

На правах рукописи

Росторгуева Наталья Юрьевна

**РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ШВАРТОВКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОГО КОНТРОЛЯ**

(на примере нефтегазавани «Шесхарис» порта Новороссийск)

Специальность:

05.22.19 – Эксплуатация водного транспорта, судовождение

Автореферат диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Новороссийск – 2010

Работа выполнена в ФГОУ ВПО "МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова"

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор

Демьянов В.В.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор
кандидат технических наук,
доцент

Савельев В.Г.

Студеникин А.И.

Ведущая организация:

ФГУ «Администрация морского порта
Новороссийск»

Защита состоится «26» мая 2010 г. на заседании диссертационного совета Д 223.007.01 при ФГОУ ВПО "МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова" в аудитории Б-1 по адресу: 353918. г. Новороссийск, пр. Ленина, 93.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО "МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова" (г. Новороссийск, пр. Ленина, 93).

Автореферат разослан «19» апреля 2010 года.

Отзывы на автореферат присылать в двух экземплярах, заверенных печатью организации, и адресовать учёному секретарю диссертационного совета

Учёный секретарь диссертационного совета Д 223.007.01

доктор технических наук, доцент

Хекерт Е.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Процесс швартовых операций судов – один из самых опасных процессов в их плавании. В последние десятилетия прогресс в безопасности швартовки судов достигался дополнением традиционных способов подготовки высококвалифицированных морских специалистов швартовых операций новыми техническими средствами, например, лазерными системами контроля швартовки крупнотоннажных судов. На причалах нефтетерминала «Шесхарис» уже накоплен определённый опыт работы таких систем. Статистика свидетельствует, что использование лазерной системы швартовки не исключает полностью опасных ситуаций. Анализ причин этого показывает, что основной резерв совершенствования данной технологии связан с дальнейшим углублением *интеллектуально-информационного* взаимодействия операторов швартовых операций с предупреждающими средствами лазерной системы. Необходимость повышения безопасности определяется все большим увеличением сложности современных танкеров. Эта актуальная проблема на современном этапе решается внедрением таких технических систем, которые вырабатывают рекомендации в ситуациях с нечетко выраженными параметрами, предоставляя их судоводителю. Перспективы применения таких систем открывают на морском транспорте, где в структуре мер обеспечения безопасности человеческий элемент играет существенную роль, новые информационные возможности для совершенствования процессов судовождения.

Объект исследования – лазерная система контроля швартовки.

Предмет исследования – расширение информационных возможностей лазерной системы контроля швартовки.

Цель исследования – формирование рекомендаций судоводителю (лоцману) интеллектуальной поддержки его решений при швартовке танкеров с помощью индикатора.

Для достижения поставленной цели:

- изучены характерные циклы замедления-ускорения оконечностей танкера относительно причала при швартовке;
- обработаны тысячи данных пространственно-скоростных параметров швартовки танкеров нефтегазавани «Шесхарис», формируемых специализированной программой «DOCKMASTER»;
- разработана математическая модель прогноза завершения циклов регулирования скорости сближения судна с причалом;
- предложена методика формирования базы значений времён циклов регулирования скорости сближения судна с причалом, используемая при оценке безопасности принимаемых при швартовке решений;
- разработана методика определения резервного времени и прогнозной дистанции при швартовке;
- предложена система, расширяющая поддержку судоводителя в принятии решения в ситуациях с нечетко выраженными параметрами.

Научная новизна защищаемых соискателем положений характеризуется следующими результатами:

- разработан алгоритм формирования базы значений времён циклов регулирования скорости сближения танкера с причалом;
- разработана математическая модель прогноза завершения циклов регулирования скорости сближения судна с причалом;
- разработана методика определения резервного времени и прогнозной дистанции при швартовке;
- предложена система, расширяющая поддержку судоводителя в принятии решения в ситуациях с нечетко выраженными параметрами.

Научная достоверность и обоснованность результатов. Научная достоверность и обоснованность результатов, защищаемых в настоящей работе, состоит в том, что все теоретические исследования и практические реализации основаны на использовании известных методических принципов современной науки (теорем, законов, методов): системного анализа, теории вероятностей, теории графов, теории математической статистики, численных методов, методов инженерной психологии.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что на основе прогнозов математической модели, учитывающей среднестатистический опыт действия возникающих возмущений при сближении судна с причалом, расширен спектр оценок реализуемости или не реализуемости принимаемых судоводителем маневренных решений. Эти оценки выводятся на мониторы руководителей швартовки и рекомендованы к внедрению в практику ФГУ «АДМИНИСТРАЦИЯ МОРСКОГО ПОРТА НОВОРОССИЙСК»; они используются так же в учебном процессе, дипломном проектировании и аспирантской работе в ФГОУ ВПО «Морская Государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова» на кафедре «Автоматика и вычислительная техника» в дисциплине «Автоматизация судовождения», «Информационные технологии на транспорте», «Информационные системы на транспорте».

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на научно-технических конференциях и семинарах в ФГОУ ВПО «Морская Государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова» в 2003-2009 гг., на международной научной конференции в г. Ростов-на-Дону в 2006 г., а так же в 12-и публикациях по теме диссертации.

Объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Содержит 151 страницу, включая 51 рисунок, 28 таблиц. Список литературы включает 104 наименования библиографических источников.

Публикации. Представленная совокупность научных результатов и технических решений опубликована автором в 12 работах Сборника научных трудов НГМА (г. Новороссийск) и Материалах XIV Международной научной конференции, проходившей в Ростове-на-Дону; две работы опубликованы в центральном журнале «Известия вузов», серия "Технические науки" (список ВАК).

На защиту выносятся:

1. Математическая модель прогноза завершения циклов регулирования скорости сближения судна с причалом.

2. Методики:

– формирования статистической базы оценок, складывающихся времён циклов регулирования скорости безопасного или опасного сближения судна с причалом;

– определения текущих резервного времени и прогнозной дистанции при швартовке, как мер безопасного или опасного сближения носа или кормы танкера с причалом.

3. Система, расширяющая поддержку судоводителя в принятии того или иного решения в ситуациях с неявно выраженными параметрами возмущения среднестатистического тренда сближения судна с причалом.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе процесс швартовных операций условно разделён на этапы: 1) подход судна на требуемое расстояние к причалу с разворотом в нужном направлении; 2) подвод судна с помощью буксиров в определенное положение по отношению к причалу и удержание в этом положении на время подачи швартовов; 3) подтягивание судна к причалу с помощью специальных устройств [1]. Каждый из этих этапов процесса швартовки имеет свои особенности.

Показано, что основной особенностью второго этапа швартовки является *сближение* танкера с причалом. При швартовке часто неизбежен контакт судна с причалом с ненулевой скоростью, который принято именовать навалом. Классифицируют навалы как преднамеренные, так и случайные, возникающие при контакте судна с причалом, иным неподвижным объектом, или с другим судном, находящимся на ходу или стоянке [1]. Поскольку размеры судна фиксированы, единственным путем избежать навала судна на причал является тщательное соизмерение скорости сближения судна и расстояния до причала. Постановка судна к причалу, как правило, проводится с помощью буксиров [1, 2]. С начала этапа сближения они разворачивают судно нужным бортом параллельно к причалу. В задачу буксиров входит подводка судна вплотную к причалу и удерживание его в этом положении до тех пор, пока не будут заведены и обтянуты швартовы. Постановка судна к причалу является опасной технологической операцией, требующей квалифицированных и своевременных действий судоводителя, управляющего с помощью технических средств судовождения и буксиров сближением танкера с причалом [1, 2]. Обзор работ в области рассматриваемой проблемы показал, что недостаточно точности визуального определения параметров швартовки судов с мостика в силу стеснённости многих акваторий портов и крупногабаритности судов [3]. Для решения этого вопроса в 2002 г. в Новороссийском порту на причалы нефтерайона «Шесхарис» была внедрена в эксплуатацию система лазерной швартовки крупнотоннажных судов (ЛСШКС), существенно повысившая точность измерения расстояний от борта швартуемого судна до причала [3].

В диссертационной работе проведён анализ особенностей лазерной

дальнометрии, который показал, что эксплуатация дальномеров на причалах № 1, № 2, № 6, №7 нефтетерминала «Шесхарис» выявила их надёжность, удобство в эксплуатации, минимум технического обслуживания. Однако эта система не решила всех проблем нарушения правил, установленных администрацией порта при швартовке танкеров. Поэтому возникла необходимость глубже рассмотреть возможности информационного обеспечения процесса швартовки. Их анализ показал, что не весь информационный потенциал этой системы используется судоводителями для обеспечения безопасности швартовки танкеров. Оказалось, что формируемые программным обеспечением лазерной системы базы пространственно-скоростных параметров швартовки позволяют расширить информационное обеспечение процесса швартовки.

Таким образом, предлагаемое в диссертационной работе расширение возможностей системы лазерного контроля вырабатывает новое информационное обеспечение процесса швартовки танкеров, ограждая судоводителя от принятия тех решений по сближению судна с причалом, которые приводили, по статистической базе этой системы, к критическим ситуациям, навалам и т.д.

