/53	884	137/14	2 ВРШ

Таблица 5.2 – Размерения плавдока

Длина	Ширина		Высота борта	Осадка	Вместимость	
$L_{g\text{квл}}$, м	$B_{g(\text{макс})}$, м	$B_{g(\text{ср})}$, м	H_g , м	T_g , м	ВРТ, т	DWT, т
168,28	40,8	39,77	18,2	1,8	9237	12145

Таблица 5.3 – Характеристика погоды и состояния моря в период инцидента с плавдоком

Ветер			Волнение			
Направление		Скорость, м/с	Высота		Уровень моря	
SSE	160°	15 (ср.)	20 (макс.)	2,5 м	5 баллов	5,1 м

Диспетчерская служба порта и портофлот направили буксиры к месту инцидента в течение: шести минут буксир «Гранит» с тягой в 736 кН, девяти минут второй буксир «Новатор» с тягой в 314 кН; четырнадцати минут третий буксир «Бугаз» с тягой в 137 кН; девятнадцати минут еще два буксира «Патриот» и «Булат», с тягой в 490 кН каждый, а через 59 минут – буксиры «Ставидор» и «Ударник» (рис. 5.5). Таким образом подача буксиров осуществлялось по мере развития буксирной операции с учетом освобождения их от рутинных работ в порту и на рейде.

Периоды между этапами буксирно-швартовой операции представлены таблицей 5.4.

5.2. Математическое моделирование процесса дрейфа плавдока №4.

Известно [1], что семантические модели для определения сил, действующих на надводную часть корпуса судна используют безразмерный коэффициент C_{a90° .

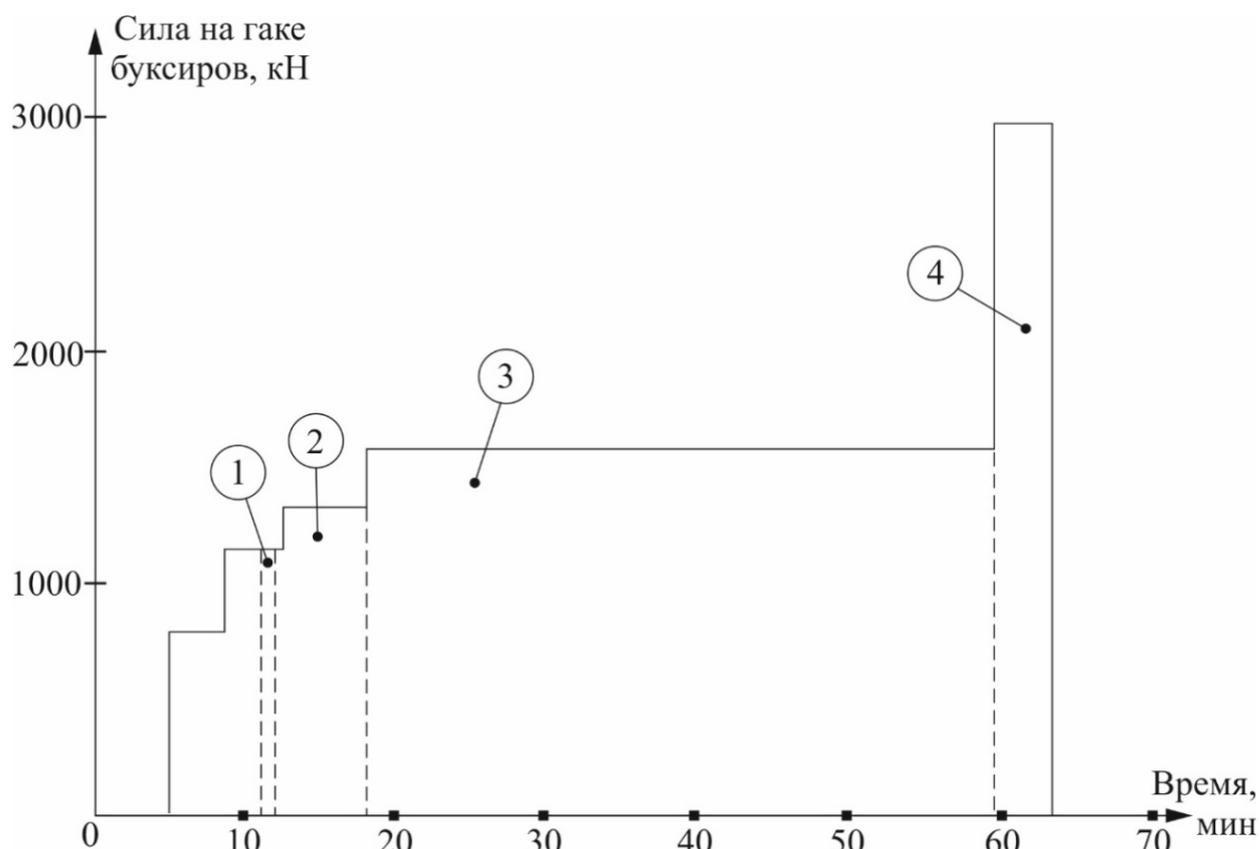


Рис. 5.5 – Этапы подачи буксиров диспетчерской службой порта
 Обозначения: 1 – период активного торможения плавдока; 2 – период его удержания; 3 – период его кантовки к причалу; 4 – период швартовки плавдока.

Таблица 5.4 – Хроника буксирно-швартовной операции с плавдоком

№ п/п	Время, 00'00"	Событие (сцена)	Дистанция	Скорость	Комментарии
1	2	3	4	5	6
1	00.00	Начало дрейфа по курсу 340° при ветре SSE и скорости 20÷28 м/с	0	0	Сильный шторм 10 баллов, сила ветра до 150 тс (рис. 5.2)
2	06.00	Диспетчер порта направил буксиры к дрейфующему плавдоку при ветре SSE и скорости 15÷20 м/с	720	~ 2,0	Штормовой ветер, волнение до 1 м. Начало принятия решения
3	10.00	Буксир «Гранит» начал подход к плавдоку	1100	1,8÷1,85	Принято решение о кантовочной операции (рис. 5.3)

Продолжение табл. 5.4

1	2	3	4	5	6
4	12.00	Момент начала активного торможения плавдока методом кантовки	1320	1,8	Расположение буксира «Гранит»: КУ \approx 160°, в средней части корпуса дока по ходу дрейфа (рис. 5.3)
5	13.23	Остановка дрейфа плавдока, начало удержания	1381	0	Конец активного торможения плавдока (рис. 5.4)
6	15.00÷25.00	Удерживание плавдока буксирами «Гранит», «Новатор», «Бугаз»	1381	0	Удерживание плавдока перпендикулярно направлению ветра
7	25.00	Начало обратного движения плавдока к причалу против ветра	-	0,5÷1,0	В буксировке толканием и отшвартовке плавдока участвуют все буксиры
8	65.00	Постановка плавдока к причалу	2800	0,6	Работа буксиров с плавдоком против ветра SSE, 15÷20 м/с

Для произвольного курсового угла ветра q_w его значение рассчитывают по формуле $C_a = C_{a90^\circ} \cdot \sin q_w$. Более строгие расчетные формулы для его определения весьма громоздки и также остаются весьма приближенными из-за разнообразия форм надводной части и невозможности учета всех деталей корпуса.

Величину аэродинамического коэффициента определяют двумя эмпирическими формулами: $C_a = 1,05 \cdot \sin q_w$ либо $C_a = 1,2 \cdot \sin q_w$. Они отличаются только коэффициентами пропорциональности, которые характеризуют конструктивные особенности надводной части типового судна. Ввиду того, что площадь надводной части корпуса судна определяется со значительными погрешностями и плохо моделируется, то для повышения точности определения аэродинамического коэффициента используют теоретический

чертеж путем вычета площади подводной части корпуса при соответствующей осадке.

Для случая установившегося дрейфа, когда поперечная аэродинамическая сила равна поперечной гидродинамической $F_{ay} \approx F_{гy}$ и известных значениях скорости дрейфа V_{dp} , угла ветрового дрейфа α , скорости и курсового угла истинного ветра W_u и q_u , определяется величина отношения безразмерных коэффициентов поперечной аэро и гидродинамической сил $\tilde{N}_{a90^0} / \tilde{N}_2$. С учетом того, что подводная часть судна хорошо моделируется, достаточно подробно исследована и имеются корректные аналитические зависимости следующего вида:

$$\frac{C_{a90^0}}{C_2} = \frac{\rho \cdot S_n \cdot V_{dp}^2 \cdot \sin^2 \alpha}{\rho_e \cdot S_n \cdot W_u^2 \cdot \sin q_u}. \quad (5.1)$$

Скорость установившегося дрейфа определяется формулой:

$$V_{dp} = \frac{W_u}{\sin \alpha} \cdot \sqrt{\frac{C_{ay90}}{C_2} \cdot \frac{\rho_e}{\rho} \cdot \frac{S_n}{S_n} \cdot \sin q_u} \approx K_{dp} \cdot W_u, \quad (5.2)$$

где K_{dp} – коэффициент дрейфа, определяемый из натуральных наблюдений для состояния конкретного судна в грузу или в балласте.

Угол (направление) дрейфа плавсредства (рис. 5.6) по наблюдаемому курсовому углу ветра определяется формулой:

$$\alpha = \arcsin \frac{W_u}{V_{dp}} \sqrt{\frac{C_{ay90}}{C_2} \cdot \frac{\rho_e}{\rho} \cdot \frac{S_n}{S_n} \cdot \sin q_u}. \quad (5.3)$$

По приведенным результатам рассчитываются значения поперечных гидро и аэродинамических коэффициентов. Значение C_{a90^0} определяется по формуле:

$$C_{a90^0} = \frac{C_2 \cdot \rho \cdot S_n \cdot V_{dp}^2 \cdot \sin^2 \alpha}{\rho_e \cdot S_n \cdot W_u^2 \cdot \sin q_u}. \quad (5.4)$$

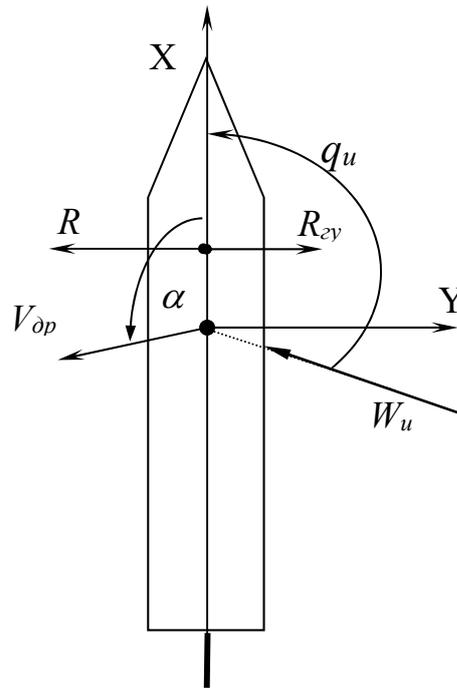


Рис. 5.6 – Расположение сил при дрейфе судна без хода

В мореходных таблицах МТ-2000 приведена эмпирическая зависимость $V_{др} = 1,94 \cdot \kappa_{\alpha} \cdot W_u$, где $V_{др}$ – скорость ветрового дрейфа в узлах, κ_{α} – коэффициент ветрового дрейфа, W_u – скорость истинного ветра, м/с. Однако это формула не учитывает факт отсутствия дрейфа при ветре до 3 м/с и существенном изменении характера дрейфа выше скорости истинного ветра в 15 м/с.

Расчет возмущающего усилия, действующего на судно от бокового ветра осуществляется по формуле:

$$F_w = g S_n \cdot p \cdot \sin \theta, \quad (5.5)$$

где F_w – сила суммарного бокового ветра на судно, тс; S_n – проекция надводной части судна на ДП, м²; p – давление ветра, кН·м⁻²(1,013); θ – угол между направлением истинного ветра и ДП судна, град; g – ускорение свободного падения тела (9,81), м/с².

Для рассматриваемой ситуации (рис.5.2):

$$p_{\sigma} = g \cdot W^{1,96} \cdot 10^{-4};$$

$$S_n = L_{\delta} \cdot H_{\delta} = 168,29 \times 18,2^{-1,8} \approx 2760 \text{ м}^2;$$

$\sin\theta=1$ так как $\theta \approx 90^\circ$ поэтому:

$$F_{\epsilon(\max)} = 2,7W_u^{1,96}. \quad (5.6)$$

Просмотр видеозаписи процесса свободного дрейфа плавдока показал, что скорость дрейфа составляла 1,81 м/с.

Ввиду того, что плавдок дрейфовал равномерно и прямолинейно, то согласно третьему или первому законам Ньютона, получим:

$$F_\epsilon = F_w \text{ или } F_\epsilon - F_w = 0, \quad (5.7)$$

где F_w – сила сопротивления трению воды о подводную поверхность плавдока, кН.

Количественно гидродинамическое сопротивление связано со скоростью дрейфа плавдока следующей связью:

$$F_w = k_w S_n \rho_w v_{dp}^2, \quad (5.8)$$

где k_w – приведенный коэффициент сопротивления воды движению плавдока, $\text{кН} \cdot \text{с}^{-2} \cdot (\text{тм})^{-1}$; ρ_w – плотность воды (1,01), $\text{т} \cdot \text{м}^{-3}$; S_n – площадь подводной части плавдока, м^2 ; v_{dp} – скорость дрейфа плавдока, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

В рассматриваемой ситуации свободного дрейфа плавдока:

$$k_w = 0,5(C_f + C_u),$$

$$C_f = 0,455 \left[\lg(B_\delta v_{dp} v_w^{-1}) \right]^{-2,58},$$

где B_δ – ширина плавдока, м; v_w – кинематический коэффициент вязкости воды ($1,187 \cdot 10^{-6}$ при $t_w = 15^\circ\text{C}$), $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$; C_u – коэффициент шероховатости подводной поверхности плавдока, отн. ед.

$$C_f = 0,455 \left[\lg(40 \cdot 1,8 \cdot 842460) \right]^{-2,58} = 1,142 \cdot 10^{-3};$$

$$C_u = 0,4 \cdot 10^{-3}; k_w = 1,342 \cdot 10^{-3}.$$

$$S_n = 2(L_\delta + B_\delta)T_c + L_\delta B_\delta = 7665,4$$

$$P = 1,342 \cdot 7665,4 \cdot 1,025 \cdot 1,81^2 \cdot 9,81 = 339 \text{ кН (34,54 тс)}$$

где T_δ – осадка дока, м.

