

УДК 659.62

Лобанов Василий Алексеевич

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Россия, Нижний Новгород¹

Доцент кафедры Судовождения и безопасности судоходства

Кандидат технических наук

E-Mail: lobbas@mail.ru

Прогноз ледового воздействия на суда Пермского портового флота при планировании его зимнего отстоя

Аннотация: Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы «Обоснование возможности безопасной стоянки судов ОАО «порт Пермь» в зимний период у причальной стенки по левому берегу реки Кама». В рамках данной работы экспертами проведён анализ ледовых и гидрометеорологических условий в месте планируемого зимнего отстоя судов. По результатам анализа выявлены наиболее неблагоприятные сочетания ледовых и гидрологических факторов, определяющих ледовые нагрузки на караван. Выполнен обзор состава портового флота и его технических характеристик, обоснован выбор барж временного защитного ограждения. Предложен ряд схем формирования каравана и его защитного ограждения, разработан комплекс организационных мероприятий по обеспечению безопасного отстоя флота. С применением классических полуэмпирических методик и САЕ-моделирования процесса взаимодействия защитного счала с дрейфующими льдами произведены количественные и качественные оценки ледового воздействия на караван. В качестве оптимального построения барж временного защитного счала рекомендована схема вида «уступ» при осадке судов 1,5 м. С учётом динамического запаса прочности определено требуемое количество продольных стальных швартовых канатов для надёжного противодействия давлению льда на караван.

Ключевые слова: Судно; портовый флот; зимний отстой флота; ледовые условия; ледовая защита; САЕ-системы; конечно элементное моделирование.

Идентификационный номер статьи в журнале 34TVN114

¹ 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5А

Vasily Lobanov
Volga State Academy of Water Transport
Russia, Nizhniy Novgorod
E-Mail: lobbas@mail.ru

Prediction of the ice action on the vessels of Perm harbor fleet in planning their winter moorage

Abstract: The article highlights the research undertaken on «Practicability Study of OJSC Perm port owned vessels safe mooring when wintering along quayside of the river Kama left bank». The paper describes the expertise of ice and hydro meteorological conditions in the position of the intended vessel wintering. The analysis results disclose the most adverse combination of ice and hydrological factors which aggravate ice loads on the vessels formation. There have been reviewed the port fleet winter units and their specifications, as well as preventive measures against probable damages in configuring winter temporary shield guard barge units. Variable schemes of the vessels formation and their shield guard barges against damages have been proposed here entailing many-sided managerial efforts to ensure safe winter mooring of the fleet. Quantitative and qualitative evaluation of the ice impact on the vessels formation linked with shield guard barges have been substantiated using classical semi empirical methods and CAE modeling of interaction of shield guard barges linked to side-by-side formation and drift ice. The bulge or «ledge» type scheme has been recommended for vessels with the draft of 1.5 m as an optimal barge-to vessel units configuration. The required quantity of longitudinal steel wires has been optimized in view of the dynamic strength margin to reliably counteract the ice pressure against the vessels formation.

Keywords: Vessel; port fleet; wintering fleet; ice condition; ice guard; CAE-systems; finite element modeling.

Identification number of article 34TVN114

Введение

С 1989 года до весны 2013 года самоходные и несамоходные суда ОАО «Порт Пермь» отстаивались в зимний период у стенки грузового района в соответствии со схемой, разработанной ГИИВТом (*Горьковский институт инженеров водного транспорта (ныне - Волжская государственная академия водного транспорта)*); в 1989 году [7]. С октября 2013 года появилась необходимость расстановки судов для зимовки у причальной стенки Заостровского терминала, расположенного по левому берегу реки Кама на участке 2249,7 – 2250,5 км по атласу *ЕГС (единая глубоководная система европейской части России (внутренние водные пути))* том 9 часть 1 [1].

Вследствие изменения района отстоя флота и уточнения его количественного и качественного состава *Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волжская государственная академия водного транспорта» Россия, Нижний Новгород (ФБОУ ВПО ВГАВТ)* по заказу ОАО «Порт Пермь» произведены новые обоснования безопасной зимней стоянки судов с учётом проекта [7]. При этом помимо использования традиционных аналитических, полуэмпирических и нормативных методик для оценки ледового воздействия на суда и гидротехнические объекты [3,4,8,9,10], экспертами выполнено моделирование развития ситуации при различных вариантах ледовой защиты каравана с применением современных САЕ-систем [11].

Потребность в подобном прогнозе обусловлена неспособностью упомянутых методик к описанию динамики вероятных последствий навала льдов на караван. *САЕ-системы* – это программные комплексы, реализующие численные решения (чаще в трёхмерной конечноэлементной постановке) в задачах механики твёрдых тел и различных сред. Трудоемкость описания и относительная длительность решения задач в большой степени окупается высокой достоверностью, наглядностью, детализацией рассматриваемых процессов. В общем случае САЕ-системы в сочетании с адекватными традиционными решениями – это инструмент, обеспечивающий оптимальное соотношение затрат судовладельца на проведение экспертного ледового анализа с надёжностью получаемых результатов.