Во второй главе разработана вероятностная модель прогноза завершения циклов регулирования скорости в условиях дестабилизирующих возмущений. Рассмотрена модель, в которой судно сближается с причалом со скоростью \bar{V} . Анализ информационной базы данных записей швартовных операций с применением лазерных дальномеров, установленных на причалах нефтетерминала Шесхарис, фиксирующих скорость и дистанцию судна до причала, показал, что практически при каждой швартовке судно движется к причалу с непостоянной скоростью. Это относится и к носу, и к корме судна. Судоводителю же необходимо выдерживать параллельность судна к причалу, что достигается действиями буксиров, прилагающих по его командам силовое воздействие на нос и корму швартуемого судна. Поэтому изменения скорости будем считать *возмущением* или *отклонением* от нормы, а действие судоводителя по их компенсации – регулированием этого параметра. Основные временные компоненты, входящие в процедуру регулирования скорости показаны на рисунке 2.

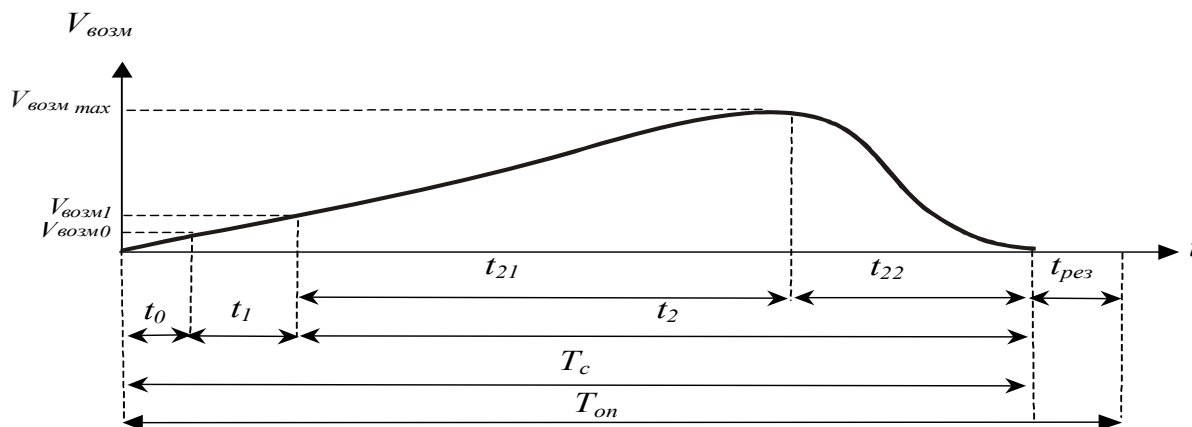


Рис.2. Временные соотношения при сближении судна с причалом

В соответствии с обозначениями на рис. 2 сигнал о дестабилизирующем возмущении появится на соответствующих индикаторах с некоторым опозданием t_0 , обусловленным инерционностью технической системы; к этому времени скорость судна уже увеличится до значения $V_{возм0}$. Для восприятия и переработки полученной информации судоводителю требуется время t_1 ; за этот интервал времени скорость увеличится до значения $V_{возм1}$. В интервале времени t_2 происходит устранение возникшего отклонения с помощью буксиров или иных средств, компенсирующих возмущение, причем устранение происходит не сразу, поэтому в течение времени t_{21} скорость ещё увеличивается до значения $V_{возм max}$, а затем в интервале времени t_{22} отклонение полностью устраняется. Известно, что технические элементы системы по своему быстродействию, как правило, превосходят человека. Время фиксации приборами возмущения составляет, как правило, доли секунды. Для восприятия и обработки информации человеку требуется значительно больше времени – секунды, а порой и минуты; на устранение же возникшего возмущения, например для танкера, требуется уже время порядка единиц и даже десятков минут [4]. Поэтому время цикла регулирования обусловлено, главным образом, временем деятельности судоводителя по компенсации возникшего возмущения, т.е. $t_2 \gg (t_0 + t_1)$.

Период полного прохождения сигнала по звеньям системы управления, то есть время прохождения осведомительной информации о положении объекта (судна) к оператору и от него через регулятор к объекту управления, называется *временем цикла регулирования* $T_{up} = t_0 + t_1 + t_2$ [4].

Принимая во внимание жёсткие и переменчивые морские условия эксплуатации технических средств контроля швартовки и, как следует из теории вероятности, времена t_0 , t_1 , t_2 являются *случайными* величинами. Поэтому время цикла регулирования является также *случайной* величиной что предполагает его исследование вероятностными методами.

В каждый фиксируемый i -й момент времени лазерной системой определяются текущие (см. рис.2) дистанция D_i и скорость V_i сближения судна с причалом. По этим данным вычисляется i -ое время до касания танкера причала:

$$T_{oni} = \frac{D_i}{V_i}. \quad (1)$$

При $T_{up} \leq T_{on}$ сближение судна безопасно, т.к. судоводитель при этом условии успеет завершить цикл регулирования до момента касания танкера причала, а при $T_{up} > T_{on}$ не удастся скомпенсировать дестабилизирующее возмущение, поскольку судоводителю не хватит времени для осуществления цикла регулирования при возмущающем отклонении, и происходит неизбежное столкновение судна с причалом со скоростью, превышающей допустимое значение, установленной администрацией порта. Итак, анализируемая система выполняет свои функции только при условии: $T_{on} \geq T_{up}$. Если это неравенство соблюдается, то оператор, управляя системой, располагает избыточным, или, другими словами, *резервным* временем $t_{рез}$:

$$t_{рез} = T_{on} - T_{up}. \quad (2)$$

Принято считать, что *резервным временем* системы, находящейся под воздействием возмущения, является избыток времени (над минимально необходимым T_{up}), которым располагает оператор для предотвращения отклонений ее параметров за допустимые пределы и приведения их в заданное состояние [4].

В процессе швартовки уменьшается время сближения судна с причалом и, как следствие, резервное время, определяемое длительностью цикла регулирования и рассчитываемое по формуле:

$$t_{рез}(T_{up}) = \left(\frac{D}{V} - t\right) - T_{up} \quad (3)$$

С учетом введенных выше определений в работе рассмотрена такая модель системы швартовки, в которой оператор, получив, информацию о возмущении отреагировал на неё не сразу, (например, посчитав не существенной, либо затратил достаточно много времени на выбор решения), т.е. какое-то время наблюдал за процессом, но не принимал активных действий. Эта ситуация и проанализирована на математической модели (рис.2). Для решения задачи анализа возникновения отклонений параметров швартовки танкера рассмотрена статистика выборок результатов швартовки, осуществленных с помощью лазерных дальномеров и рассчитана интенсивность возмущений λ , отклоняющих судно относительно заданного плана его перемещения.

Вероятность того, что за время t в системе возникнет возмущение, рассчитывается по формуле [4].:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Каждому возмущению, возникающему в системе, соответствует определенное резервное время $T_{on} - T_{up}$. Тогда вероятность того, что за время t с момента начала сближения судна успеет возникнуть возмущение и истечь резервное время, будет:

$$F\left(\frac{D}{V} - t - T_{up}\right) = 1 - e^{-\lambda\left(\frac{D}{V} - t - T_{up}\right)} \quad (5)$$

Поскольку возмущения определяются большим количеством независимых факторов, то они, как будет показано далее, распределены по нормальному закону. Для проверки этой гипотезы статистическая выборка была подвергнута исследованию с помощью критерия согласия. В диссертационной работе для подтверждения закона распределения был использован критерий Пирсона. Время цикла регулирования так же, как и рассмотренные выше параметры, является случайной величиной. В таком случае вероятность появления i -го значения времени цикла регулирования можно рассчитать по формуле:

$$R(T_{up\ i}) = \int_{T_{up\ i}}^{T_{up\ i+1}} \frac{1}{\sigma_{up} \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(u - T_{up\ ср})^2}{2\sigma_{up}^2}} du \quad (6)$$

где $T_{up\ ср}$ – среднее значение времени цикла регулирования, σ_{up} – среднее квадратическое отклонение случайной величины, рассчитанные по статистическим данным исследуемых процессов швартовок.

Случайные события появления возмущения за время t и появления i -го значения времени цикла регулирования независимы, поэтому вероятность того, что i -й цикл регулирования в системе будет завершён во временном промежутке t , определяется произведением рассмотренных выше вероятностей:

$$p_i(t) = \left[1 - e^{-\lambda \cdot \left[\frac{D}{V} - t - T_{up_i} \right]} \right] \cdot \frac{T_{up_{i+1}}}{T_{up_i}} \cdot \frac{1}{\sigma_{up} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(u - T_{up_{cp}})^2}{2 \cdot [\sigma_{up}]^2}} du \quad (7)$$

Вероятность же завершения циклов регулирования всей системы управления швартовкой $P(t, D)$, определяется суммой парциальных вероятностей:

$$P(t, D) = \sum_{i=1}^k \left[1 - e^{-\lambda \cdot \left[\frac{D}{V} - t - T_{up_i} \right]} \right] \cdot \frac{T_{up_{i+1}}}{T_{up_i}} \cdot \frac{1}{\sigma_{up} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(u - T_{up_{cp}})^2}{2 \cdot [\sigma_{up}]^2}} du \quad (8)$$

где k — количество вариантов случайных возмущений.

Ситуация, в которой у оператора не хватит времени для устранения, какого-либо из возмущений и циклы регулирования не завершится до момента первого касания фендерной линии, расценивается как отказ системы, т.е. невыполнение поставленной задачи швартовки, ведущей к возможному превышению скорости танкера, и рассчитывается по формуле:

$$Q(t, D) = 1 - P(t, D) \quad (9)$$

Для количественной оценки времени цикла регулирования проведен анализ экспериментальных данных, полученных на нефтегавани «Шесхарис» в процессе наблюдения за сближением танкеров с причалом и хронометража радиообмена информацией между судоводителем, береговыми службами и буксирами. В результате анализа методами сетевого планирования рассчитано среднее время цикла регулирования, которое составляет $T_{up} = 149$ секунд.