Из равенств (5.6) и (5.7) следует, что

$$W_u = \sqrt{\exp(\ln F_w - 1)}, \quad (5.9)$$

т.е. $W_u = 11,2$ м/с.

Данные видеозаписи показали, что скорость дрейфа плавдока на тот момент составляла около 1,8 м/с, а скорость истинного ветра, по свидетельским показаниям уменьшилась до 10 м/с. Поэтому исследуемую расчетную схему определения возмущающей силы дрейфа можно использовать в исследовании по синтезу системы. Однако в ней присутствует ряд констант, параметры которых могут изменяться от температуры и солености воды, состояния трущихся поверхностей подводной части корпуса дрейфующего объекта, а также волнения, эти недостатки расчетной схемы устранимы, но требуют только увеличения объема расчетных данных, а в основном времени на расчет скорости дрейфа объекта, необходимой для принятия последующих управляющих решений.

5.3. Математическое моделирование процесса активного торможения дрейфующего плавдока.

Моделирование процесса активного торможения плавдока осуществляется с использованием 2-го закона Ньютона:

$$(m_\delta + m_\partial) \frac{dv_{\partial p}}{d\tau} = F_\delta - F_e, \quad (5.10)$$

где m_δ и m_∂ – масса буксира и дока, т; F_δ – сила упора буксира, кН.

Масса дока определяется по количеству воды вытесненной подводной частью дока:

$$m_\partial = L_\partial \cdot B_\partial \cdot T_\partial \cdot \rho_w = 39,7 \cdot 168,28 \cdot 1,8 \cdot 1,01 = 12145,$$

а $m_\delta = 728$ тонн (из таблицы 5.2).

Уравнение (5.10) имеет два неизвестных $\Delta\tau$ и F_δ . Тактико-технические характеристики буксиров содержат величину тяги на гаке, поэтому в линейном приближении расчетный период активного торможения определяется как:

$$\Delta\tau_p = \frac{(m_\delta + m_\sigma)\Delta V_\delta}{F_{\delta(\text{ном})} - F_\sigma}. \quad (5.11)$$

В рассматриваемом сценарии:

$$\Delta\tau_p = \frac{(728 + 12145) \cdot 1,8}{(9,81 \cdot 75 - 339)} \approx 58,4 \text{ с.}$$

Последний результат не соответствует действительности, так как фактический период активного торможения плавдока составил 83 с, что почти на 28,2% выше расчетного. Это связано с экспоненциальным, а не линейным характером процесса активного торможения.

Ввиду того, что величина P_δ взята произвольно, а период торможения определен по фактическим данным, то у исследователя есть по крайней мере два подхода к такому дисбалансу в уравнении (5.11): либо определить среднюю силу упора буксира при торможении, либо заменить эту формулу на более совершенную представляющую не линейную, а экспоненциальную зависимость $V_{\text{оп}} = f(\Delta\tau)$.

Сначала реализуем первый подход. Для этого формула (5.10) определится как:

$$P_\delta = P_\sigma + (m_\delta + m_\sigma) \frac{dV_{\text{оп}}}{d\tau}, \text{ т.е.} \quad (5.12)$$

$$P_\delta = 339 + 285 = 624 \text{ кН,}$$

что соответствует $0,84P_{\delta(\text{ном})}$, т.е. эксплуатационному режиму работы буксира.

При втором подходе:

$$V_{\text{оп}} = K_{\text{оп}} \left[1 - \exp\left(-\frac{F_\delta - P_\delta}{m_\delta + m_\sigma}\right) \Delta\tau \right], \quad (5.13)$$

где $K_{\text{оп}}$ – коэффициент усиления тормозного процесса, ед.

Таким образом, расчетная модель процесса дрейфа несамоходного объекта представлена выражениями (5.7) ÷ (5.9), а также расчетная линейная математическая модель процесса активного торможения буксиром дрейфующего объекта способом на укол для возможности выбора периода

торможения, мощности буксира, останавливающий объект и величины силы дрейфа объекта.

5.4. Определение эффективности проведения буксирных операций.

Проанализируем логику принимаемых развития организационно-распорядительных решений участников транспортного процесса на каждом этапе чрезвычайной ситуации, начиная с координатора – диспетчерской службы порта, участников операции: портофлота, капитанов семи буксиров и непосредственно основного исполнителя – капитана буксира «Гранит», непосредственно осуществляющего процесс активной остановки и удержания плавдока.

В ликвидации инцидента следует выделить ряд непосредственных исполнителей (рис. 5.1), функции которых не равнозначны:

- наблюдатель (внешний координатор) за явлением и объектом – диспетчерская служба порта;
- энергетическое и материальное обеспечение, людской ресурс – портофлот;
- активное торможение и удержание плавдока – капитан буксира «Гранит»;
- подстраховка дока от вращения – капитаны буксиров «Патриот», «Булат», «Новатор» и «Бугаз»;
- буксировка дока к причалу толканием и его отшвартовка – капитаны буксиров «Гранит», «Патриот», «Булат», «Новатор», «Бугаз», «Стивидор» и «Ударник».

Основная роль в ликвидации угрозы навала плавдока на танкеры в нефтегавани отведена капитану буксира «Гранит». Ответственность за реализацию операции возложена на диспетчерскую службу порта, а за компенсаторные противоаварийные действия – портофлот и экипажи буксиров.

Для оценки эффективности действий участников ликвидации инцидента воспользуемся временным критерием (табл. 5.5), который обобщает фактор реализуемости каждого этапа чрезвычайной ситуации:

$$\eta_{\delta o} = \left(\frac{T_{af}}{T_{\Sigma}} \right) \cdot 100\%,$$

где T_{af} – период активной фазы, ед. времени; T_{Σ} – суммарный период этапов буксирной операции, ед. времени.

Таблица 5.5 – Оценка бюджета времени спасательной операции по остановке дрейфа плавдока

№ п/п	Наблюдаемые навигационные ситуации «картины»	Доля, %
1	Дрейф плавдока до начала спасательной операции (периоды обнаружения и идентификации – 6 мин.)	29,3
2	Движение буксира «Гранит» к объекту (сопровождение – 6 мин.)	29,3
3	Принятие решения, подготовка к экстренному торможению – 2 мин.	9,8
4	Остановка дрейфующего объекта – 1,5 мин.	7,3
5	Удержание и подготовка к буксировке – 5,0 мин.	24,3

Для организации буксирно-кантовочной операции диспетчеру порта потребовалось 5-ть минут, около 2-х минут на принятие решения об осуществлении активного торможения плавдока буксиром «Гранит», которое было реализовано за 83 секунды на дистанции в 61 метр. Об этом свидетельствуют данные видеозаписи из мобильного телефона в режиме реального времени.

Остальные этапы буксирной операции в данном инциденте экстрима не представляют, кроме дальнейшего исследования операции активного торможения методом взятия на укол.

Фактический период спасательной операции составил 20,5 минуты: 7% – активное торможение объекта; 10% – принятие решения; 29% – подход к объекту; 29% – обнаружение дрейфа объекта.

Экспертиза с участием автора отмечает, что срыв плавдока с места швартовки произошел из-за ненадлежащего контроля за стоящими плавсредствами со стороны капитании судоремонтного завода, у одного из причалов которого «клинолином» был отшвартован плавдок. Направление ДП плавдока (158°) практически совпадало с направлением ветра (160°), т.е. ветер «продувал» плавдок. В противном случае при направлении ветра от SW (250°) на боковую поверхность плавдока действовала бы ветровая нагрузка в $(25\div 35) \text{ кг/м}^2 \cdot 3063 \text{ м}^2$, т.е. $750\div 1052 \text{ кН}$. Такая нагрузка имела место после разворота плавдока на 90° после обрыва швартовных концов.

Обращает на себя внимание длительный подготовительный период (обнаружение и подход к объекту – 76%), а принятие решения и его исполнение – 24% , т.е. подготовительный период был более чем в 3,0 раза больше исполнительного, который соизмерим с временным запасом до предполагаемого момента столкновения дока с портовой инфраструктурой либо стоящими у причала ошвартованными судами.

Это свидетельствует об опыте экипажей буксиров, особенно самого мощного буксира «Гранит», выполнившего быструю остановку плавдока, диспетчерской службы порта и его капитании, которые обеспечили безопасность в акватории порта и на подходах к нему.

В заключении экспертиза отмечает успешные действия и работу экипажей семи буксиров по прекращению дрейфа плавдока и буксировку его к причалу, длившиеся 40 минут.

Для разработки стратегии безопасной экстренной остановки транспортного средства рассмотрен случай отрыва и свободного дрейфа плавдока с размерениями: $L=168,28 \text{ м}$, $B=39,7 \text{ м}$, $T=1,8 \text{ м}$ массой 12145 т , дрейфующего со скоростью около $3,5$ узла по $КК=338^\circ$ по акватории порта (рис.5.2). Путь плавдоку преградил буксир с максимальной силой упора в 736 кН , который в стоящем состоянии встретил на укол движущийся плавдок по оси движения последнего. Данные видеозаписи процесса экстренного

торможения плавдока позволили установить период (83 с), среднюю скорость торможения около 0,735 м/с, замедление равное – 0,00885 м/с² и тормозной путь в 61 м.

Сила свободного дрейфа плавдока при ветре 15 м/с с порывами до 20 м/с в условиях закрытой акватории, рассчитанная по формуле (5.5), составила 333,5 кН. Средняя сила упора буксира при кантовке составила 360 кН, что составляет 60% от максимального значения его полной силы упора, а сила инерции $F_n \approx 107,5$ кН.

5.5. Выводы к главе 5.

Реализация стратегии экстренной остановки свободно движущего объекта методом кантовки осуществлена в следующей последовательности:

- максимальный упор буксира-кантовщика должен превышать силы дрейфа и инерции объекта с учетом порывов ветра не менее чем в 1,5 раза;
- обеспечить выход буксира на исходную позицию впереди движущегося объекта с учетом запаса пути на дистанцию торможения;
- расположиться носом к объекту, руль «ПРЯМО» и стать для укола в месте фактической ДП движущегося объекта;
- в момент касания объектом буксира следует увеличить силу упора до максимальной в зависимости от величины безопасной дистанции торможения;
- точка касание буксиром объекта должна быть постоянной, для чего впереди по правому и левому бортам объекта располагаются страховочные буксиры с меньшей силой упора, не позволяя объекту совершать вращательное движение;
- после остановки объекта следует организовать его буксировку к месту стоянки и обеспечить надежное закрепление.

Буксиры отрабатывали все команды капитана м/б «Гранит» слажено и бесперебойно. Это подтверждается минимальным периодом (1,38 мин.) активного торможения плавдока буксиром «Гранит», перегруппировкой буксиров в период удержания плавдока и перехода м/б «Гранит» для подстраховки четырех дополнительных буксиров «Патриот», «Булат», «Новатор», «Бугаз» в период кантовки плавдока к причалу, а затем последующее участие в швартовке дока вместе с дополнительными буксирами «Стивидор» и «Ударник».

Кантовка плавдока к причалу шестью буксирами связана также с угрозой возможного вращения буксируемого объекта. Поэтому буксиры были равномерно распределены по ДП дока.

Научным результатом решения главной задачи исследования является алгоритм поэтапных действий береговых операторов и капитанов буксиров по остановке свободно дрейфующего объекта, который обеспечил безопасность буксирной операции.

Ввиду того, что получение всех научных результатов осуществлялось путем анализа реальных производственных событий и инцидентов, использования результатом опыта морской практики и имитационного моделирования необходимости в их подтверждении нет.

Научная значимость полученных результатов заключается в прикладном развитии теории систем управления по состоянию, использующих метод «больших» отклонений и методы принятия решений системного анализа.

Практическая ценность научных результатов заключается в совершенствовании методологии гарантированной безопасного управления судами в аварийных условиях путем разработки базы знаний по безопасному управлению буксирными системами на коротких буксирах для выбора стратегии, принятия и реализации компенсационных действий по обеспечению устойчивости объектов буксировки и буксировщиков, находящихся в аварийном состоянии.

Научным положением настоящего исследования является, то, что для безопасной буксировки судов на коротких буксирах необходимо управление по состоянию, устанавливающему степень отклонения системы от штатного состояния к аварийному и, наоборот, с представлением переходных процессов в виде апериодического звена I-го порядка при скачкообразных возмущениях для компенсаторного влияния на величину постоянной времени и коэффициент усиления объекта и достаточно логичность оперативного управления переходными этапами, а также синергизм и быстроедействие в групповом управлении безопасностью организационно-распорядительными методами.

Содержание главы 5 изложено [62, 42, 32, 27] автора.