В третьей главе на основе документированной информации параметров сближения судна с причалом проведен анализ процесса швартовки. Исследована накопленная база данных швартовки судов за период с 2003 года по настоящее время к причалу №1 нефтегавани «Шесхарис». Причал №1 выбран не случайно: к нему швартуются самые крупные суда и, следовательно, последствия от удара танкера о причал, превысившего установленные администрацией порта нормативы, могут повлечь за собой серьёзные технические убытки. Следует отметить, что информационные потоки от лазерных дальнометров, установленных на причалах, а также от гидрометеостанции нефтерайона «Шесхарис» обрабатываются специализированной программой «DOCKMASTER». Ниже представлен типовой фрагмент электронной таблицы хронологии сближения крупнотоннажного судна «Lucky Sailor», производившего швартовку 04.02.2003 г. к причалу №1, записанной и подготовленной к распечатке этой программой (см. табл.). В диссертационной работе исследованы сотни тысяч подобных пространственно-скоростных параметров.

Фрагмент хронологии параметров сближения судна с причалом, формируемых программой «DOCKMASTER»

Time	Aft			Fore		
	Status	Speed cm/sec	Distance, m	Status	Speed, cm/sec	Distance, m
21:39:45	Tracking	8,80	33,05	Tracking	8,60	43,33
21:40:00	Tracking	5,40	32,27	WARNING	10,90	41,72
21:40:15	Tracking	3,50	31,78	ALARM	11,60	39,84
21:40:20	Tracking	3,20	31,66	ALARM	11,30	39,35
21:40:30	Tracking	2,90	31,27	WARNING	10,60	37,74
21:43:15	Tracking	5,80	26,54	WARNING	9,30	22,12
21:43:30	Tracking	8,30	25,34	Tracking	8,70	20,79
21:43:45	ALARM	11,20	24,00	Tracking	7,20	19,80

В первой колонке таблицы (**Time**) содержится информация о времени (с начала суток); момент начала формирования данных определяется попаданием носа и кормы судна в зону действия соответствующих лазерных дальномеров. Необходимый дискрет времени (от 1 до 15 секунд) определяется специалистами нефтерайона, вносится в программу и в дальнейшем отслеживается автоматически.

Поскольку на каждом причале расположены по два автономно работающих лазерных дальномера, то записи для кормы (**Aft**) и носа (**Fore**) швартуемого судна в электронной таблице ведутся отдельно.

В колонке (**Status**) отображается информация о реальном поведении судна в текущий момент времени. Так, запись (**Tracking**) обозначает *безопасное* сближение судна. Если сближение с причалом происходит достаточно быстро, то в электронной таблице появляется запись о *предупреждении* об опасности – (**Warning**); если же судно имеет параметры сближения, превышающие допустимые по нормативным документам, то в этот момент времени появляется запись об *опасности* – (**Alarm**). В соответствии с нормативным документом «Сборник обязательных распоряжений по морскому торговому порту Новороссийск (с приписным портопунктом Анапа) и морскому торговому порту Геленджик» «... скорость сближения судна с причалом не должна превышать ... 0,08 м/сек при водоизмещении судов ... до 200 тыс. тонн» [5].

В силу высокой значимости этой информации, ячейки данных, соответствующие категории (**Warning**) выделены желтым цветом, а категории (**Alarm**) – красным. В колонках (**Speed**) и (**Distance**) содержатся значения скорости сближения (в см/сек) и дистанции до причала (в метрах) в каждый фиксируемый момент времени, начиная с попадания лазерного луча дальномера в область носа или кормы швартуемого судна и до окончания процесса швартовки.

Предварительный качественный анализ экспериментальных данных показал, что в ходе швартовки скорость сближения с причалом практически всегда колеблется вокруг некоторого значения с той или иной амплитудой. Если на большом удалении от причала увеличение скорости относительно рекомендованного Администрацией порта значения практически не опасно, то вблизи причала это может привести к касанию танкера с причалом со скоростью выше допустимой нормы.

Изменения скорости считаются возмущающими факторами в технологическом процессе сближения судна с причалом и, исходя из этого, определяется, насколько они опасны.

Накопленная информационная база данных швартовок преобразована с помощью разработанных специальных программ в современных прикладных математических пакетах и в результате чего сформированы посекундные базы значений дистанции, скорости судна при швартовке.

В диссертационной работе проведен анализ полученной информации о параметрах сближения судна с причалом на примере *графического* представления электронной базы данных крупнотоннажного судна «Lucky Sailor». Разработаны методика и алгоритм обработки параметров швартовки, рассчитана линия тренда скорости танкера (см. рис.3). В результате вычислений формируется информационная база времён циклов регулирования объемом в 1500 вариант, необходимая для дальнейшего исследования системы швартовки (см. рис.3 и табл. 2).

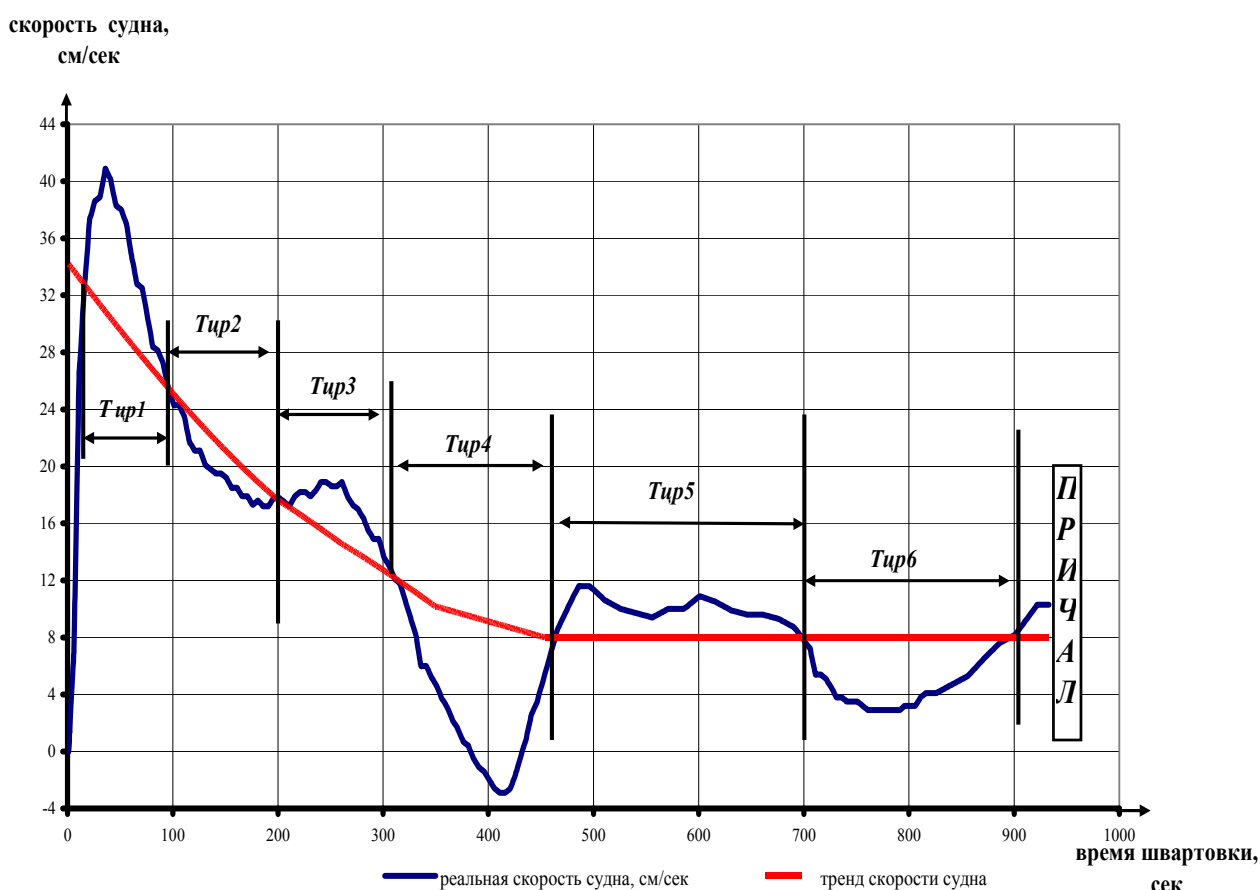


Рис. 3. Зависимость скорости сближения носа танкера «Lucky Sailor» от времени с рассчитанной линией тренда, аппроксимированной полиномиальным законом, и формирование времён циклов регулирования $T_{цир}$

В результате статистических исследований сделан вывод о том, что накопленная *репрезентативная* выборка отвечает критериям: *несмещённости*, *эффективности* и *состоятельности* оценки. А также выборка, заложенная в генеральной совокупности статистических данных, в полной мере отражает закономерности и параметры реального процесса швартовки. Числовые значения, при

Таблица 2

Параметры описательной статистики

Среднее время цикла регулирования	142,40
Стандартная ошибка	1,82
Среднее квадратическое отклонение	70,52
Дисперсия выборки	4974,15
Эксцесс	-0,29
Асимметричность	0,28
Наименьшее время цикла регулирования	5
Наибольшее время цикла регулирования	388
Объём выборки	1500

ведённые в таблице 2, дают количественную оценку вектору возможных значений времени цикла регулирования $T_{цр}$, однако не отвечают на вопрос об их законе распределения, знание которого требуется для оценки вероятности завершения циклов регулирования скорости сближения танкера с причалом. Условия формирования различных значений времён циклов регулирования отвечают требованиям центральной предельной теоремы А.М. Ляпунова, поэтому проверена гипотеза о нормальном распределении значений $T_{цр}$. Наглядным представлением закона распределения, позволяющего в первом приближении оценить сходство реального закона с нормальным, является гистограмма выборочной совокупности (для сравнительно небольших объёмов выборки) или графическая зависимость (для больших объёмов), связывающая варианты и частоты их появления.

Как видно из рис. 4, статистическое распределение близко к нормальному. Для количественной же оценки степени совпадения экспериментальных оценок с тем или иным законом распределения, применяют *критерии согласия*.

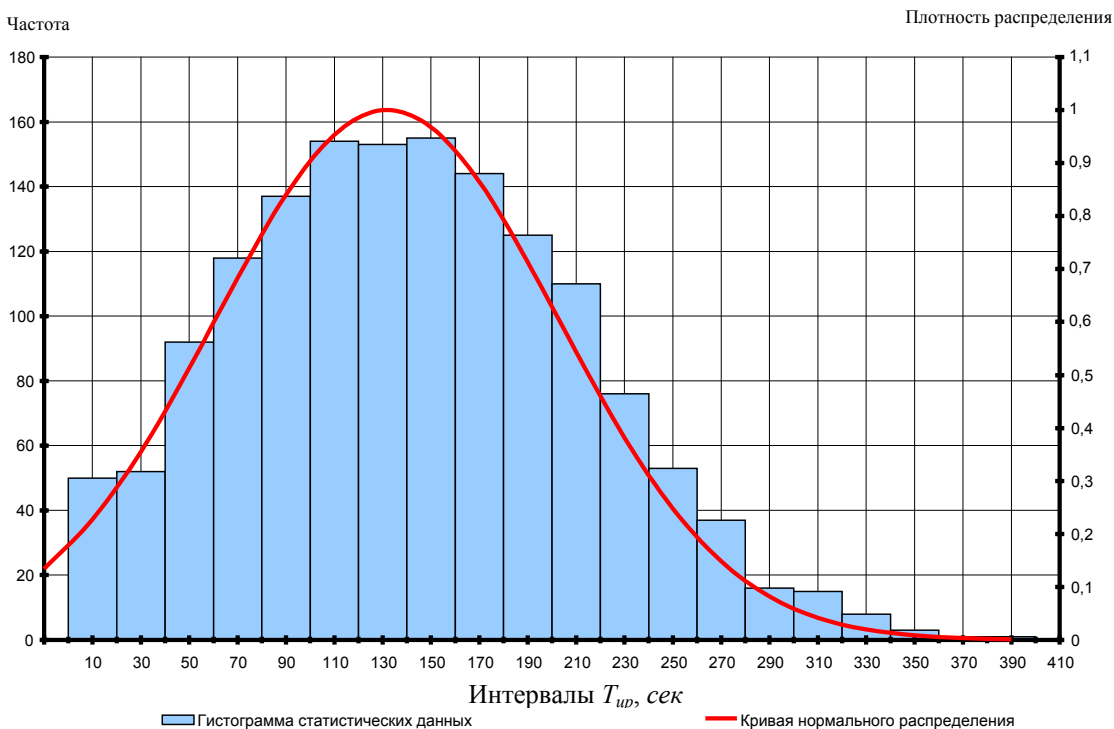


Рис.4. Гистограмма статистических данных и кривая нормального распределения

Для проверки гипотезы о законе распределения был использован критерий Пирсона, позволяющий сделать вывод о том что, справедлива гипотеза о нормальном распределении выборочной совокупности значений времени цикла регулирования.

В четвертой главе проведён анализ возникновения отклонений параметров швартовки с помощью компьютерного моделирования. Разработана программа, с помощью которой получена оценка вероятности превышения скорости судна в момент контакта с причалом в зависимости от времени t , в течение которого судоводитель наблюдал за процессом швартовки, но не принимал активных действий и дистанции до причала D в условиях дестабилизирующих возмущений (см. рис. 5). Для большей наглядности в диссертационной работе произведены сечения полученной фигуры фиксированными значениями времени и дистанции до причала. Сделан вывод, что от правильности действий судоводителя, его опыта, быстроты реакции и других факторов зависит безопасность постановки судна к причалу. Проведенный анализ количественно доказывает, чем больше дистанция до причала, тем больше времени у судоводителя на устранение всех возникающих отклонений, и меньше вероятность того, что судоводитель не успеет погасить скорость до допустимого значения.

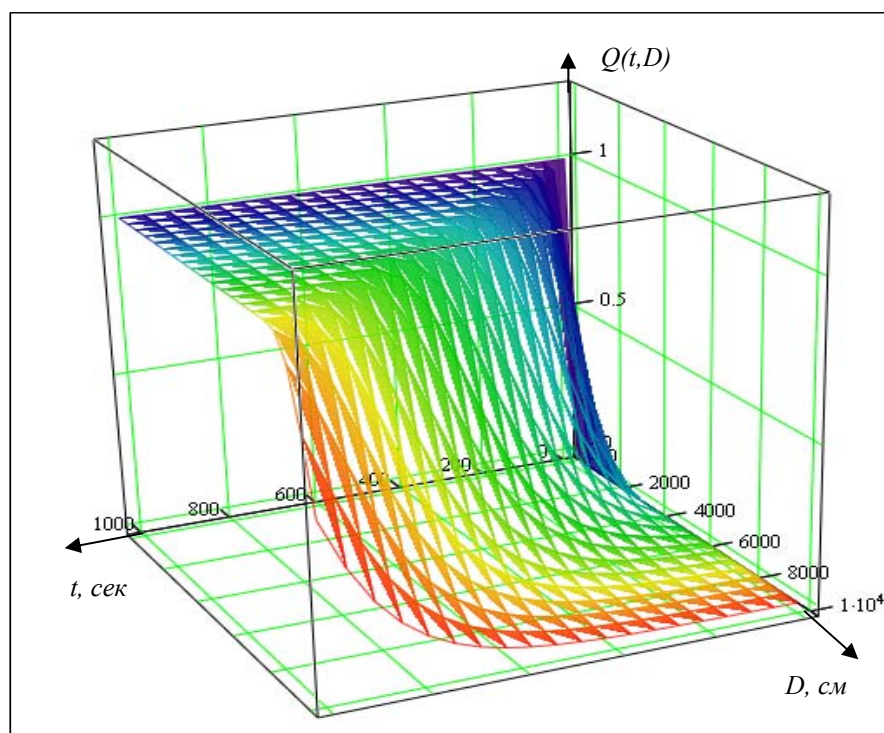


Рис.5. Зависимость вероятности превышения скорости танкера $Q(t, D)$ от времени, в течение которого судоводитель наблюдал за процессом швартовки, но не принимал активных действий и дистанции до причала

В сборнике обязательных распоряжений по морскому торговому порту Новороссийск определено условие: «...сближение судна с причалом следует осуществлять с помощью буксиров, параллельно причалу, чтобы судно «легло» на все четыре пала одновременно...» [5]. Вследствие этого выполнен анализ временных и скоростных параметров оконечностей судна в момент

контакта с причалом, который показал, что не всегда удается достигнуть одновременного касания причала носовой и кормовой оконечностей танкера и со скоростью удовлетворяющей значениям портовых нормативов. Поэтому были рассмотрены различные ситуации касания оконечностей танкера причала (рис.6):

1. Скорости обеих оконечностей судна ниже допустимой $V_1 < 8 \text{ см/сек}$ и $V_2 < 8 \text{ см/сек}$; и одновременное касание кормовой и носовой оконечностей судна с причалом $\Delta t = 0$ при разных скоростях;
2. Скорость одной части судна выше допустимой скорости $V_1 > 8 \text{ см/сек}$, а другой оконечности судна – ниже допустимой $V_2 < 8 \text{ см/сек}$;
3. Скорость одной части судна при касании причала ниже допустимой $V_1 < 8 \text{ см/сек}$, скорость другой оконечности судна – выше допустимой скорости $V_2 > 8 \text{ см/сек}$;
4. Скорости кормовой и носовой оконечностей судна выше допустимой скорости $V_1 > 8 \text{ см/сек}$, $V_2 > 8 \text{ см/сек}$.