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена научно-прикладная задача по обеспечению гарантированной безопасности буксирных систем, которые пребывают в аварийном состоянии или чрезвычайной ситуации под скачкообразным воздействием негативного явления разрушительного характера для осуществления компенсационных действий, которые обеспечивают восстановление устойчивости аварийному объекту. Научные результаты, которые получены в результате исследований, позволяют сформировать основные выводы диссертационной работы:

- осуществлен анализ существующих правил и требований, методов, способов и приемов буксировки различных видов объектов, в основном судов, в направлении обеспечения устойчивости их движения при длительном действии негативных явлений;
- осуществлено исследование АМС методами экспертного оценивания по физической, логической и эвристической составляющим в направлении оценки просчетов в управлении объектами при реализации принятых решений;
- проведено системное исследование и сформированы математические модели переходных процессов в объекте, который находится под скачкообразным действием, представляющих разгонную характеристику апериодического звена I -го порядка, для выбора регулирующих воздействий, которые приводят к устойчивости;
- установлены закономерности физического регулирующего воздействия на аварийный объект для обеспечения его устойчивого состояния;
- установлены закономерности логической и эвристической последовательности воздействия на объект для выработки стратегии и принятия решения по безопасному управлению буксирной системой или операцией;

- созданы алгоритмы компенсирующих воздействий по безопасному управлению аварийными буксирными системами;
- разработана методика расчетного определения ледовых и маневренных характеристик судов ледового класса для их паспортизации по данным натуральных испытаний;
- осуществлена апробация явлений резонанса продольной качки и заливаемости объекта буксировки под воздействием собственных кормовых волн буксировщика с использованием программного комплекса «Flow Vision»;
- результаты работы внедрены в практику формирования планов лоцманских проводок, планирования судами буксирных операций, а также в учебном процессе при подготовке лиц командного состава судов портофлота, лоцманов, операторов БРЛС, диспетчерской службы порта.

В результате использования научных и прикладных результатов исследования в СУБ порта, компании и судов уровень аварийности буксирных систем по опыту работы судоходной компании СП ООО «НИБУЛОН» снижается до нуля.

Дальнейшее развитие результатов исследования и внедрение их в виде прикладных технологий управления, направленных на обеспечение гарантированной безопасности судоходства, тесно связан с повышением конкурентоспособности морского и речного флота Украины, а также интеграции ее в мировое сообщество.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации [текст] / А.Г. Алексеев. – М.: Наука, 1997. – 264 с.
2. Алексишин В.Г. Обеспечение навигационной безопасности плавания [текст]: уч. пособие / В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко. – О.: Феникс, М.: ТранЛит, 2009. – 518 с.
3. Антонов А.В. Системный анализ [текст]: учебник / А.В. Антонов. – М.: Высшая школа, 2004. – 454 с.
4. Апполонов Е.М. Проблемные вопросы создания универсального автономного ледокола нового поколения [текст] / Е.М. Апполонов, В.А. Беляшов и др. // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – Вып. 39 (323). – СПб.; ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2008. – С.110-128.
5. Арикайнен А.И. Азбука ледового плавания [текст] / А.И. Арикайнен, К.Н. Чубаков. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
6. Беллман Р. Динамическое программирование [текст] / Р. Беллман. – М.: Наука, 1995. – 264 с.
7. Большой энциклопедический словарь: в 2-х томах [текст] / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1991, т.2. – 768 с.
8. Бондарь В.М. О методике прогнозирования ситуаций и стратегии выбора решений капитаном поврежденного судна / В.М. Бондарь // Судовождение: Сб. научн. тр. / ОГМА. – Вып.1. – О.: Латстар, 1999. – С.29-34.
9. Буняк А.К. Безопасная скорость удара судна о плавающую льдину конечных размеров [текст] / А.К. Буняк, А.Л. Туник // Труды Горского политехнического института. – Горький: ГПИ, 1980. – С.54-56.
10. Бурименко Ю.И. Моделирование буксирно-кантовочных операций с использованием троса [текст] / Ю.И. Бурименко, Ю.Б. Попов // Судовождение, связь и безопасность мореплавания: экспресс-информ. – М.: Мортехинформреклама, 1995. – Вып.11 (318). – С.1-7.

- 11.Бурименко Ю.И. Портовая буксировка [текст] / Ю.И. Бурименко, Ю.Б. Попов. – М.: Транспорт, 1991. – 95 с.
- 12.Вагущенко Л.Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности [текст] / Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко, С.И. Заичко. – О.: Феникс, 2005. – 274 с.
- 13.Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна [текст] / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Феникс. – М.: Транс-Лит, 2007. – 376 с.
- 14.Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы [текст] / Л.Л. Вагущенко. – О.: Феникс, 2004. – 302 с.
- 15.Вильский Г.Б. Информационная безопасность судовождения [текст]: монография / Г.Б. Вильский. – Н.: ФОП Швець В.Д., 2014. – 336 с.
- 16.Вильский Г.Б. Навигационная безопасность при манской проводке судов [текст] / Г.Б. Вильский, А.С. Мальцев, В.В. Бездольный, Е.И. Гончаров, под. ред. А.С. Мальцева и Г.Б. Вильского. – О.-Н.: Феникс, 2007. – 456 с.
- 17.Винников В.В. Системы технологий на морском транспорте (перозка и перегрузка грузов) [текст] / В.В. Винников, Е.Д. Крушнин, Е.Д. Быкова; под общей ред. В.В. Винникова. – Одесса: Феникс; М.: ТрансЛит, 2010. – 576 с.
- 18.Воробьев Ю.Л. Гидродинамика судна в стесненном фарватере [текст] / Ю.Л. Воробьев. – СПб.: Судостроение, 1992. – 135 с.
- 19.Геопространственные производственные системы: монография. Ч.1. Анализ, моделирование, проектирование [текст] / В.М. Илюшко, О.Е. Федорович, О.Н. Замирец, Л.Д. Греков. – Харьков: ХАИ, 2011. – 250 с. – ISBN 978-966-662-225-2.
- 20.Глушко В.М. Введение в АСУ [текст] / В.М. Глушко. – К.: Техника .1974. – 320 с.

21. Голиков В.А. Методология научных исследований [текст] / В.А. Голиков, Н.А. Козьминых, О.А. Онищенко. – О.: ОНМА, 2014. – 163 с.
22. Голиков В.В. Концепция конструкции ледокола для работы в Азовском море [текст] / В.В. Голиков, П.А. Костенко, А.А. Лысый, О.Н. Мазур // Энергетика судна: эксплуатация и ремонт: матер. научн.-техн. конф. ОНМА 4-7.04.2011. – Одесса: ИздатИнформ ОНМА, 2011. – С.64-67.
23. Голиков В.В. Методологические аспекты проведения научно-технической экспертизы морских аварий [текст] / В.В. Голиков // Судовождение: Сб. научн. тр. / ОНМА. – Вып.16. – О.: ИздатИнформ ОНМА, 2009. – С.35-44.
24. Голиков В.В. Национальная морская система поиска и спасания [текст]: монография / В.В. Голиков, В.Д. Репетей. – О.: ОНМА, 2013. – 220 с.
25. Голиков В.В. О возможности использования БДЛК для двухстороннего движения судов [текст] / В.В. Голиков, П.А. Костенко // Обеспечение безаварийного плавания судов: матер. научн.-метод. конф. ОНМА 16-17.11.2011. – Одесса: ОНМА, 2011. – С.66-67.
26. Голиков В.В. Нормативно-правовая база ледового плавания в морях Украины [текст] / В.В. Голиков, В.Д. Репетей, П.А. Костенко // Современные проблемы повышения безопасности судовождения: матер. научн.-методич. конф. ОНМА 7÷8.10.2009. – Одесса: ОНМА, 2009. – С.38-39.
27. Голиков В.В. Проблемы ледовых операций в территориальном море Украины [текст] / В.В. Голиков, П.А. Костенко // Современные проблемы повышения безопасности судовождения: матер. научн.-техн. конф. ОНМА 7÷9.10.2009. – Одесса: ОНМА, 2009. – С.39-40.
28. Голиков В.В. Опыт проводки судов ледоколом «Капитан Белоусов» в ледовую навигацию по Азовскому морю [текст] / В.В. Голиков, А.А. Лысый, П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научно-техн. сб. / ОНМА, Вып.27. – О.: ИздатИнформ ОНМА, 2011. – С.39-44.

29. Голиков В.В. Маневрирование судна с азимутными поворотными колонками в неарктических льдах [текст] / В.В. Голиков, П.А. Костенко // Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека: матер. наук.-метод. конф. ОНМА 19÷20.11.2012. – О.: ВидавІнформ, 2013. – С.156-157.
30. Голиков В.В. Определение ледопроеходимости судов для плавания в неарктических морях [текст] / В.В. Голиков, П.А. Костенко, О.Н. Мазур, И.В. Сарин // Судовые энергетические установки: научно-техн. сб. / ОНМА, Вып.33. – О.: ИздатИнформ ОНМА, 2014. – С.183-189.
31. Голиков В.В. Особенности торможения судна с винторулевыми колонками в толстых льдах неарктического моря [текст] / В.В. Голиков, П.А. Костенко, А.М. Демченко // Судовые энергетические установки: научно-техн. сб. / ОНМА; Вып.35. – О.: ИздатИнформ ОНМА, 2015. – С.142-152.
32. Голиков В.В. Особенности буксировки малых водоизмещающих судов [текст] / В.В. Голиков, И.В. Давыдов, П.А. Костенко, А.Г. Губский // Вестник государственного морского университета им. адм. Ф.Ф. Ушакова: Журнал научн. статей. – Новороссийск (РФ): ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2016, №2 (15). – С.18-21.
33. Грузинский П.П. Аварийно-спасательное дело и борьба за живучесть судна [текст]: справочное пособие / П.П. Грузинский, П.М. Хохлов. – М.: Транспорт, 1977. – 288 с.
34. Зуев В.А. Особенности плавания ледоколов в условиях мелководья [текст] / В.А. Зуев, В.К. Рыбаков // Проектирование, теория и прочность судов, плавающих во льдах: сб. научн. тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.-Новгород: НГТУ, 2002. – С.34-39.
35. Ионов Б.П. Ледовая ходкость судна [текст] / Б.П. Ионов, Е.М. Гарбузов. – СПб.: Судостроение, 2001. – 512 с.

36. Кацман Ф.М. Человеческий фактор в проблеме обеспечения безопасности судоходства [текст] / Ф.М. Кацман. – СПб.: СПГУВК, 2003. – 150 с.
37. Качинский А.Б. Засади системного аналіз убезпеки складних систем [текст] / А.Б. Качинський. – К.: НВЦ Євроатмантікінформ, 2006. – 336с.
38. Каштелян В.И. Ледоколы [текст] / В.И. Каштелян, А.Я. Рывлин, О.В. Фадеев, В.Я. Ягодкин. – Л.: Судостроение, 1972. – 286 с.
39. Каштелян В.И. Сопротивление льда движению судна [текст] / В.И. Каштелян, И.И. Поздняк, А.Я. Рывлин. – Л.: Судостроение, 1968. – 238с.
40. Климентьева Н.Ю. Модельные исследования ледового сопротивления перспективного ледокола на предельном мелководье [текст] / Н.Ю. Климентьева, А.В. Рыжков, К.Е. Сазонов / Труды ЦНИИ им. акад. А.А. Крылова. – Вып. 51(335). СПб.: ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.А. Крылова», 2010. – С. 5-12.
41. Козлов С. Эксплуатация каналов, фарватеров и зон маневрирования [текст] / С. Козлов // Морской флот (РФ), 2008. - №2. – С.35-38.
42. Костенко П.А. Особенности буксирного обеспечения судов и объектов [текст] / П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научно-техн. сб. / ОНМА. – Вып.36. – О.: ИздатИнформ, ОНМА, 2015. – С.152-156.
43. Костенко П.А. Особенности всесезонной буксировки судов в водах Украины [текст] / П.А. Костенко // Судовождение: сб. научн. тр. / ОНМА, Вып.25. – О.: ИздатИнформ ОНМА, 2015. – С.185-192.
44. Костенко П.А. Особенности маневрирования судном оборудованном поворотными рулевыми колонками [текст] / П.А. Костенко // Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека: матер. наук.-метод. конф. ОНМА 14÷15.11.2012. – О.: ВидавИнформ ОНМА, 2012. – С.44-45.

45. Костенко П.А. Экстренное торможение несамоходного морского транспортного объекта способом кантовки [текст] / П.А. Костенко // Судовождение: сб. научн. тр. / ОНМА. – Вып. 26. – О.: ИздатИнформ, 2016. – С.199-204.
46. Кодексы Украины. Кодекс торгового мореплавания. – К.: Украинский информационно-правовой центр, 2002. – 154 с.
47. Кринецкий И.И. Судовая автоматика [текст] / И.И. Кринецкий. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 442 с.
48. Курдюмов В.А. Определение нагрузок при ударе судна вертикальным бортом о кромку ледяного поля [текст] / В.А. Курдюмов, Д.Е. Хейсин // Научно-технический сборник Регистра СССР. – Вып.14. – Л.: Транспорт, 1984. – С.3-10.
49. Курдюмов В.А. Расчетные методы определения ледовой нагрузки на корпус судна [текст] / В.А. Курдюмов // Перспективные типы морских транспортных судов, их мореходные и ледовые качества: сб. научн. тр. ЦЖШ МФА. – Л.: Транспорт, 1990. – С.116-127.
50. Мальцев А.С. Методологические основы маневрирования судов при сближении [текст]: монография / А.С. Мальцев, В.В. Голиков, И.В. Сафин и др. – Одесса: ОНМА, 2013. – 218 с.
51. Мальцев А.С. Теория и практика безопасного управления судном при маневрировании [текст] / А.С. Мальцев. – Дис. ... докт. техн. наук: 05:22:16 – судовождение. – О.: 2007. – 395 с.
52. Маринов М.К. Учет человеческого фактора в аварийных ситуациях на море [текст] / М.К. Маринов, В.Д. Клименко // Эксплуатация морского транспорта. – 2008. - №2. – С. 25-29.
53. Нечаев Ю.И. Принятие решений при управлении судном в экстремальных ситуациях на основе современной теории катастроф [текст] / Ю.И. Нечаев, В.Г. Сизов // Судовождение: сб. научн. тр. / ЮНМА. – Вып. 20. – О.: Латстар, 2010. – С. 130-142.