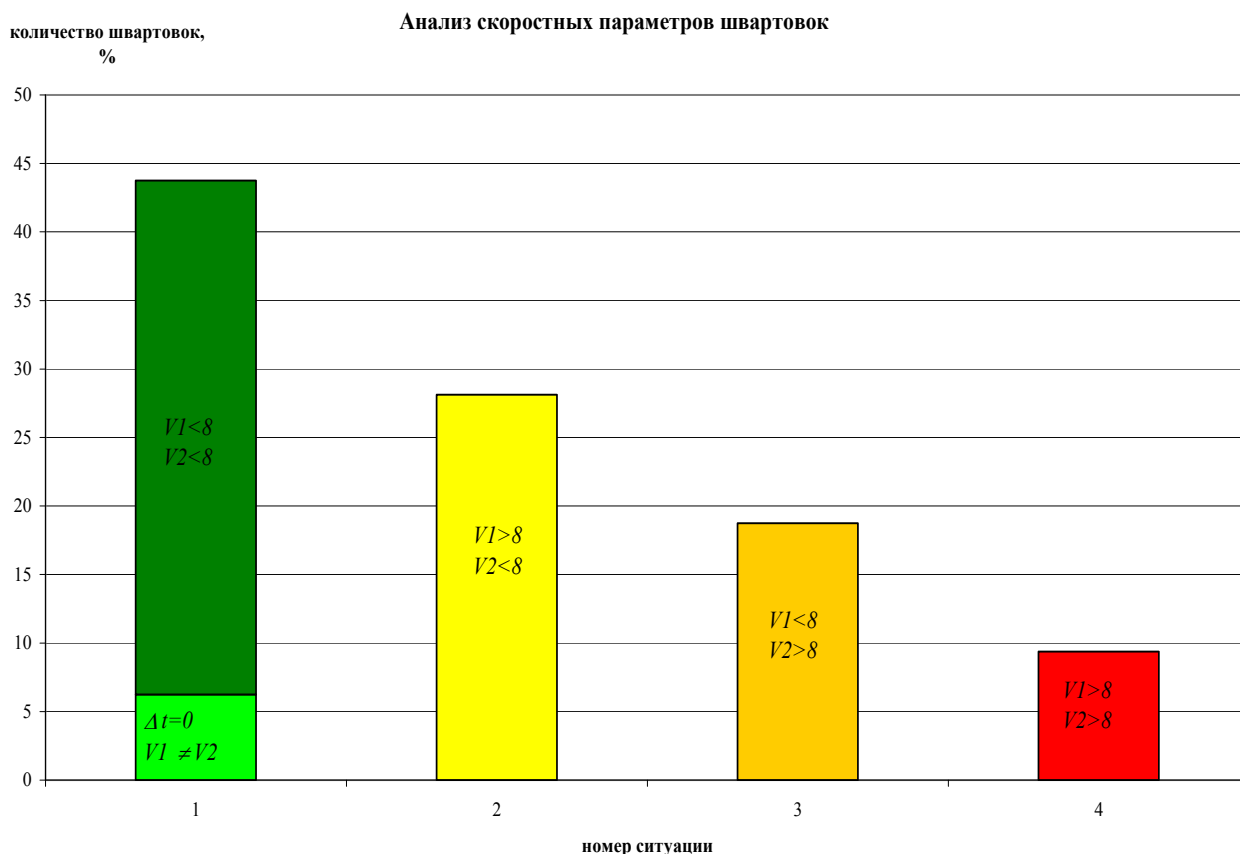


Рис.6 Классификация скоростных параметров процессов швартовок по ситуациям

Из рисунка 6 следует, что ситуации 1 соответствует 37,5% швартовок, когда скорости оконечностей судна ниже допустимой. Здесь же показана ситуация, при которой оконечности судна касаются с причалом одновременно, имея разные скорости ниже 8 см /сек, их процентное соотношение составляет 6,25% от общего числа проанализированных швартовок. Желтым цветом окрашены столбики, соответствующие ситуациям 2 и 3. В этом случае одна из око-

нечности судна соударяется с причалом со скоростью выше рекомендованной, а другая ниже. Наиболее опасной является ситуация 3, в которой первой коснулась причала оконечность, со скоростью ниже 8 см/сек, в этом случае судоводитель мог не обратить особого внимания на другую оконечность судна, которая ударилась о причал со скоростью выше допустимой. И красным цветом на диаграмме окрашен столбик гистограммы в ситуации, когда обе оконечности судна имеют скорости выше 8 см/сек, т.е. происходит нарушение условий, описанных в нормативном документе [5]. Для обоснования влияния оконечностей танкера в момент контакта с причалом был проведён *дисперсионный анализ*, в результате которого сделан вывод: средние значения времён циклов регулирования носовой и кормовой частей судна статистически достоверно различаются в процессе каждой швартовки на уровне значимости $p < 0,001$. Из чего можно сделать вывод: судоводителя следует предупредить заранее, например, в нескольких метрах до первого контакта с причалом, о том, что корма или нос сближается с причалом со скоростью выше допустимой.

Существенными параметрами, определяющими безопасность соприкосновения судна с причалом, являются *временные* параметры: фактическое время до причала t_{np} ; время компенсации возмущения, в течение которого необходимо отрегулировать скорость сближения судна так, чтобы она не превышала 8 см/сек; резервное время, а так же прогноз дистанции до причала, на которой завершатся все циклы регулирования, т.е. судно погасит скорость до допустимого значения.

В диссертационной работе для определения временных параметров проведем статистический анализ и выделим промежуток времени в каждом процессе швартовочной операции, в течение которого скорость судна отклоняется от допустимого значения. На рисунке 7 приведена запись реального процесса швартовки, в котором показан интервал времени, необходимый для устранения возникших отклонений к моменту первого касания причала.

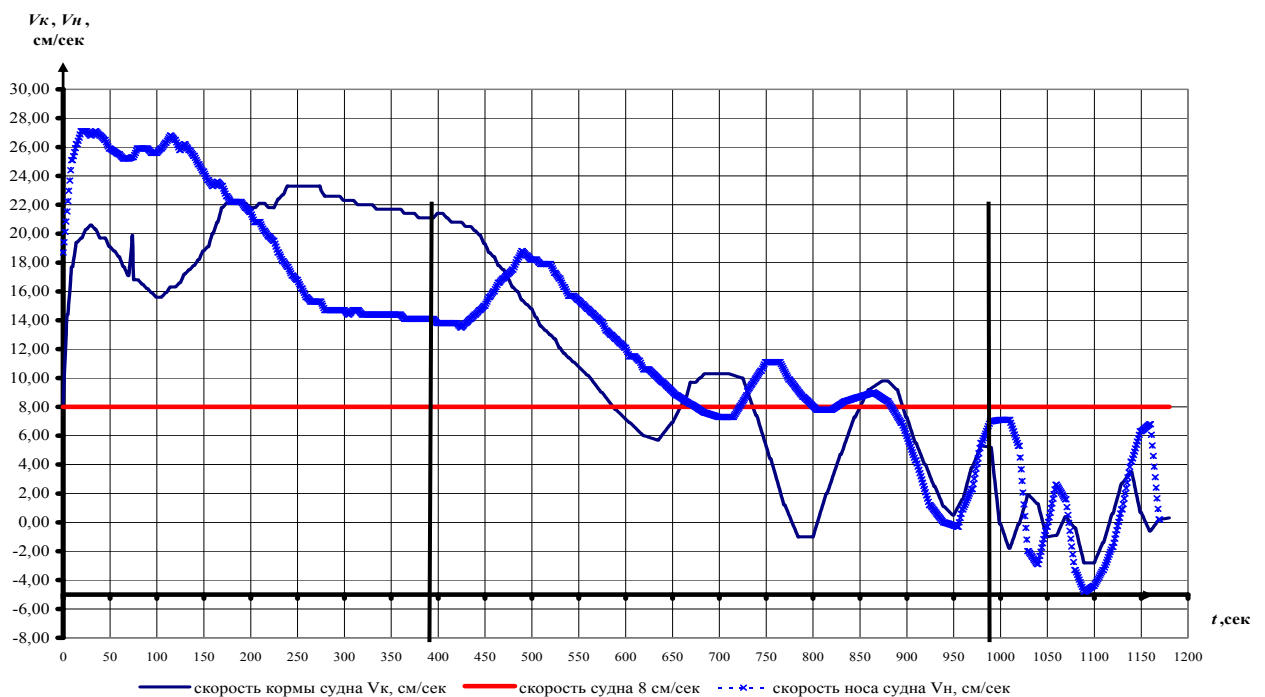


Рис. 7 Зависимость скорости кормы $V_k(t)$ и носа $V_n(t)$ судна реального процесса швартовки от текущего времени

Вертикальными линиями (рис. 7) выделен промежуток времени с 390 секунд от начала швартовки и до момента первого касания кормы танкера причала. Он составляет 600 секунд. Красной линией отмечена скорость судна, рекомендованная нормативными документами. Как показал статистический анализ, наиболее информативным является временной промежуток, составляющий *десять* минут т.к. в каждом процессе швартовки имеется указанный промежуток времени до первого касания судна с причалом. Кроме того, именно в этом промежутке времени судно находится на небольших дистанциях от причала, где очень важно успеть погасить нарастающую скорость до рекомендованного значения и ниже, имея запас во времени, т.е. резервное время, до соприкосновения судна с причалом. Если вовремя не устранить возникшие возмущения в этом интервале времени, то для завершения цикла регулирования времени не хватит. В такой ситуации судно коснется причала со скоростью превышающей нормативное значение – 8 см/сек.

Лазерная система швартовки информирует судоводителя о дистанции и скорости сближения судна с причалом через фиксируемый дискрет времени 5, 10, 15 секунд. На основе этой информации можно определить начало возникновения возмущения, и момент его компенсации. Рассмотрим на примере реального процесса швартовки (рис.8) методику определения времени цикла регулирования и резервного времени.