54. Нечаев Ю.И. Теория катастроф: современный подход при принятии решений: [текст] / Ю.И. Нечаев. – СПб.: АРТ-Экспресс, 2011. – 392 с.
55. Обертюр К.Л. Инверсный метод сценарного анализа в процессе выбора решений по управлению борьбой с комарами на морском судне [текст] / К.Л. Обертюр // Судовождение: сб. научн. тр. ОНМА. – Вып. 23. – О.: ОНМА, 2013. – С. 83-89.
56. Овчинников П.П. Математичне моделювання систем механіки, електромеханіки та автоматики [текст]: навч. посібник / П.П. Овчинников. – К.: Інститут системних досліджень освіти, ОДМА, 1994. – 236 с.
57. Погосов С.Г. Швартовка крупнотоннажных судов [текст] / С.Г. Погосов. – М.: Транспорт, 1975. – 176 с.
58. Практика плавания во льдах [текст] / ГУННО ВМФ СССР, ГУНН ММФ СССР. – М.: Мортехинформреклама, 190. – 80 с.
59. РД 31.31.47-88 Нормы проектирования морских каналов [текст]. – М.: ВО «Мортехинформ реклама», 1988. – 52 с.
60. Репетей В.Д. Особенности зимней навигации в Азовском море [текст] / В.Д. Репетей, В.В. Голиков, А.А. Лысый // Судовождение: сб. научн. тр. / ОНМА. – Вып.17. – О.: ИздатИнформ, ОНМА, 2009. – С. 155-163.
61. Репетей В.Д. Морские буксировки [текст]: учебно-практ. пособие / В.Д. Репетей. – О.: Укрморинформ, 2007. – 173 с.
62. Репетей В.Д. Особенности буксировки судов в портовых водах [текст] / В.Д. Репетей, П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. / ОНМА. – Вып.35. – О.: ИздатИнформ ОНМА, 2015. – С.142-152.
63. Репетей В.Д. Теория и практика буксировки судов [текст]: учебное пособие / В.Д. Репетей, В.П. Гудко. – Херсон: Олди-плюс, 2009. – 279 с.
64. Сазонов К.Е. Управляемость судов во льдах: методы определения ледовых сил, действующих на движущийся по криволинейной траектории корпус, и зависимости показателей поворотливости судов от

- характеристик корпуса и внешних условий [текст]: диссерт. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук по спец.: 05.08.01 – теория корабля и строительная механика. – СПб.: ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова», 2004. – 285 с.
65. Сизов В.Г. Теория корабля [текст]: учебн. пособие / В.Г. Сизов. – Одесса: Феникс, 2003. – 284 с.
66. Система компенсаційного управління курсов судна. Патент на корисну модель U201Y409417 / А.С. Мальцев, В.Є. Львов, В.В. Голюков, П.А. Костенко, 2014. – 16 с.
67. Снопков В.И. Управление судном [текст]: учебник / В.И. Снопков. – СПб.: Професионал, 2004. – 536 с.
68. Спитковский М.И. Суда технического и вспомогательного флота [текст]: учебник / М.И. Спитковский. – М.: Транспорт, 1965. – 295 с.
69. Федорович О.Е. Исследование логистики снабжения и сбыта в разнородной транспортной инфраструктуре грузоперевозок [текст]: монография / О.Е. Федорович, Э.Е. Рубин, Н.В. Еременко. – Харьков: ХАИ, 2016. – 198 с.
70. Федорович О.Е. Логистические модели управления производством [текст]: монография / О.Е. Федорович, О.Н. Замирец, А.В. Попов. – Харьков: ХАИ, 2010. – 218 с. – ISBN 978-966-662-201-6.
71. Федорович О.Е. Наукові основи управління велико-масштабними проектами та програмами розвитку машинобудування [текст]: монографія / О.Є. Федорович, В.М. Ілюшко, Е.Ю. Рубін. – Х.: ХАІ, 2015. – 200 с.
72. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов [текст] / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюников. – О.: КТОГТ, 2007. – 424 с.
73. Шамарин Ю.Е. Динамика подводных океанических систем [текст]: монография / Ю.Е. Шамарин, В.И. Поддубный и др. – К.: Церта Арт, 2001. – 228 с.

74. Andreev A. Effectiveness increase of ergatic control systems of objects with high degree of inertia / Andreev A., Lvov V. // Proceedings of the International conference TCSET-2008. – Lviv-Slavske. – 2008. – P.531-532.
75. Bowditch Nathaniel The American practical navigator (An epitome of navigation) / Nathaniel Bowditch. – New York, 1995. 481 p.
76. Convention on the International Regulations for preventing Collisions at sea (COLREG), 1972 (MIIIICC-72).
77. David Hancox F.N.I. “Commercial Salvage Practice”. Volumes One & Two Pages-1255. Published by Thomas Reed Publications Limited Double Century House, PO Box 36 High Street West, Sunderland SR1 1UQ, England.
78. Hallquist J.O. LS-DYNA 950. Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation. LSTC Report 1018. Rev. 2. USA, 2001. – P.498.
79. Graham Danton The theory and practice of seamanship / Danton Graham. – London, 1996. – 522 p.
80. Nomoto K. Loss of propulsion power caused by yawing with particular reference to automatic steering / K. Nomoto, T. Motoyama. – J. Soc. Nav. Arch. Japan. – 1996. – Vol. 120, № 12. – P. 71-80.
81. Report Guidelines for the Approvability of Towing Vessels 0021/NDI/PAC December 1989. Approved by Technical Policy Board on 28 December 1989. Noble Denton International Ltd. Marine and Engineering Consultants and Surveyors. Noble House 131 Aldersgate Street London EC1A 4EB.
82. Wagner S.L. Steering and Manoeuvring of ships – full-scale and model tests / S.L. Wagner. – European Shipbuilding. – 1970. – Vol. 19, № 6. – P. 86-94.
83. Tunik A.L. Safe speeds for Navigation in Ice / VTT Symposium, 1986, №71. – Pp. 1106-1124.
84. Technical Handbook. Mennens & Co’s Handel Maatschappij B.V. Kommiezenlaan 16, 3125 AN Schiedam, Holland. 1984.
85. International Tug and Salvage Convention Genoa, Italy, 1992.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ
ЛЕДОВЫХ КАРАВАНОВ

А.1. Особенности формирования и построения ледовых караванов.

Ледоколы проводят суда через льды, как правило, караваном – группой судов, объединенных для ледовой проводки. Принято различать простые и сложные караваны. Первые проводятся одним ледоколом, вторые – несколькими, причем один из ледоколов, ведущий, прокладывает канал во льдах, а остальные ледоколы считаются вспомогательными. Они занимают место в караване по указанию ведущего ледокола, обеспечивая проводку позади идущих судов, а при необходимости – околку впереди идущих [9].

Общее руководство проводкой каравана осуществляет капитан ведущего ледокола, которому независимо от ледовой обстановки оперативно подчиняются все капитаны судов каравана. Это одно из важнейших условий скорейшей и безаварийной проводки: плавание каравана как соединения судов невозможно без единоначалия и требует соблюдения жесткой дисциплины.

Работа судов каравана проходит по единому судовому времени, указания передаются по радиотелефону, которые на всех судах должны быть постоянно включенными в режиме «прием-передача» на канале, назначаемом капитаном ледокола. Все суда должны в порядке номеров их мест в караване репетовать команды с ведущего ледокола. Чтобы обеспечить капитану ледокола уверенное маневрирование, репетование сигналов должно быть немедленным и четким, особенно в отношении сигнала ледокола об изменении скорости судна и дистанции. Команда «Внимание, застрял» обязательно дублируется звуковым или световым сигналом, а лучше обоими сразу. Все судоводители должны знать наизусть однобуквенные сигналы для связи между ледоколом и проводимыми судами. На ходовых мостиках на видном месте вешают таблицы сигналов, применяемые при проводке каравана. Звуковые сигналы, предусмотренные МППСС-72 при плавании во время тумана, мглы или снегопада, подаются судами только по указанию капитана ведущего ледокола [76].

При подходе транспортного судна к району возможных ледокольных операций его капитан должен получить от центра, руководящего ледовыми операциями, сведения о месте формирования каравана и название ведущего ледокола. После этого он устанавливает связь с капитаном ведущего ледокола и в дальнейшем выполняет его указания. Место для сбора судов выбирается на чистой воде в непосредственной близости от кромки льда с учетом обеспечения навигационной безопасности. Капитан ледокола, принимая суда для проводки, знакомится с их тактико-техническими данными и фактическим техническим состоянием, интересуется «ледовым» опытом капитанов судов и при необходимости их инструктирует.

Число судов каравана устанавливает капитан ведущего ледокола в зависимости от прогнозируемой метеорологической и ледовой обстановки, особенностей района плавания, типа и состояния судов и вспомогательных ледоколов, опыта судоводителей. Основным критерием являются ледовые условия на предполагаемом пути следования, поэтому капитан ведущего ледокола должен грамотно оценить состояние льда на трассе. В особо сложных ледовых условиях, когда ледовая обстановка по курсу следования каравана неясна, разведка льда производится корпусом ледокола. После этого можно приступить к формированию каравана.

При решении этой задачи капитан ледокола исходит из того, что скорость движения каравана тем меньше, чем больше сплоченность, толщина и торосистость льда; крупнее его формы; меньше разрушенность льда; хуже видимость; больше судов в караване; меньше их приспособленность к плаванию во льдах. До сих пор не разработаны четкие и однозначные критерии его решения с учетом всей совокупности факторов. Для каждого типа ледокола нужны свои критерии, причем для летнего и осенне-зимнего сезона они будут различны. Формируя караван, капитан ведущего ледокола определяет количественный состав каравана, опираясь на различного рода закономерности (табл.А.1) и сообразуясь с конкретной обстановкой на основе своего опыта.

При решении этой задачи определяется число судов, исходя из того, что общая длина каравана должна соответствовать длине канала, остающегося за ледоколом. Канал же начинает закрываться льдом по мере прохождения ледокола, причем тем раньше, чем тяжелее лед и сильнее его дрейф.

Таблица А.1. Возможная нагрузка на один ледокол при проводке судов во льдах сплоченностью 9-10 баллов при наличии сжатий в зависимости от толщины льда и ледового класса судна

Число судов	Ледовая категория ледокола	Толщина льда, см, для судов категории					
		УЛА		УЛ		Л1	
		Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
1	ЛЛ1	200	100	182	87	168	65
	ЛЛ3	180	80	162	68	150	58
2	ЛЛ1	165	70	152	60	138	43
	ЛЛ3	150	58	135	45	120	38
3	ЛЛ1	135	47	122	38	110	29
	ЛЛ3	120	35	110	25	90	20
4	ЛЛ1	105	25	95	20	83	15
	ЛЛ3	90	18	82	10	65	8

Общие правила, при формировании ордера каравана следующие:

- проводка транспортных судов ледоколами осуществляется как правило, в кильватер;
- капитан ведущего ледокола должен сообщить судам, принятым под проводку, их порядковые номера в строю, дистанцию;
- судам с маломощными машинами или слабым корпусом, а также судам в балласте или аварийным судам назначаются ближайšie за ледоколом места;

- впереди судна со слабым корпусом ставится, как правило, судно с прочным корпусом и мощными машинами, которое будет выравнивать канал за ледоколом, очищая его от крупных льдин;
- крупные суда, лишь незначительно уступающие по своей ширине ледоколу, желательно ставить первыми;
- замыкать караван должны суда, управляемые опытными капитанами и имеющие мощные машины, поскольку наибольшие трудности в продвижении по каналу возникают в хвосте каравана;
- если ведущий ледокол с трудом прокладывает путь и вынужден форсировать отдельные перемычки льда с разбега, второй ледокол ставится непосредственно за ним;
- при наличии в караване нескольких ледоколов их расстановка производится таким образом, чтобы равномерно распределить между ними нагрузку и обеспечить наиболее благоприятные условия продвижения в канале всем судам с учетом их приспособленности к плаванию во льдах.

При формировании каравана целесообразно руководствоваться не только фактической, но и ожидаемой ледовой обстановкой. Если к месту формирования каравана одновременно подошла большая группа судов, в различной степени приспособленных к плаванию во льдах, то при неблагоприятном ледовом прогнозе следует в первую очередь включать в караван более мощные и приспособленные к ледовому плаванию суда; с дальнейшим улучшением ледовых условий можно приступить к проводке менее приспособленных к плаванию во льдах судов. При ожидаемом улучшении ледовой обстановки, если только позволяет время, незамедлительно начать проводку более слабых судов.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.
ХАРАКТЕР ВЛИЯНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ
НА ЛЕДОВЫЙ КАРАВАН В АЗОВСКОМ МОРЕ

Б.1. Характер влияния навигационной обстановки на ледовый караван в Азовском море.

Постановка проблемы требует описания навигационной обстановки в районе проводки ледовых караванов, которая, согласно лоции Черного и Азовского морей [52], Азовское море мелководно. Максимальная глубина его 15 м. Средняя глубина моря 8 м. Глубины в открытой части моря 10-13 м. Наибольшая глубина во входе в Таганрогский залив 9,6 м; от входа по направлению к вершине залива глубины постепенно уменьшаются и в его вершине не превышают 5 м.

Рельеф дна Азовского моря ровный и имеет незначительный уклон к центру. От кос простираются отмели. Грунт – песок, ракушечник и ил, а поэтому, в основном, мягкий. У берегов широкой полосой залегают песчаные грунты с примесью ракушки. Дно центральной части моря покрыто мягким илом. Скалистый грунт встречается лишь у южного берега моря.

По условиям плавания в зимний период Азовское море относится к морям, замерзание которых по всей акватории происходит только в суровые и близкие к ним зимы. Средняя продолжительность ледового периода на маршруте Керчь – Мариуполь – Бердянск 76 суток, наименьшая – 22 суток, а наибольшая 145 суток.

Ледовый покров обычно распространяется с севера на юг Азовского моря и, в зависимости от сезона, его рельефа и направления господствующих ветров, имеет различную толщину льда (табл. Б.1) [52].