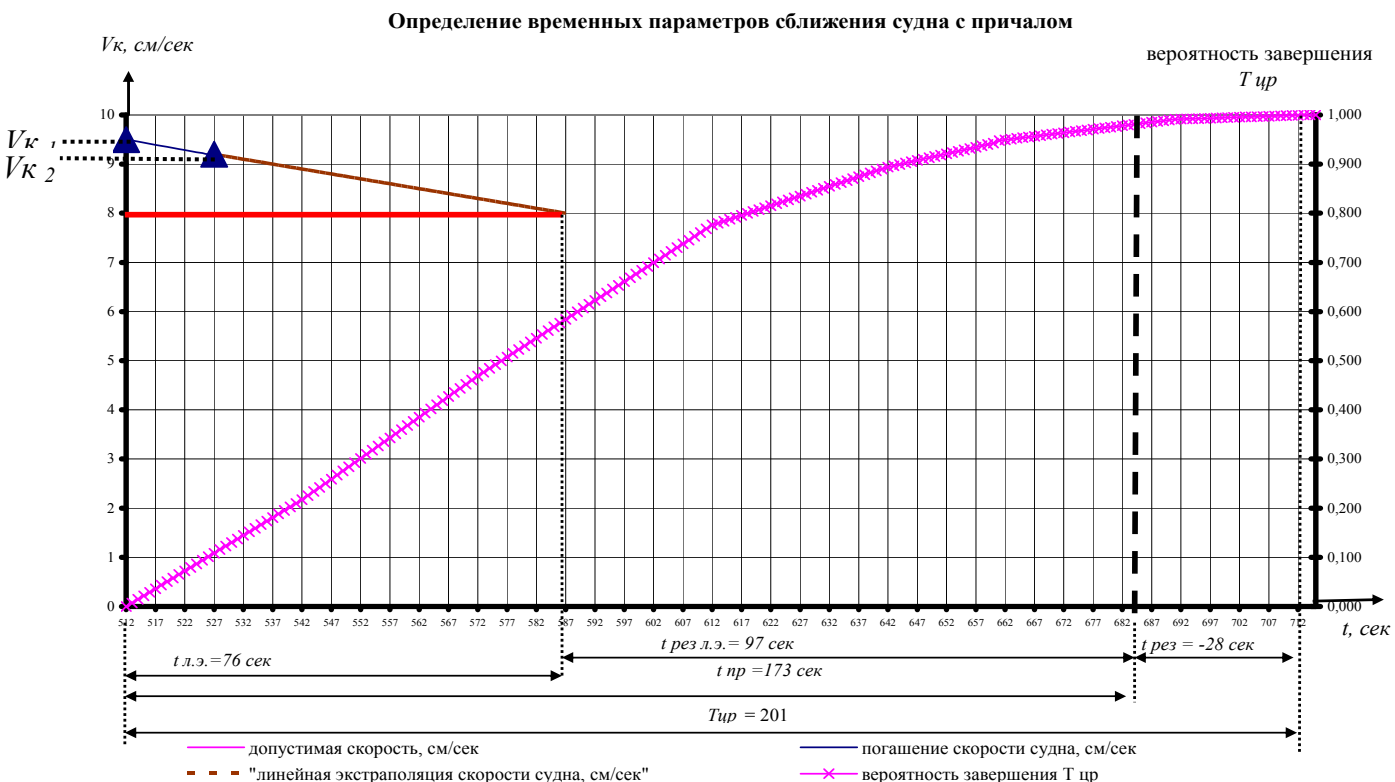


Рис.8. К определению времени цикла регулирования и резервного времени

Из рисунка 8 видно, что на 512 секунде от начала возникновения возмущения лазерная система швартовки зафиксировала скорость кормы судна $V_{к1} = 9,5$ см/сек. Через 15 секунд корма судна погасила скорость до значения

$V_{k_2} = 9,2 \text{ см/сек}$. Это говорит о том, что происходит компенсация возмущения и возникает задача определения времени, в течение которого скорость кормы судна достигла бы рекомендованного значения, т.е. 8 см/сек . Эту задачу будем решать различными способами. На рисунке 8 видно, что началом отсчета является время $t = 512 \text{ сек}$, соответствующее скорости кормы судна $V_{k_1} = 9,5 \text{ см/сек}$.

Первый способ заключается в следующем: имея информацию о скорости судна в текущий момент времени, например $V_{k_1} = 9,5 \text{ см/сек}$ и в следующий момент времени $V_{k_2} = 9,2 \text{ см/сек}$, проведём линейную экстраполяцию скорости судна до значения, рекомендованного нормативным документом. Критерием линейной экстраполяции скорости судна является дискрет скорости ΔV между двумя соседними измерениями V_{k_1} и V_{k_2} . На рисунке 8 время $t_{л.э.} = 76 \text{ секунд}$ с начала отсчета, это говорит о том, что если скорость судна будет изменяться линейно, то через 76 секунд достигнет значения рекомендованной скорости, т.е. устранил возникшее отклонение скорости судна. Такой способ определения времени цикла регулирования имеет достоинство в том, что судоводителю не нужно иметь другой информации, кроме текущей скорости судна и ее предшествующего значения. Однако недостатком этого способа является то, что он не учитывает случайных факторов (ветер, течение...). Поэтому целесообразно рассмотреть другой способ определения времени цикла регулирования. Он является вероятностным и учитывает случайные факторы, которые могут существенным образом повлиять на время цикла регулирования.

Для решения этой задачи, в качестве исходных данных, была собрана статистическая база длительностей циклов регулирования, в десятиминутном интервале времени исследованных процессов швартовок, рассчитана средняя интенсивность λ появления возмущений и разработана программа определения времени цикла регулирования. Критерием того, что скорость кормы судна достигнет рекомендованной скорости, является равенство единице вероятности завершения цикла регулирования. В рассматриваемом примере на рисунке 8 время, в течение которого завершится цикл регулирования, составляет $T_{ур} = 201 \text{ секунду}$. Фактическое время до причала t_{np} определяется по формуле: $t_{np} = \frac{D_{\phi}}{V_{\phi}} = 173 \text{ секунды}$, $t_{рез} = t_{рез} = t_{np} - T_{ур} = -28 \text{ секунд}$.

При определении резервного времени знак « $-$ » указывает на то, что фактическое время сближения судна с причалом меньше, чем время, затраченное на устранение возмущения и приведение скорости кормы судна к рекомендованному значению, т.е. не выполняются условия, определённые нами во второй главе. Другими словами можно сказать, что в такой ситуации времени для завершения цикла регулирования у судоводителя нет, и корма судна соприкоснётся с причальным сооружением со скоростью превышающей допустимое значение. Это в свою очередь может привести к порче или разрушению амортизирующих устройств, причальных сооружений, повреждению самого судна и других объектов, влекущих за собой материальные потери.

В работе показано, что кроме временных параметров судоводитель может получить информацию о предполагаемой дистанции, на которой могут завершиться все циклы регулирования скорости сближения судна с причалом, определённой нами как *прогнозируемая дистанция*. Для её оценки допустим, что лазерная система зафиксировала текущее значение скорости судна $V = 10 \text{ см/сек}$ на дистанции $D = 1469 \text{ см}$. По приведенной выше методике определим временные параметры швартовки для рассматриваемых условий: суммарное время возможных циклов регулирования $\sum T_{up} = 126 \text{ сек}$, время до соприкосновения судна с причалом $t_{np} = 146,9 \text{ сек}$, резервное время $t_{рез} = 20,9 \text{ сек}$. По статистическим данным исследуемых процессов швартовок определим дистанцию, которую судно пройдет за время всех циклов регулирования, в рассматриваемом примере $\sum T_{up} = 126 \text{ сек}$, рассчитаем её среднее значение $T_{cp} = 735,5 \text{ сек}$ и определим доверительный интервал для полученных значений $\Delta = 112,74$ (см. табл.3). В работе представлены результаты расчета прогнозных дистанций для дистанций $D = 15 \text{ м}$, $D = 10 \text{ м}$, $D = 5 \text{ м}$.

Таблица 3

Исходные данные и расчет погрешности прогнозируемой дистанции для судна, находящегося в 15 метрах от причала

Исходные данные				
$D, \text{см}$	$V, \text{см/сек}$	$\sum T_{up}, \text{сек}$	$t_{np}, \text{сек}$	$t_{рез}, \text{сек}$
1469,00	10,00	126	146,9	20,9
Расчет средней прогнозируемой дистанции по статистическим данным процессов швартовки				
Дата швартовки	t_n реальн, сек	t_k реальн, сек	$D_n, \text{см}$	$D_{кон}, \text{см}$
19.04.2009	16:00:35	16:02:40	1532	964
24.04.2009	10:51:00	10:53:05	1522	656
25.04.2009	14:34:30	14:36:35	1519	1195
...
04.05.2009	1:04:50	1:06:55	1510	1008
02.06.2009	14:58:30	15:00:35	1504	681
04.06.2009	2:23:00	6:25:05	1567	430
05.06.2009	20:02:45	20:04:50	1566	619
19.06.2009	22:15:30	22:17:35	1531	180
24.06.2009	11:13:45	11:15:50	1531	979
24.06.2009	12:55:55	12:58:00	1478	138
29.06.2009	20:32:45	20:34:50	1517	559
05.07.2009	10:52:00	10:54:05	1526	813
ср.знач.				735,5
Расчет погрешности				
Коэфф. Стьюдента		2,059		
$\Delta D =$	112,7440651			
$D_{прогноз} =$ 735,5 + 112,74 735,5 - 112,74				

На рисунке 9 представлена зависимость прогнозируемой дистанции с доверительными интервалами от реального местонахождения судна.