Таблица Б.1. Толщина ледового покрова Азовского моря

Часть моря	Ледяной период, сут.	Зима, м	
		мягкая	суровая
Северная	100	0,5	0,8
Западная	100 и более	0,1 ÷ 0,3	0,7
Восточная	100	0,2	0,7
Центральная	90	0,15 ÷ 0,25	0,4
Южная	80	0,3	0,6
Керченский пролив	54	0,2 ÷ 0,3	0,4 ÷ 0,45

Плавание судов зимой в центральной части Азовского моря при наличии ледяных полей и перемычек не постоянной толщины сопряжено с большими трудностями и риском быть зажатым.

При форсировании торосистых ледяных полей предпочтение отдается участкам с трещинами, полыньями и полосам молодого льда между полями.

При плавании в редком и разреженном дрейфующем льду создается угроза столкновения с ледяными полями, отдельными льдинами и стамухами, а весной следует остерегаться малозаметных подводных выступов торосистых льдин.

Что касается плавательных средств, участвующих в ледовых проводках, то результаты последних исследований показывают, что основным источником пополнения флота Украины были суда смешанного плавания (ССП) наравне с ранее модернизированными судами речного плавания. ССП отличается малая металлоемкость при толщине листовых элементов корпуса в 6...10 мм и его набора в 5...8 мм, что существенно ограничивает его надежность на волнении. Имея «стандартную» грузоподъемность (1000, 2000, 3000, 5000 тонн), они вытеснили морские суда аналогичной грузоподъемности. В работе ССП льдопроходимость учитывается в классе Регистра: не менее ЛУ2 – регулярное плавание без ледокольной проводки в мелкобитом разреженном льду толщиной 0,55 м при скорости судна в 5 узлов, который обеспечивается ледовыми подкреплениями [М-СП (лед) и выше]. По конструктивным особенностям ССП отличаются также слабой мореходностью в штормовых условиях, о чем свидетельствует статистика аварий.

Ледокольная проводка судов в замерзающих морях осуществляется для обеспечения, по крайней мере, минимальной пропускной способности основных морских трасс, которая, в сравнении с летним периодом, снижается в 1,2 ÷ 1,5 раза. Для этих целей используются ледоколы с ледовым классом не менее ЛУ4.

По данным Минтрансвязи Украины от 01.10.2010 г. в Азовском море в осенне-зимний период 2010 – 2011 годов задействованы ледокол «Капитан Белоусов», буксиры «Портовик», «Капитан Гасич», «Витязь» и «Нептун». Первые три судна эксплуатируются Мариупольским морским торговым портом, а последние два – Керченским морским торговым портом.

Основным средством ледовой проводки судов в Азовском море, Керчь – Еникальском и других каналах является ледокол «Капитан Белоусов».

Ледокол «Капитан Белоусов», прообразом которого стал финский ледокол «Уден», был принят в эксплуатацию в 1954 году. Это дизель-электроход мощностью более 7000 кВт с двумя носовыми и двумя кормовыми гребными винтами.

Носовые винты предназначены для омывания корпуса ледокола на ходу с целью снижения трения его подводной части о лед и лучшего прохода в ледовых полях путем создания прослойки водяной смазки между корпусом и льдом.

Судно оборудовано двойным дном, 3-мя непрерывными палубами, 9-ю водонепроницаемыми отсеками, 2-мя дизельными и 2-мя машинными отделениями. Энергетическая установка состоит из 6-ти двигателей внутреннего сгорания с электрогенераторами постоянного тока [55].

Опыт работы ледоколов типа «Капитан Белоусов» в условиях Азовского моря и других районов подтвердил эффективность использования носовых винтов. Концепция судна двойного действия была разработана и запатентована финской фирмой Квэрнер Маса Ярд Инк, в которой сложные ледовые условия преодолеваются кормой вперед, а в легких льдах и на чистой воде судно движется носом вперед [28].

Заклиниваемости в ледовую навигацию 2009 – 2010 гг., после реновации ледокола, при проводках не наблюдалось.

Вибрация корпуса ледокола наблюдается исключительно в тяжелых ледовых условиях.

Непрерывность движения ледового каравана обеспечивается в условиях стесненных фарватеров покрытых набивным льдом и шугой, а также в ровном сплошном льду толщиной до 0,6...0,8 м.

К основным поломкам механизмов и систем ледокола во время ледовой проводки относятся засорения системы охлаждения двигателей энергетической установки илом и мелкой ракушкой, что приводит к механическим поломкам элементов насоса охлаждения. Вместе с тем, потерь и поломок лопастей носовых и кормовых гребных винтов не наблюдалось, состояние подшипников двигателей и валов удовлетворительное, коррозии корпуса после ледовых операций, кроме потери краски на переменном поясе, не наблюдается.

Трудно проходимые участки льда (перемычки) ледокол проходит атаками по схеме «елочка», а колка – методом лидирования.

Околка льда при проводке судов, особенно в тяжелых ледовых условиях, осуществляется в ситуациях, когда одно из судов каравана может застрять во льду и не иметь движения даже при работе машины на полный передний ход. Такие ситуации встречаются довольно часто и происходят из-за того, что: в канале быстро образуется уплотненная масса мелкобитого льда; в канал вклиниваются крупные обломки льдин; канал за ледоколом закрывается из-за сжатия льдов; судно заклинивается в изгибах канала. В этих случаях ледокол окалывает судно – создает слабину во льдах проходами вдоль борта судна. Если позволяют условия и застрявшее судно находится недалеко от ледокола, применяется околка кормой – ледокол проходит на заднем ходу вдоль судна, разрушая лед у его борта, далее дает передний ход и, проходя мимо судна, подает команду следовать за ним. Такой способ является самым экономичным по времени, но имеется риск повреждения винтов и руля ледокола. При околке носом ледокол выходит из кильватерного строя, описывает циркуляцию и на переднем ходу выходит к борту застрявшего судна. Расстояние между ледоколом и окалываемым судном обычно составляет около 10 – 20 м в зависимости от толщины льда. Практика проводки караванов показывает, что

при околке судоводителю застрявшего судна следует выполнять следующие рекомендации:

- судно должно все время работать самым малым передним ходом, чтобы создать за кормой разрежение, предохраняющее руль и винт от заклинивания льдинами;
- при выходе ледокола к судну дается малый ход вперед;
- когда корма идущего вперед ледокола будет примерно в середине судна по команде с ледокола дается полный ход вперед;
- когда корма ледокола подходит к форштевню окальваемого судна, то есть, нос может резко уклониться в сторону ледокола и даже навалиться на его корму;
- для предотвращения навала руль на судне необходимо переложить на борт, противоположный окальваемому;
- как только корма ледокола пройдет форштевень, руль перекалывается на противоположный борт, и судно выходит за ледоколом, держась в кильватере.

К особенностям гидродинамического режима движения ледокола и каравана на мелководье Азовского моря с учетом волнения, ветра и течения следует отнести:

- изменение характера вибрации судна (вибрация приобретает ударный характер);
- по корме ледокола появляется отчетливо выраженная корабельная волна, а при отношении глубины к осадке менее 1,5 и при значительной скорости судна гребни корабельных волн начинают опрокидываться, что сопровождается характерным шумом;
- судно становится менее управляемым и слабее реагирует на перекалки руля (устойчивость на курсе ухудшается);

- температура выхлопных газов энергетической установки резко повышается, что заставляет снизить обороты винтов (винты становятся гидродинамически тяжелыми для двигателей);
- заметно увеличивается осадка судна;
- скорость судна падает.

При плавании ледокола по чистой воде в свежую погоду наблюдается интенсивная качка и крен с рысканием судна в любую погоду, которое зависит от опытности рулевого.

По данным судового журнала ледокола «Капитан Белоусов» за период с 1998 г. по 2010 г. судном осуществлено 3069 ледовых операций (табл. Б.2).

Результаты анализа характера взаимодействия судов ледового класса с навигационной обстановкой Азовского моря показали, что ССП представляют угрозу для безопасности судоходства как в осенне-зимний, так и в зимний периоды года, а реновация ледокола «Капитан Белоусов», не решила задачу сохранения пропускной способности морских магистралей Азовского моря и прилегающих портов в сравнении с летним периодом года.

Таблица Б.2. Количество судов и вид ледовых проводок ледоколом «Капитан Белоусов» за одиннадцать зимних периодов

Годы \ Вид	КУГ*	АМ*	КЕК***	Под наблюдением
1998-1999	38	—	—	—
1999-2000	35	7	—	—
2000-2001	113	—	—	—
2001-2002	228	49	—	—
2002-2003	592	345	—	—
2004-2005	279	22	—	—
2005-2006	257	138	39	—
2006-2007	42	—	—	—
2007-2008	150	215	5	—
2008-2009	142	88	—	—
2009-2010	152	38	—	245
ВСЕГО	1878	902	44	245

*КУГ – канал Угольной гавани (3 мили)

**АМ – Азовское море

***КЕК – Керчь – Еникальский канал (22 мили)

ПРИЛОЖЕНИЕ В.
ТРЕБОВАНИЯ К БУКСИРОВКЕ СУДОВ ВО ЛЬДАХ,
ВКЛЮЧАЯ АВАРИЙНУЮ ОКОЛКУ

В.1. Требования к буксировке судов во льдах

Наиболее объемной должна быть база знаний для ледовых условий буксировки поврежденных судов с минимальным запасом плавучести. Такие обстоятельства, когда для посадки судна, терпящего бедствие, на мель ему необходимо проследовать десятки миль в подвижном льду, требуют от всех участников аварийной буксировки группового предельного внимания и ответственных действий [58, 83, 82].

Для этого эксперту необходимы знания основных свойств буксирной системы:

- угроза повреждения судна ледового каравана максимальна при следовании в нем последним без постоянной околки;
- сохранность запаса плавучести судна с пробоиной в корпусе обеспечивается постоянством площади действующей ватерлинии и водоизмещения;
- ходкость судна в ледовом караване обеспечивает ледокол;
- вид буксировки аварийного судна: тандем с ледоколом или толкание аварийного судна, следовавшего за ледоколом к месту посадки на мель;
- крепление вплотную к буксирвощику должно быть надежным.

При движении ледоколов или ледокола и буксируемого судна способом тандем (вплотную) возникают линейные и угловые перемещения носа ведомого судна относительно кормы ведущего ледокола. Контактные (инерционные) усилия обусловлены соответствующими ускорениями свойственными системе «ледокол-судно» при работе во льдах. Перемещения судна относительно кормового выреза ледокола связаны, как с неоднородностью ледового поля и неравномерностью работы пропульсивных комплексов судов, так и со степенью натяжения буксирных стропов.

Работа ледоколов набегамии вызывает продольные ускорения в месте контакта тандема на порядок (в 10 – 20 раз) больше поперечных и

вертикальных. Угловые перемещения достигают максимального значения в конце набега при остановке ледокола, но не превышают 3° . Рыскания ведомого судна минимизируются перекладками руля ледокола в пределах $10\div 20^\circ$. В противном случае возможен выход форштевня ведомого судна из кормового выреза и обрыв буксирного троса, а поэтому оценка продольных ускорений при буксировке судна во льдах способом тандем в жесткой и гибкой сцепке очень важна.

Метод толкания наиболее эффективен на малых скоростях движения проводимого судна, а наибольшая сила упора винта буксира-толкача при расположении его под прямым углом к борту судна. Метод толкания с использованием двух закрепленных к судну буксиров, расположенных с разных бортов у носа и кормы, позволяет перемещать судно в любом направлении и разворачивать его на месте. Маневрирование осуществляется путем изменения угла между диаметральной плоскостями буксира и судна, переменной ходов и действием рулей буксирных судов.

Буксировка судов ледоколами во льдах осуществляется на длинном буксире длиной около 100 м, на коротком буксире длиной 40-50 м и вплотную в кормовом вырезе ледокола.

Буксировка на длинном буксире ограничена из-за невозможности ее осуществления, когда лед в канале создает большое сопротивление буксируемому судну, особенно на криволинейных участках.

Буксировка вплотную имеет определенные преимущества перед буксировкой на длинном и коротком буксире и получила большое распространение на практике, но обладает также существенными недостатками из-за того, что не всегда носовые обводы буксируемого судна вписываются в кормовой вырез ледокола, а при поворотах система ледокол – судно плохо управляется. Даже на прямолинейных курсах при движении в неровном, торосистом льду происходят частые обрывы сцепки из-за резкого отбрасывания от торосов носа ледокола в сторону более слабого льда.

Преимущества метода буксировки на коротком буксире перед другими методами заключаются в том, что система ледокол – судно достаточно хорошо управляется на поворотах, а на прямолинейных участках ледовое сопротивление в большинстве случаев позволяет буксировать судно с достаточно приемлемой скоростью без остановки движения околкой. Метод по существу универсален.

Таким образом, целесообразно проанализировать конструктивные, эксплуатационные и управленческие факторы ледовой буксировки. Все без исключения ледоколы оборудованы специальным буксирным устройством, в которое (рис. В.1), должно входить следующее [67.]:

- буксирная лебедка с емкостью барабана около 500-700 м буксирного троса с канатоукладчиком с автоматическим удержанием заданной длины и тягового усилия в канате;
- амортизатор (демпфер) и гидродинамического или иного типа;
- две буксирные серьги – одна у самого кормового выреза, другая на палубе по линии буксирного троса между лебедкой и кормовой серьгой;
- кормовой вырез достаточной глубины для предотвращения выхода из него форштевня буксируемого судна на поворотах, оборудованный надежными мягкими кранцами. На мощных ледоколах кранцы, как правило, устанавливаются в два яруса, причем кормовые кранцы для большей износоустойчивости покрываются металлической кольчужной сеткой.

Непременной принадлежностью буксирного устройства является блок конструкции Н.М. Николаева или их набор для буксировки различных судов. На ледоколе должен быть запас буксирных стропов (20-25 шт.) длиной 25-30 м и диаметром 45-65 мм.

С целью сокращения времени крепления буксирного троса в большинстве случаев на транспортных судах применяют вариант его крепления на кнехты через центральный клюз [83].

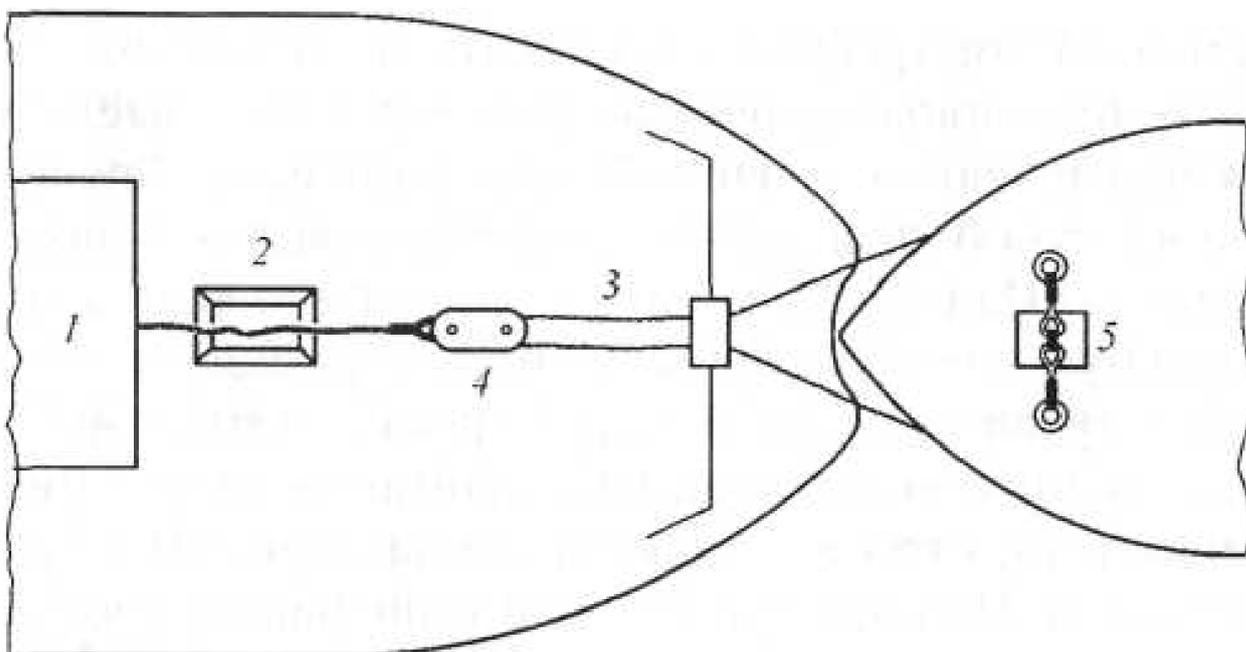


Рис. В.1 – Буксирное устройство на ледоколе

1 – лебедка; 2 – стопор Булливана; 3 – буксирная серьга; 4 – блок Николаева;
5 – бензель

Чтобы обеспечить быстрое и надежное крепление буксира, ледокол и проводимые транспортные суда должны быть всегда готовы к выполнению этой операции.

Современные ледоколы оборудованы специальными буксирными лебедками с буксирными тросами, специальными кнехтами, клюзами и стопорами для буксира. На ледоколах имеются специальные буксирные стропы – «усы», которые продеваются через клюзы буксируемого судна. На палубе судна заранее готовится все необходимое для крепления «усов», в частности бросательные концы и тросы – проводники со скобками. Якоря укладываются на палубе, что позволяет обезопасить их от повреждения.

Важное значение имеет хорошее владение способами крепления буксирного стропа, при этом необходимо соблюдение одного условия – строп, поданный с ледокола, должен быть быстро и легко отдан. Палубной командой должны быть заблаговременно отработаны наиболее употребительные способы крепления буксира:

- огоны буксирного троса соединяются на палубе буксируемого судна найтовым из манильского или пенькового троса в несколько рядов

шлагов (30-70), для этого требуется 50-100 м растительного каната; количество шлагов и длина расходуемого каната зависят от его диаметра;

- на палубе буксируемого судна через оба огона стропа буксира ледокола пропускается короткое бревно (рис. В.2 (а)); чтобы огоны стропа не врезались при сильной тяге в бревно, следует подкладывать под них маты, обматывать их парусиной и т.п.; нецелесообразно применять четырехгранные брусья, так как огоны легко врезаются в их грани.

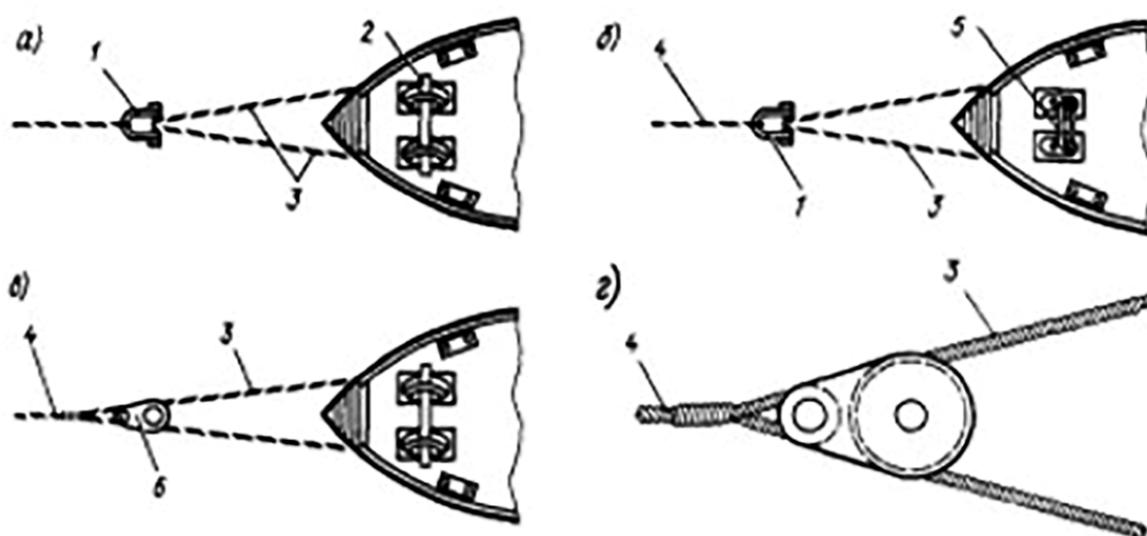


Рис. В.2 – Крепление буксирного троса на буксирном судне:
 а - два стропа пропущены через якорные клюзы и соединены с помощью бревна, б-огоны стропа соединены бензелью; в - строп пропущен через блок Николаева, г - блок Николаева, 1- якорная скоба, 2- бревно, 3- ветви стропа, 4- буксирный трос, 5-бензель; 6- блок Николаева

Наиболее распространен первый способ, при котором обеспечивается быстрая отдача буксира, - найтов, под который закладывается брус, просто рубится топором при любом натяжении буксира. При втором способе – для отдачи буксира достаточно дать ему слабинку и бревно просто выдергивается. Но если огоны стропа глубоко врежутся в дерево, для отдачи буксира может потребоваться много времени. Этот способ не рекомендуется при буксировке больших судов, так как в этом случае работа с бревном может оказаться опасной.

Кроме указанных способов, на практике применяют соединение огонов «усов» с помощью якорной скобы, а также заводку буксирного стропа через носовой клюз на битенги буксируемого судна. Буксир крепится обычным порядком, но для безопасной отдачи буксира дополнительно заводят швартовый конец с кормы ледокола на бак судна.

Для сокращения времени взятия судна на буксир буксирный строп заранее заводят через якорные клюзы, крепят бензелем и с помощью оттяжки слабину выбирают на бак судна. В этом случае в необходимый момент сборка буксирной линии ускоряется: слабина буксирного стропа заводится на блок Николаева и затем производится обжатие буксира. Практикуются и другие варианты: после буксировки судна с выходом каравана в зону с благоприятными ледовыми условиями при отдаче буксира, предвидя дальнейшие возможные буксировки судна, ограничиваются разборкой блока Николаева и оставляют скрепленные «усы» в клюзах судна.

Все эти меры являются вынужденными и обуславливаются техническим несовершенством способов крепления огонов «усов». В последние годы испытывались специальные буксирные устройства, которые должны обеспечить надежное и быстрое скрепление огонов буксирного стропа и быструю и безопасную отдачу буксира. До окончательного внедрения этих устройств следует применять традиционные способы крепления и отдачи буксира.

Отдельные типы судов не приспособлены для буксировки ледоколами. Причины бывают разные: носовая оконечность судна не входит в кормовой вырез ледокола и опирается скулами штевня на выступы кормового выреза, что обуславливает повреждение носовой оконечности судна; суда имеют «острый нос», который «режет» кранцы ледокола; клюзы судов располагаются не в одной плоскости с кормой ледокола (более 2-3 м), в результате чего нос судна начинает колебаться в вертикальной плоскости и возникают разрывные нагрузки в буксирной линии; водоизмещение буксируемых судов в отдельных

случаях существенно превышает водоизмещение ледоколов, что приводит к потере управляемости ледоколом и к повреждениям буксирного устройства.

Перечисленные обстоятельства свидетельствуют о том, что при проектировании перспективных типов судов ледового плавания и ледоколов целесообразно учитывать соответствие их типоразмеров и маневренных качеств необходимости буксировки судов во льдах. В первую очередь это касается унификации носовых образований судов и кормовых вырезов ледоколов, обеспечивающих их наибольшую совместную приспособленность при осуществлении ледокольной буксировки.

Поэтому значительный научный интерес представляют исследования по анализу всех видов ускорений и перемещений в месте стыка судов в тандеме.

Судоводители каждого ледокола при решении вопроса о буксировке в каждом отдельном случае определяют схемы заводки буксирного стропа в зависимости от конкретного судна. Обычно приходится учитывать высоту якорных клюзов, прочность подкреплений носовых обводов, расположенных выше якорных клюзов, расположение палуб, платформ в носовой части, обводы самих якорных клюзов и другие факторы [Сноп.].

В.2. Околка аварийного судна.

В условиях эксплуатации при взятии ледоколом судна на буксир рекомендуется, подходя кормой, становиться таким образом, чтобы ледокол, упираясь кормовым вырезом в форштвень, находился в одной ДП с судном, принимаемым на буксир. Перед подачей буксирного троса нужно плотно установить и держать форштвень судна в кормовом вырезе ледокола. Для этого специально дают самый малый или малый ход вперед на судне и подрабатывают задним ходом на ледоколе. Желательно, чтобы ледокол и судно оставались на одном месте. В этом положении удобнее заводить буксир, обтягивать и крепить его на стопорах, а главное – можно сразу начать движение. Маневрирование ледокола при подходе кормой к форштвню судна не представляет затруднения [Сноп.]. Но прежде чем крепить буксир, следует

убедиться, что в начале движения можно без особых трудностей сдвинуться с места вместе с буксируемым судном. **Поэтому следует соблюдать правило: прежде чем подходить к судну для взятия на буксир, необходимо произвести околку судна с учетом степени сжатия, возможно даже с обоих бортов.** Результат получается значительно лучше, если при околке ледокол не приходит за корму окальваемого судна, тем самым, оставляя напряжение сжатия на стыке кромок канала за кормой последнего.

При подходах ледокола к судну на встречных курсах предпочтительнее разворот делать перед форштевнем, околку в зонах сжатия при необходимости производить задним ходом после разворота. Проход за корму может нарушить стабилизированное положение судна во льду. В зонах сжатия разворот за кормой нежелателен, так как таким маневром разрушается стык напряжения сжатия за кормой судна, и пики сжатия перемещаются на само судно или впереди его форштевня, что в последствии может затруднять начало движения.

Подход ледокола для взятия на буксир в слабом или разреженном льду, а также на чистой воде осложняется. В этом случае рекомендуется [67.] такой прием: при подходе кормы ледокола к носу судна, примерно с расстояния 10-15 м, подают швартов с ледокола через центральные ключзы, крепят его на судне, затем с помощью шпиля втягивают форштевень судна в кормовой вырез на минимальном переднем ходу ледокола или без хода. После того как форштевень судна подведен в кормовой вырез ледокола, дают минимальный ход (на судне – передний, на ледоколе – задний) с целью фиксации упора друг в друга. При этом диаметральные плоскости должны составлять одну прямую линию.

Не рекомендуется заводить буксир в зонах сжатия, когда канал, в котором ледокол заводит буксир на судно, становится линией дрейфораздела, т.е. массив льда одного борта получает движение относительно другого.

При отлаженных, согласованных действиях экипажей ледокола и судна весь процесс заводки буксира занимает 25-30 мин. [67].

Опыт проводки судов на коротком буксире в условиях зимне-весенней навигации в Азовском море показали, что оптимальная длина короткого буксира, составляет 35-40 м. При этих условиях обеспечивается удовлетворительная управляемость тандема ледокол-судно при прохождении поворотов со скоростью порядка 5-6 уз. Буксируемое судно на прямом курсе испытывает наименьшее сопротивление льда в канале, так как винтовая струя за ледоколом создает чистый ото льда канал, что обеспечивает эффективную проводку при невозможности применения другого варианта [67].

Безопасность судов при возможном навале в ледовом канале из-за обесточивания ледокола обосновывается тем, что ледокол практически не останавливается сразу, поэтому разность скоростей контакта незначительна. Возможный удар буксируемого судна в кранец ледокола даже скулой судна будет в пределах упругой деформации скуловых шпангоутов судов этого типа.