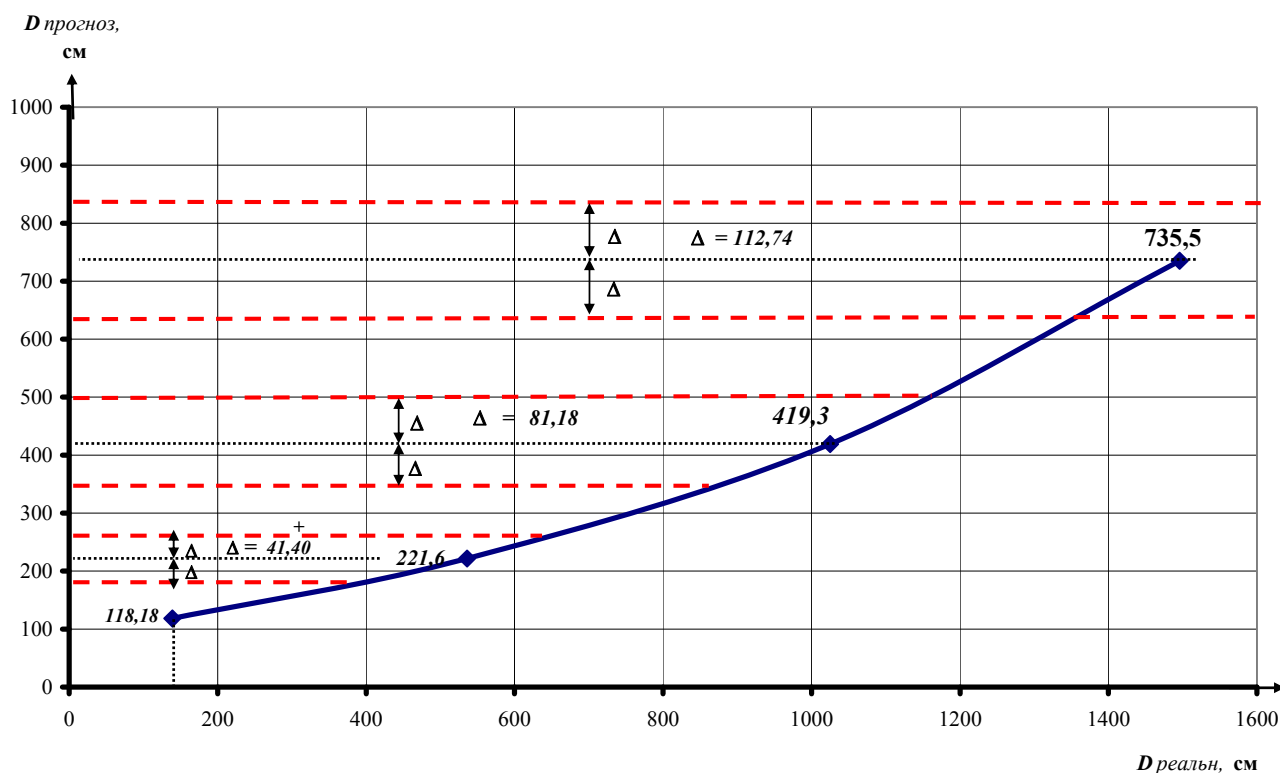


Рис. 9 Зависимость прогнозируемой дистанции с доверительными интервалами от реального местонахождения судна

Таким образом, прогнозирование параметров сближения судна с причалом дает *заранее* судоводителю информацию о том, успеет ли скорость судна достигнуть допустимого значения, на какой дистанции это может произойти, обеспечивая тем самым безопасность постановки судна к причалу.

Анализ швартовных операций на нефтетерминале «Шесхарис» порта Новороссийск показывает, что принимаемые меры хотя и снижают уровень аварийности, но вопрос безопасности по-прежнему остаётся актуальным. Это обусловлено многими факторами, в том числе, слабой информированностью судоводителя о текущих параметрах швартовки.

Для совершенствования управления и правильного принятия решения судоводителю необходимы специальные технические средства швартовки, оперирующие данными измерений реальных параметров местоположения швартуемого судна с помощью *системы*, получающей и обрабатывающей текущую информацию об изменении этих параметров, выдающую оператору-судоводителю в наглядном виде название опасной ситуации и сигнализирующую звуковым, цветовым сигналом об этом.

Техническим вариантом такого решения может быть система анализа швартовки и контроля сближения судна с причалом с предупреждающей индикацией текущей обстановки – *индикатор безопасности*, например, представляющий собой техническое средство, которое производит приём, обработку и хранение информации, необходимой для безопасности швартовки

танкера. В соответствии с разработанной прогнозной математической моделью и программным обеспечением это устройство отображает на экране индикатора результаты обработки данных как в виде вероятностной картины сближения танкера с причалом, так и в качестве рекомендаций судоводителю в виде резервного времени и прогнозной дистанции. На рисунке 10 представлена схема возможной системы контроля швартовки.

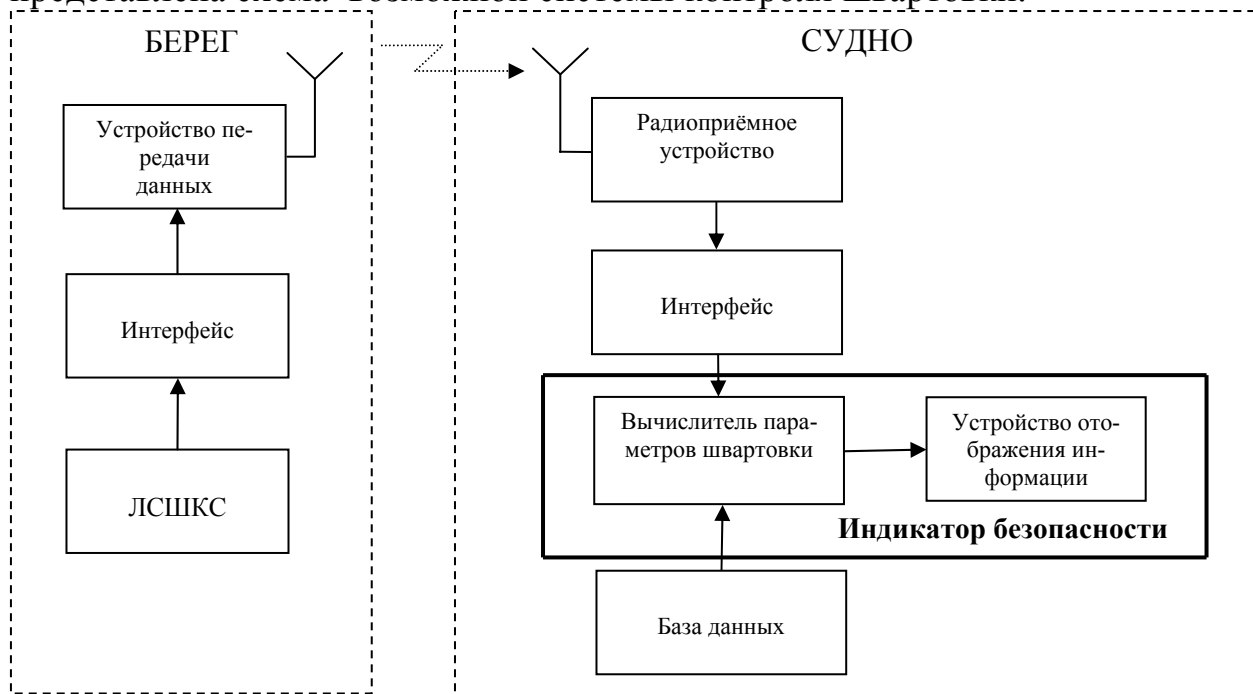


Рис.10. Схема системы контроля швартовки

Информационные потоки данных о параметрах сближения судна с причалом, измеряемые лазерной системой швартовки крупнотоннажных судов (ЛСШКС), передаются на телеметрическое устройство посредством интерфейсного модуля, предназначенного для совмещения этих технических средств. Через приёмо-передающие антенны текущая информация поступает в радиоприёмное устройство, расположенное на судне. Преобразованная для дальнейшей обработки информация через интерфейс поступает в вычислитель, где производится расчет параметров во время всей швартовки танкера. В индикаторе предусмотрены следующие *режимы визуализации*: 1. Отображение рассчитываемой вероятности превышения скорости судна в момент контакта с причалом. 2. Хронология скорости сближения судна с причалом. 3. Совмещенный режим отображения реальной скорости судна и вероятности превышения скорости в момент контакта с причалом. 4. Автоматический режим включения анализа текущей ситуации с прогнозными оценками сближения судна с причалом. Наиболее информативным является автоматический режим включения анализа текущей ситуации с прогнозными оценками сближения судна с причалом, позволяющий заранее предупредить судоводителя о том, как может сложиться обстановка к моменту первого касания судна с причалом. Ниже представлен алгоритм анализа сближения судна с причалом.