В ряду случаев перед буксировкой ледокол вынужден предварительно пробить канал, чтобы создать благоприятные условия для совместного продвижения. При необходимости судно предварительно окальвается. Затем ледокол выполняет маневр для подхода кормой к форштевню судна. С ледокола производится подача буксира. Проводимое судно подтягивается вплотную к кормовому вырезу ледокола. Для этого капитан буксируемого судна по команде с ледокола дает малый ход вперед. Если при этом не удастся выбрать всю возможную слабину буксира и прижать фштевень судна до предела, ледокол дает ход назад. В результате такой совместной работы окончательно обтягивают и крепят буксир. Если обтягиванию буксира препятствует лед между кормой ледокола и форштевнем судна, ледокол «размывает» этот лед струей от винтов. Если и это не помогает, ледокол ведет судно несколько десятков метров вперед и затем снова обтягивает буксир с помощью совместной работы машин ледокола и судна. Как показывает практика, в среднем на выполнение всех этих операций уходит около часа в отличие от 25÷30 минут как отмечалось ранее.

Управление тандемом осуществляется в следующей последовательности. Опытным путем устанавливается скорость продвижения, обеспечивающая наилучшую управляемость тандема и сохранность буксирной линии. Руководствуясь этим, судоводители ледокола определяют режим работы машин не только ледокола, но и буксируемого судна.

В ходе буксировки судна вплотную за ледоколом настоятельно рекомендуют придерживаться следующих правил [83]:

- при провисании буксирного троса необходимо сбавить ход или остановить судно, чтобы выбрать слабинку;
- при обрыве троса во избежание навала ледоколу следует увеличить ход до полного, а буксируемому судну – сбавить ход или остановиться;
- управление буксируемым судном осуществляется таким образом, чтобы удерживать его в створе мачт ледокола; в тумане проводимое судно удерживают на курсе, направление которого подается по команде с ледокола;
- в отдельных случаях по команде с ледокола руль на судне переключается на борт, противоположный направлению поворота, - это облегчает его выполнение;
- за 2-3 кбт до поворота на угол более 10-15° ледоколу целесообразно подать команду об уменьшении скорости судна, чтобы входить в поворот при минимальном упоре судна на корму ледокола;
- в разводьях и на участках с тонким льдом целесообразно выполнять поворот только за счет тяги буксирного троса;
- ледоколу и транспортному судну необходимо избегать резкого крена на разные борта, чтобы не допустить обрыва буксирного троса (такие ситуации могут возникнуть при преодолении тяжелого торосистого льда).

При сжатии льда ледокол, имея на буксире вплотную проводимое судно, вынужден допустить непродолжительную работу ударами (2-3 удара).

Применяя работу ударами, длину разбега определяют состоянием льда за кормой судна. Такие операции безопасны при наличии укрепленной носовой оконечности проводимого судна. Судоводитель на судне внимательно следит за прохождением кормы своего судна и информировал об этом ледокол.

Движение кормой судна вперед в мелкобитых льдах канала является безопасным, необходимо только избегать навала кормы на кромку тяжелого поля или обломка необходимо держать руль «прямо» и следить за тем, чтобы винт не заклинился. При работе короткими ударами при отходе судна с целью снижения числа реверсов предпочтительнее двигаться передним ходом.

С целью повышения безопасности винтов можно работать и задним ходом. Если преодолеть препятствие с удара не удастся, ледоколу следует отдать буксир и в одиночку проложить канал.

Особо опасные ситуации возникают при заклинивании ледокола с буксируемым судном при подвижке льда. Вследствие дрейфа льда судно и ледокол начинают перемещаться с различной скоростью, что приводит к обрыву буксира. Иногда такое перемещение сопровождается соприкосновением корпусов и надстроек и может завершиться их повреждением. Вероятность этого увеличивается, если судоводители ледокола, рассчитывая отойти от судна, начинают работать машиной на полный ход вперед. В результате этого в районе кормы ледокола создается разрежение, куда увлекается судно, и, естественно, оно с еще большей силой наваливается на ледокол. Чтобы избежать неблагоприятных последствий при клинении, ледоколу необходимо предусматривать возможность отхода судна назад после отдачи буксирного троса. Только после этого можно приступить к освобождению ледокола из клинения.

В случае, если судно не сумело самостоятельно отойти назад, необходимо вновь закрепить буксир при условии, что форштевень судна находится еще в кормовом вырезе. После этого, при отсутствии подвижки льда можно попытаться освободиться из клинения совместно. Как показывает опыт, иногда такой прием удается [83]. В противном случае целесообразно ожидать

ослабления сжатий льда, при этом необходимо: на ледоколе проворачивать винты задним ходом с минимальной частотой вращения, чтобы не создавать разрежения в районе своей кормы; на судне поддерживать передний ход с минимальной частотой вращения винта с целью сохранения рулевого устройства; при нажиме льда на перо руля отсоединить рулевой привод от баллера.

При буксировке судов во льдах нередко происходит **обрыв буксира**. Причины обрыва могут быть разные: крутой поворот во льдах, когда управляемость ледокола с буксируемым судном ухудшается; в момент сброса ледокола от крупной льдины или прочной кромки канала, когда судоводители из-за недостатка времени не успевают среагировать ни маневром, ни скоростью и т.п.

Как правило, обрывы буксира не представляют опасности, так как судоводители ледокола успевают держать скорость движения не меньшую, чем скорость судна. Однако после обрыва буксира впереди ледокола может оказаться труднопроходимый лед, что вынужденно замедляет или даже приостанавливает его движение. В этой ситуации реверс заднего хода на судне уже не позволяет предотвратить навал судна на ледокол. Поэтому судоводителям и ледокола, и судна важно, не дожидаясь этого, постараться предусмотреть возможность обрыва буксира. Многое в этом отношении зависит от судоводителей ледокола, которые должны избегать крутых поворотов или возможного резкого снижения скорости движения [83].

Если ледокол застревает не сразу, то чем короче длина буксирной линии (при неотработке машины буксируемого судна на задний ход), тем меньше будет скорость контакта. При длине буксира, равной 1,5-3 м, и скорости 5 уз на повороте контакт скулой будет всегда о кранец ледокола, а скорость навала будет безопасной. При этом управляемость тандема ледокол – судно будет значительно лучше, чем при буксировке вплотную [67].

В случае невозможности погасить инерцию как буксируемого, так и проводимого методом лидирования за ледоколом судна рекомендуют, не

стремиться пройти вдоль борта ледокола, а править прямо в центр кранца ледокола, чтобы удар принять форштевнем (в крайнем случае, скулой), так как контакт с металлом корпуса может привести к значительным повреждениям как судна, так и ледокола.

Таковы основные требования к процессам формирования и построения ледового каравана, буксировке судов во льдах ледоколами, а также их взаимодействию основанные на опыте морской практики.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЛЕДОПРОХОДИМОСТИ И
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЛЕДОВЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ ЛЕДОВОГО КЛАССА**

Г.1. Методика оценки ледопроеходимости и аналитическое представление ледовых характеристик судов ледового класса.

Для круглогодичной эксплуатации судов в неарктических морях (северная часть Черного и Азовского) выше 44° северной ширины классификационным обществом — Регистром судоходства Украины (PCY) судну присваивается ледовый класс, который должен проверяться в эксплуатационных условиях.

Для практического судовождения чрезвычайно важной является оценка ледопроеходимости судна, т. е. способности безопасно продвигаться в различных ледовых условиях. Такая процедура, как правило, становится прерогативой экипажа судна, а, иногда, по инициативе судовладельца осуществляются натурные испытания по специальной программе. Обычно такие испытания осуществляются в экспериментальных рейсах [34, 35, 38, 39].

Под ледопроеходимостью, с одной стороны, подразумевают безопасно возможную скорость, которую судно способно развивать в заданных ледовых условиях при максимальной мощности энергетической установки без повреждения и заклинивания корпуса, гребных винтов и т. п. С другой стороны, при движении судна в сплошных ровных льдах критерием ледопроеходимости может быть не безопасная скорость, а предельная толщина льда, которую оно способно преодолевать непрерывным ходом с минимально устойчивой скоростью движения (1 ÷ 2 узла). В битых льдах критерием ледопроеходимости остается безопасная скорость, ограниченная требованиями ледовой прочности.

При назначении скорости плавания судов во льдах используется ледовый паспорт каждого судна, в котором содержатся диаграммы их ледовой ходкости, ледовой прочности и маневренности во льдах [38, 39]. Еще более 40-а лет назад в ледовый паспорт судна настоятельно предлагалось вносить: тип и ледовый класс; главные элементы; коэффициенты и углы обводов корпуса; характеристику набора и обшивки, включая технологию набора корпуса,

материал и строительную прочность набора и обшивки, а также характер распределения нагрузок на последние по длине корпуса; сведения о пропульсивном комплексе, включая периоды пуска, остановки и реверса энергетической установки; характеристику дополнительных систем, оборудования и средств предназначенных для защиты пропульсивного комплекса от льда [34, 35, 38, 39].

Диаграммы ледового паспорта судна используются судоводителями для определения: безопасной скорости движения при автономном плавании в разреженном и сплошном льду; безопасной скорости движения в караване; безопасной дистанции между ледоколом и транспортным/ми судном/ами в караване.

Ввиду игнорирования, а чаще невозможности проведения ледовых испытаний при сдаче судна в эксплуатацию из-за погодных условий, при подготовке его к зимней навигации возникает необходимость в наличии ледового паспорта судна и/или его корректировки. Для безопасной работы таких судов в зимнюю навигацию перед ее началом необходима натурная проверка показателей их ледовых качеств спецификационным требованиям, в соответствии с которыми установлена предельная ледопроездимость судна в сплошном и разреженном льду определенных толщин при полной осадке и безопасной скорости движения (до 3-х узлов), при прочности льда на изгиб не менее 500 кПа.

Целью ледовых испытаний является оценка правильности проектирования, конструирования и изготовления судна по ледопроездимости, включая его ходкость, прочность и маневренность.

В основу методики положена гипотеза о существовании режима движения судна ледового класса, при котором его работа по преодолению ледового сопротивления не приводит к деформации его конструкции и резким ударам льдин о корпус.

В задачи исследования входила разработка методики оценки ледопроездимости судна. При этом учтены следующие условия:

- к ледовому относится плавание в: сплошном, крупнобитом (и/или обломках полей) и мелкобитом льду;
- движение судна непрерывным ходом с установившейся скоростью возможно, если величина суммарной тяги гребных винтов/а T достаточна для преодоления полного ледового сопротивления R_l , т.е. $T \geq R_l$;
- при $T < R_l$ преодоление сплошного льда осуществляется набегам;
- при движении в сплошном льду разрушение ледяного покрова осуществляется носовой частью корпуса со скоростью хода $V_c \in [1; 5 \text{ узлов}]$, которая линейно зависит от толщины льда;
- при движении в крупнобитных льдах и обломках полей их следует обходить, но не таранить так как характер взаимодействия корпуса со льдом нестационарный и наиболее опасен от ударов крупных льдин;
- при плавании в мелкобитных льдах наиболее характерным процессом является раздвигание льдин носовой оконечностью без их ломки, поэтому сопротивление льда движению проявляется как в потере энергии пропульсивного комплекса судна на удары о льдины, их раздвигание и притапливание, так преодоление сил трения;
- в условиях опытного бассейна моделируется движение судна только в сплошном льду, моделирование движения судна в битом льду из-за сложности процесса не осуществляется;
- природа ледовых нагрузок, действующих на наружную обшивку и набор корпуса в носовой и кормовой частях и переменном поясе КВЛ (высотой до 1,0 метра), следующая: удары о лед, статическое давление при смятии льдов, реверсы и работа задним ходом;

- интенсивность ледовой нагрузки на штангоуты и стрингеры, частей корпуса: нос/средняя часть/корма находится в соотношении 1/0,5/0,75;
- при выполнении ледовых операций судно: разворачивается циркуляцией либо "елочкой", отходит назад, разбегается, закалывается, окалывается и т.д.;
- при самостоятельном плавании во льдах суда теоретически неустойчивы, а практически устойчивы на курсе, что определяется периодом и амплитудой рыскания, которые зависят от частоты и угла перекладки руля, увеличивающихся по мере утолщения льда;
- общий характер циркуляции во льду мало чем отличается от наблюдаемого на свободной воде, однако, ледяной покров значительно снижает скорость поступательного V_u и вращательного ω_u движения судна, увеличивая период циркуляции;
- при числе Фруда $Fr \leq 0,25$ относительный радиус установившейся циркуляции r_u при заданном угле перекладки руля δ_p практически не зависит от скорости V_u и примерно равен его значению на свободной воде;
- крен судна при циркуляции во льду незначителен (менее $1 \div 2^\circ$);
- разворот "елочка" в отличие от разворота циркуляцией требует меньшей площади для маневрирования и меньших затрат времени приблизительно в $2 \div 3$ раза так как условный r_u при этом развороте составляет $1,0 \div 1,5$ длины корпуса, а период разворота $5 \div 10$ минут;
- наилучшей закалываемостью обладают суда, имеющие малый r_u , острые носовые образования, переднюю часть которых выполняют выгнутыми;

- управляемость на малых передних и заднем ходах при пониженной мощности энергетической установки значительно хуже, чем при малых скоростях хода, но полной силе упора гребных винтов;
- улучшение характеристик инерции судна достигается за счет повышения его энерговооруженности либо регулированием водоизмещения путем балластировки.

Программа натуральных испытаний судов для изучения и оценки их ледовых качеств. Начинается с определения показателей **ледовой ходкости судна** путем измерения его скорости движения, частоты вращения движителей и/или гребных валов, расходуемой мощности энергетической установки, состояния и толщины льда. Очень важным моментом испытаний является повторяемость экспериментов (режимов движения) в одном и том же ледяном поле при различных уровнях потребляемой мощности энергетической установкой.

Полученные измерения позволяют путем специального пересчета экспериментальных данных с учетом поправок и корректировок построить кривые ледопроеходимости по следующим зависимостям:

- проходная толщина сплошного льда при $N = N_{ном}$:

$$h_{ПН} = \left(\frac{h_{\phi}}{V_{\phi} - V_{ном}} \right) \cdot (V - V_{ном}), \quad (\text{Г.1})$$

где h_{ϕ} – толщина льда в одном испытании, м; V_{ϕ} – скорость прохода судна в сплошном льду толщиной h_{ϕ} , узлы; $V_{ном}$ – номинальная скорость судна на спокойной воде, узлы;

- проходная толщина сплошного льда при $N \in [N_{мин}; N_{ном}, \text{кВт}]$:

$$h_{П} = h_{ПН} \cdot \left(\frac{N_{П}}{N_{ном}} \right)^{4/9}, \quad (\text{Г.2})$$

где $N_{П}$ – величина неполной (частичной) мощности энергетической установки судна, кВт.

Ледопроездимость ледокола «Капитан Белоусов» во льдах Азовского моря после его реновации в зависимости от толщины сплошного льда составляет при номинальной мощности $N_{ном}$:

$$V_{л} = 10(1,1 - \delta_{л}), \quad (Г.3)$$

где $V_{л}$ – скорость ледокола, узлы; $\delta_{л}$ – толщина льда, м.

Маневренные качества циркулирующего судна в разреженном льду определенной сплоченности, которая определяется отношением площади льдин к площади поверхности воды около и под льдинами, измеряются аналогично изучению ледовой ходкости, но с дополнительной регистрацией углов перекладки органов управления и/или записью траектории движения судна при выполнении циркуляции с помощью спутниковой навигационной системы.

Циркуляция при движении судна носом и кормой вперед обычно выполняется в тонких и средних льдах при трех положениях пера руля или его аналогу: минимум, среднее положение и максимум. По измеренным траекториям определяются радиусы циркуляции судна.

Наличие у судна в районе КВЛ (утолщенного) ледового пояса определяет его ледовый класс. Требования к размерам ледового пояса по высоте борта у классификационных обществ разных стран совпадают и составляют $0,2 H_c$ вверх от КВЛ и $0,6 H_c$ вниз от нее, где H_c – летняя осадка судна. В носовой оконечности судна ледовый пояс продлевают вниз до киля. Выше и ниже ледового пояса по длине КВЛ устанавливаются переходные пояса.

Ледовая прочность судна оценивается дефектоскопией по величине износа металла ледового пояса, который не должен превышать $0,2$ мм/год, а также наружным и внутренним осмотром корпуса и его конструкций в районе КВЛ. При осмотре определяется суммарная длина вмятин повреждений, которая относится к периметру КВЛ и обозначается:

$$D = \left(\frac{l_{\Pi}}{P_c} \right) \cdot 100\% , \quad (\text{Г.4})$$

где l_{Π} – длина повреждений корпуса вдоль КВЛ, м; P_c – периметр корпуса судна по КВЛ, м.

По данным натуральных наблюдений [40, 49, 50]. При работе судов ледового класса зимой в неарктических морях значение величины D должно стремиться к своему минимуму – нулю. Длина повреждений корпуса судна l_{Π} нелинейно зависит от скорости его хода в разреженном льду и объема льдин.

Программа проведения натуральных ледовых испытаний представлена в виде таблицы Г.1.

После проведения испытаний и определения характеристик ледопроеходимости судна следует составить ледовый паспорт или откорректировать при его наличии. После этого, а также при наличии маневренных характеристик судна при движении по мелководью и глубокой воде, можно обеспечить безопасное движение судна ледового класса в неарктических морях.

Таблица Г.1 – Программа ледовых испытаний судна ледового класса

Режим хода или движения	Вид испытаний на глубокой воде
Полный передний ход (ПП)	Сплошной лед толщиной __ м. Прямолинейное движение, мощность судна $T = 100\%$
Полный задний ход (ПЗ)	Сплошной лед толщиной __ м. Прямолинейное движение, $T = 100\%$
ПП, ПЗ	Чистая вода, волнение $0 \div 2$ балла, ветер до 5 м/с, иное движение, $T = 100\%$
ПП, ПЗ	Сплошной лед толщиной __ м. Циркуляция, $T = 100\%$, положение руля: минимум __%, среднее __%, максимальное __ м
ПП, ПЗ	Сплошной лед толщиной __ м. Разворот на 180° маневром «елочка» или «звезда», мощность переменная

Круглогодичное плавание судов по морям, внутренним морским и речным водам Украины требует наличия всех маневренных характеристик и ледового паспорта на каждом судне, которые должны находиться на борту с

момента начала его эксплуатации. В противном случае период эксплуатации судна должен быть ограничен в зимний период.

Детерминация ходовых, маневренных и ледовых качеств судна позволяет более полно использовать его конструктивные особенности при обеспечении не только гарантированно безопасного вождения, но и круглогодичного судоходства по морям, лиманам и рекам Украины.

Разработанная методика ледовых испытаний судна в период его эксплуатации позволяет оценить конструктивные качества гидропульсивного комплекса и повысить его эксплуатационную надежность.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ДВИЖЕНИЯ СУДОВ ВО ЛЬДАХ ПРИ БУКСИРОВКАХ

Д.1. Математическое моделирование процесса движения судов во льдах при буксировках.

При жесткой сцепке судов продольные усилия формируются силой инерции буксируемого судна: $P = M_2 a$, где P, a – сила инерции и ускорения системы, а M_2 – масса ведомого судна. Характер изменения скорости системы (тандема) при скачкообразном торможении представлен в виде:

$$V_\tau = 0,5V_0 [1 + \pi \cos(S / S_0)], \quad (\text{Д.1})$$

где V_0 – скорость тандема до начала торможения, S, S_0 – текущий путь и тормозной путь тандема от начала торможения.

Максимальное ускорение торможения тандема:

$$a_{max} \approx -V_0^2 / S_0. \quad (\text{Д.2})$$

При движении тандема судов во льдах с гибкой связью дифференциальные уравнения системы с нулевой тягой:

$$\begin{cases} M_1 x_1 = C(x_2 - x_1) - R(\tau), \\ M_2 x_2 = C(x_2 - x_1); \end{cases} \quad (\text{Д.3})$$

где R – сопротивление движению; C – упругая связь; x_1, x_2 – перемещение ледокола и судна; P – упругая сила в кранце, равная $P = C(x_2 - x_1)$.

Рассматривается случай, когда $R(\tau) = R_0$.

Проинтегрировав систему (Д.3) относительно перемещений ледокола и судна получено:

$$\begin{cases} x_1 = V_0 \tau - \frac{R_0 \tau^2}{2M} + \frac{R_0 M_2^2}{CM^2} [\cos(k\tau) - 1], \\ x_2 = V_0 \tau - \frac{R_0 \tau^2}{2M} + \frac{R_0 M_1 M_2}{CM^2} [\cos(k\tau) - 1]; \end{cases} \quad (\text{Д.4})$$

где k – частота относительно колебательного движения судов,

$$k = \left(\frac{CM}{M_1} / M_2 \right)^{0,5}.$$

Усилие упругой связи равно:

$$P = \frac{R_0 M^2}{M} [1 - \cos(k\tau)] \quad (\text{Д.5})$$

Из системы алгебраических выражений (Д.5) следует, что движение системы можно представить как сумму двух движений: переносного (вместе с центром масс системы) и относительного колебательного с частотой k .

Максимальное значение усилия упругой связи достигается при $k\tau = \pi$:

$$P_{max} = \frac{2R_0}{1 + M_1 / M_2}. \quad (\text{Д.6})$$

При наличии жесткой связи и отсутствии гибкой ($C = 0$) в тандеме инерционные усилия в месте контакта в 2 раза слабее:

$$P = \frac{M_2}{M_1} R_0 + M_2. \quad (\text{Д.7})$$

Случай, когда сила сопротивления линейно зависит от перемещения ледокола, движущегося с постоянной скоростью, наблюдается в тандеме, соединенном дополнительной упругой связью C_2 . В момент $\tau = 0$ масса M_1 ледокола входит в контакт со льдом и на нее начинает действовать тормозящая сила $R = C_1 x_1$. Тогда задача сводится к расчету колебаний системы с двумя степенями свободы, описываемой дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} M_1 \ddot{x}_1 = C_2 (x_2 - x_1) - C_1 x_1, \\ M_2 \ddot{x}_2 = C_2 (x_2 - x_1). \end{cases} \quad (\text{Д.8})$$

При подстановке значения x_1 из второго уравнения системы (Д.8) в первое получено уравнение 4-го порядка для определения x_2 . В результате его решения доказано, что наибольшее значение $P = C_2 (x_2 - x_1)$ при $C_1 = C_2$, а наличие упругой связи между ледоколом и судном приводит к увеличению инерционных усилий в $1,2 \div 1,7$ раза при значении C_2 близком к C_1 , а поэтому установка дополнительных кранцев в местах касания тандема крайне необходима, т.е. $C_1 \approx C_2$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е.
АКТЫ О ВНЕДРЕНИИ



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65029, тел.: (+38 048) 777-5774, факс: (+38 0482) 34-5267
 www.onma.edu.ua e-mail: info@onma.edu.ua Код ЄДРПОУ 01127799



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи
 Національного університету
 «Одеська морська академія»

д.т.н., проф. *[Signature]* В.А. Голіков
 «17» травня 2016 р.

АКТ

про впровадження з науково-дослідницької роботи
 академії результатів дисертаційної роботи Костенко П.А.
 на тему «Безпечне буксирування суден на коротких буксирах»

Цим актом засвідчується, що аспірант, а за тим, асистент кафедри управління судном на протязі 2010-2016 рр. брав участь та впровадив матеріали дисертації до наступних НДР:

- держбюджетної ДР № 0110U000281 (2010-2012) «Теоретичні основи гарантованої безпеки судноплавства у територіальному морі внутрішніх водах і портах України»;
- методичку експертного оцінювання аварійних морських подій та інцидентів, яка визначає ефективність буксирних операцій за часом при генерації альтернатив та прийнятті рішень;
- госпрозрахункових (2009 – 2016 рр.) по здійсненню наукової та науково-технічної експертизи актів розслідування аварійних морських подій та інцидентів, які трапилися з суднами та плавдоком що аналізуються у дисертаційній роботі, включаючи – збір та обробку інформації про події та інцидент, побудову їх сценаріїв та визначення заходів протидії ним.

Начальник
 науково-дослідницької
 частини академії, професор,

В.Д. Савчук

Провідний фахівець

Т.В. Губська





УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65029, тел.: (+38 048) 777-5774, факс: (+38 0482) 34-5267
 www.onma.edu.ua e-mail: info@onma.edu.ua Код ЄДРПОУ 01127799



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

Національного університету

«Одеська морська академія»

д.т.н., проф. _____ О.М. Шемякін

«17» травня 2016 р.

АКТ

про впровадження дисертаційної роботи Костенка Павла Анатолійовича
 на тему «Безпечне буксирування суден на коротких буксирах»
 в навчальний процес

Цим актом засвідчується, що за період роботи на кафедрі управління судном з «05» січня 2009 р. по теперішній час асистент Костенко П.А. розробив та впровадив наступні методичні документи в навчальний процес:

- методичні вказівки «Безпечні буксировки в неарктичних льодах»;
- лабораторна робота «Безпечна буксировка суден у портових водах» на навігаційному тренажері Navi-Trainer Professional 5000;
- рекомендації до виконання дипломних робіт «Методика та програма іспитів суден льодового класу».

Начальник
 навчального відділу

М.М. Пархоменко

Завідувач кафедри
 «Управління судном»,
 д.т.н., проф.

А.С. Мальцев



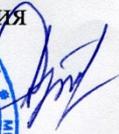
АКТ
о внедрении НИР на тему «Безопасная буксировка
судов на коротком буксире»

Настоящий акт составлен о том, результаты диссертационной работы соискателя Костенко Павла Анатольевича апробированы и внедрены в систему СУБ филиала «Дельта Лоцман» следующего содержания: «Технология безопасных буксировок при лоцманской проводке судов», включая воздействия собственных кормовых поперечных волн, рывков и плавания в битых льдах.

Начальник
службы безопасности мореплавания
филиала «Дельта-Лоцман»
ГП «АМПУ»

05 квітня 2015



 В.Д. Репетей

Борт т/х «Irenes Sythesis»

«28» марта 2015 г.

АКТ
о внедрении НИР
«Безопасная буксировка судов на коротком буксире»

Настоящий акт составлен о том, что за период рейса с «30» ноября 2014г. по «28» марта 2015 г. Костенко П.А. разработал и внедрил на судне:

- методику определения льдопроходимости, тормозных и маневренных характеристик судна;
- инструкцию по аварийной буксировке судна;
- порядок следования судна в ледовом караване.

Капитан т/х «Irenes Sythesis»



Я.И. Ботанис

Борт т/х «M.S. Delfbord»

«10» октября 2015 г.

АКТ
о внедрении НИР
«Безопасная буксировка судов на коротком буксире»

Настоящий акт составлен о том, что за период рейса с «08» июня 2015 г. по «10» октября 2015 г. Костенко П.А. разработал и внедрил на судне:

- методику определения льдопроходимости, тормозных и маневренных характеристик судна;
- инструкцию по аварийной буксировке судна;
- порядок следования судна в ледовом караване.

Капитан т/х «M.S. Delfbord»

Master
M.S. Delfborg

В.В. Виссар

Борт т/х «Koningsborg»

«20» января 2016 г.

АКТ
о внедрении НИР
«Безопасная буксировка судов на коротком буксире»

Настоящий акт составлен о том, что за период рейса с «28» ноября 2015г. по «20» января 2016 г. Костенко П.А. разработал и внедрил на судне:

- методику определения льдопроходимости, тормозных и маневренных характеристик судна;
- инструкцию по аварийной буксировке судна;
- порядок следования судна в ледовом караване.

Капитан т/х «Koningsborg»



Д.Я. Фнанциско

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 96302

СИСТЕМА КОМПЕНСАЦІЙНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ КУРСОМ СУДНА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 26.01.2015.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова