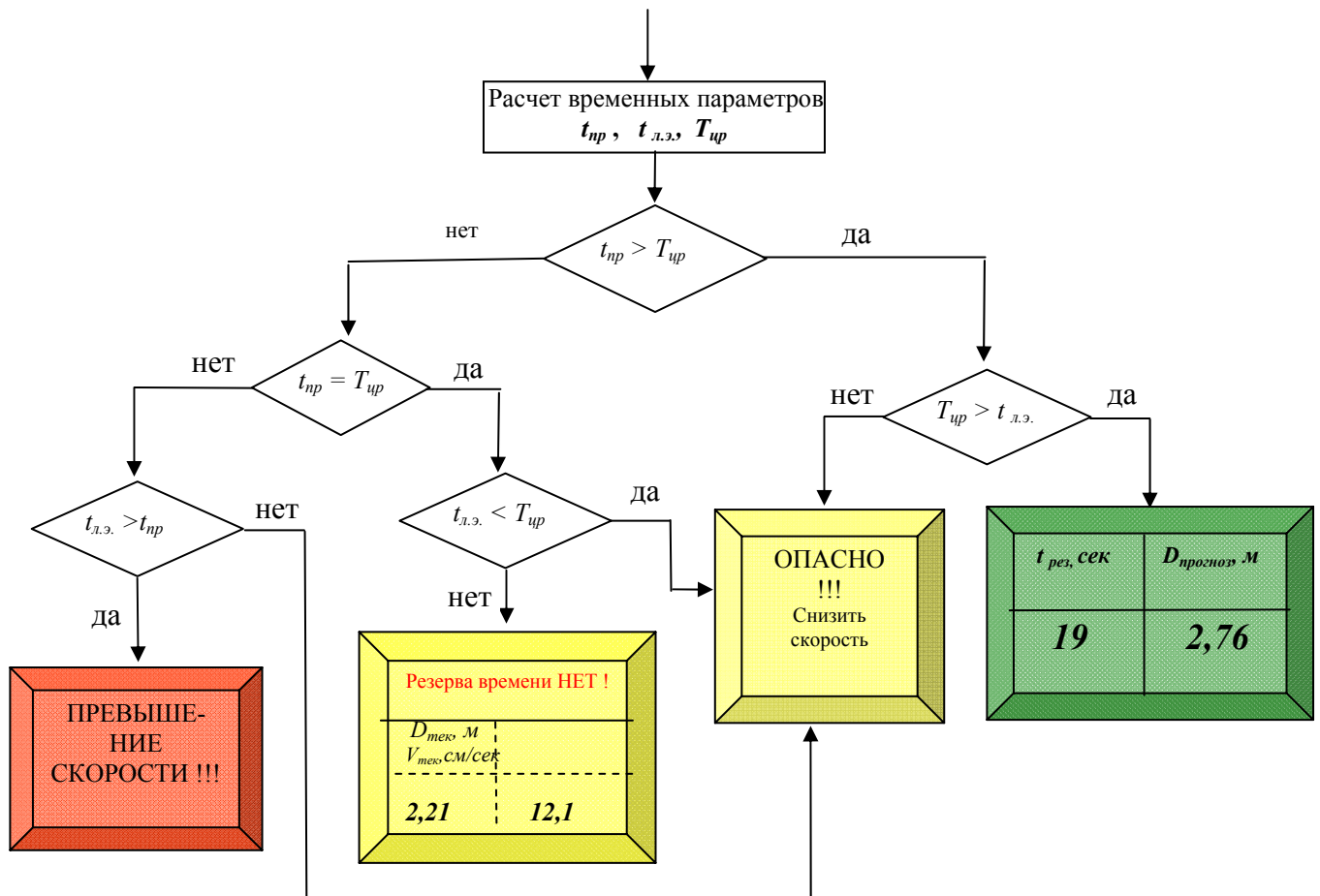


Рис. 11. Алгоритм анализа и отображения на дисплее индикатора безопасности возможных ситуаций

Переход к таким *системам анализа и контроля швартовки*, которые наглядно отображают рабочий процесс, а так же своевременно сигнализируют об опасности, на наш взгляд сегодня очень необходим. Это особенно важно по мере сближения судна с причалом, т.к. резервное время на совершение противоаварийных маневров катастрофически уменьшается, и знание момента его обнуления позволит судоводителю правильно оценить текущую ситуацию.

Таким образом, предложенные возможности в информационном обеспечении швартовки позволяют: 1. Снизить риск превышения скорости судна за счет уменьшения влияния человеческого фактора при швартовке. 2. Снизить влияние субъективной оценки текущей ситуации сближения судна с причалом, и переключить внимание судоводителя на наблюдение за окружающей обстановкой. 3. Избирательно выбирать режимы и наглядно отображать рабочий процесс по складывающейся ситуации, повышая тем самым эффективность системы в целом. 4. Контролировать безопасность сближения судна с причалом, расширяя возможности лазерной системы швартовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В работе представлены исследования возможностей системы лазерного контроля путём включения неиспользованной информационной базы пространственно-скоростных параметров сближения судна с причалом для повышения безопасности швартовки. Проведенные исследования показали, что расширение возможностей информационного обеспечения швартовки, с применением системы, выдающей рекомендации в виде резервного времени и прогнозируемой дистанции снижает вероятность ошибок за счет уменьшения влияния человеческого фактора.

В итоге безопасность процесса швартовки повышается.

В результате научного исследования вынесенной на защиту темы при непосредственном участии соискателя:

– изучены характерные циклы замедления-ускорения оконечностей танкера при швартовке и введено понятие времени цикла регулирования, характерного для данного типа судна;

– обработана и преобразована база пространственно-скоростных параметров швартовки, сформированных специализированной программой «DOCKMASTER»;

– разработана математическая модель прогноза завершения циклов регулирования при сближении судна с причалом;

– предложена методика формирования, и алгоритм анализа базы значений времён циклов регулирования скорости сближения судна с причалом;

– разработана методика определения резервного времени и прогнозной дистанции при швартовке;

– предложена система, расширяющая поддержку судоводителя в принятии решения в ситуациях с неявно выраженными параметрами.

Цитируемая литература:

1. Погосов С.Г. Швартовка крупнотоннажных судов. М.: Транспорт, 1975. 176 с.
2. Оганов А.М., Цурбан А.И. Швартовые операции морских судов. М.: Транспорт, 1987. 176 с.
3. Ерыгин В.В. Радиоэлектронные средства обеспечения безопасности швартовки крупнотоннажных судов в задаче снижения роли человеческого фактора (канд. дисс.). Новороссийск, РИО МГА, 2005. 156 с.
4. Котик М.А. Краткий курс инженерной психологии. Учебное пособие. Таллинн: Изд. «Валгус», 1971. 308 с.
5. Сборник обязательных распоряжений по морскому торговому порту Новороссийск (с приписным портопунктом Анапа) и морскому торговому порту Геленджик. Морская Администрация порта Новороссийск, 2005.

Публикации ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК Минобрнауки РФ

1. Лицкевич А.П., Росторгуева Н.Ю. Надежность системы управления движением судов с резервом времени// Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский Регион. Технические науки. Проблемы водного транспорта. Ч.1.– Ростов-на-Дону. РГУ, 2004.– С. 118-120.
2. Росторгуева Н.Ю., Юсупов Л.Н., Демьянов В.В. Система интеллектуальной поддержки решений лоцмана в задаче безаварийной швартовки судна// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2008.– С. 110-113.

Другие публикации

3. Росторгуева Н.Ю, Демьянов В.В. Методика проведения экспериментально статистического анализа данных о характеристиках человека-оператора при стационарном режиме работы СЧМ.// Сборник научных трудов НГМА, выпуск 11.– Новороссийск: НГМА, 2006 – С. 149-152.
4. Росторгуева Н.Ю, Демьянов В.В. Методика проведения экспериментально статистического анализа данных о характеристиках человека-оператора для нестационарном режиме работы СЧМ.// Сборник научных трудов НГМА, выпуск 11.– Новороссийск: НГМА, 2006 .– С. 152-153..
5. Росторгуева Н.Ю, Демьянов В.В. Статистический анализ поведения человека в сложных эргатических системах// Труды. XIV Международной конференции «Математика. Экономика. Образование», IV международного симпозиума «Ряды Фурье и их приложения». – Ростов н/Д: изд-во «ЦВВР», 2006 .– С. 145-151.
6. Росторгуева Н.Ю. Методика определения времени решения операторских задач в компьютеризированных системах // Сборник научных трудов НГМА НГМА, выпуск 11.– Новороссийск: НГМА, 2006 – С. 155-157.
7. Росторгуева Н.Ю., Юсупов Л.Н., Демьянов В.В. Вероятностная модель функциональной надёжности эргатической системы швартовки судна с учётом дестабилизирующих возмущений// Материалы Международной научно-технической конференции «Стратегия развития транспортно-логистической системы Азово-Черноморского бассейна» совместно с секционными заседаниями VI региональной НТК «Проблемы безопасности морского судоходства, технической и коммерческой эксплуатации морского транспорта». – Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2007.– С. 172-175.
8. Росторгуева Н.Ю., Юсупов Л.Н., Демьянов В.В. Статистическая база для оценки влияния человеческого фактора при швартовке судна к причалу// Международной научно-технической конференции «Стратегия развития транспортно-логистической системы Азово-Черноморского бассейна» совместно с секционными заседаниями VI региональной НТК «Проблемы безопасности морского судоходства, технической и коммерческой эксплуатации морского транспорта».–Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2007– С. 175-177.

9. Росторгуева Н.Ю., Юсупов Л.Н., Демьянов В.В. Синтез вектора возмущения скорости швартовки судна полиномиальной аппроксимацией её тренда // Сборник научных трудов, выпуск 12.– Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2007.– С. 97-100.
10. Росторгуева Н.Ю. Анализ и количественные оценки статистической базы параметров швартовки лазерной системы дальнометрии // Сборник научных трудов, выпуск 12.– Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2007. – С. 100-104.
11. Росторгуева Н.Ю. Статистическое исследование распределения временной базы циклов регулирования скорости швартовки вероятностной модели отказа системы «человек-машина» // Сборник научных трудов, выпуск 12.– Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2007– С. 94 - 97.
12. Росторгуева Н.Ю., Юсупов Л.Н., Демьянов В.В. Компьютерное моделирование аварийной ситуации при швартовке судна в условиях дестабилизирующих возмущений // Сборник научных трудов, выпуск 12.– Новороссийск: МГА имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2007.– С. 92- 94.

Формат 60x84 1/16. Тираж 100. Заказ 1822.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе

ФГОУ ВПО «Морская государственная академия имени адмирала Ф.Ф.Ушакова»

353918, г. Новороссийск, пр. Ленина, 93