Гидрометеорологические условия отстоя флота

Гидрометеорологические условия обуславливают отстой флота в зимний период в порту – время, место, схемы расстановки и защиты судов, комплекс организационных мероприятий по безопасному отстоя флота. К ним относятся температура воздуха, ледовые условия, уровненный режим и скорость течения у причала.

Гидрометеорологическую обстановку, не претерпевшую значимых изменений за период с 1989 года, допустимо характеризовать данными, приведёнными в работах [6,7]. При этом температура воздуха определяет ледообразование, толщину и прочность льда, состояние и продолжительность ледовых явлений. Средняя месячная и расчётная температура воздуха приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средняя месячная и расчётная температура воздуха по метеостанции Пермь

Характеристика	Температура воздуха °С по месяцам					
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
средняя	-5,4	-11,6	-15,9	-13,2	-5,4	3,2
максимальная	-0,4	-6,6	-9,0	-8,2	-1,2	7,9
минимальная	-9,9	-20,8	-25,9	-19,6	-14,4	-2,6
абсолютный минимум	-29,4	-47,1	-44,9	-40,8	-40,8	-21,6
расчётная	-27,9	-33,5	-33,4	-20,8	-11,3	-2,8

Расчётная температура определена как средняя температура воздуха за трое суток до ледового воздействия на сооружение при толщине льда до 0,5 м [10].

Наступление морозного периода приводит к охлаждению воды и появлению ледовых образований. Заостровский район порта расположен в 20 км ниже плотины Камской ГЭС, его акватория подвержена суточным и недельным колебаниям уровней воды. В связи с этим устойчивого ледостава по ширине реки не наблюдается, лёд различной раздробленности (тёртый, мелко и крупнобитый) и сплочённости (8-10 баллов) находится в движении. При этом высока вероятность существования протяжённых заберегов шириной несколько десятков метров. Толщины льда, принятые по водомерному посту Нижняя Курья, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Толщины льда по водомерному посту Нижняя Курья

Характеристика	Толщина льда по месяцам и датам, см											
	декабрь			январь			февраль			март		
	10	20	31	10	20	31	10	20	28	10	20	31
средняя	27	32	36	35	36	35	35	38	43	35	33	18
максимальная	-	-	45	-	-	47	-	-	58	-	-	48
минимальная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В качестве расчётных толщин льда приняты значения от 10 до 60 см, наблюдающиеся в различные зимние месяцы года.

Значения уровней воды на акватории порта приведены в табл. 3.

Таблица 3

Уровни воды в зимний период по водомерному посту Нижняя Курья

Характеристика	Уровень воды по месяцам, м					
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
средний	88,92	88,11	87,89	87,84	86,96	87,20
максимальный	91,04	90,50	89,80	88,94	89,50	89,77
минимальный	86,15	86,81	86,97	85,80	86,06	86,08

За расчётный уровень для определения скорости течения принят максимальный для каждого месяца. Изменение объёмов сброса воды по Камскому гидроузлу провоцирует колебания уровней, глубин на акватории отстойного пункта и скоростей течения. Зависимость скорости течения от уровня воды показана на рис. 1.

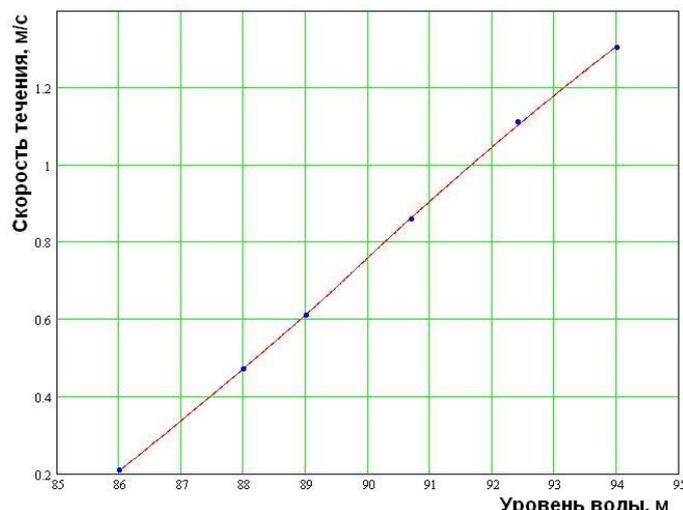


Рис. 1. Зависимость скорости течения от уровня воды в месте отстоя

Для выбора схемы защиты и безопасного отстоя судов в ремонтно-отстойном пункте определены наиболее тяжёлые ледовые и гидрометеорологические условия в соответствии с данными табл. 4.

Таблица 4

Расчётные ледовые и гидрометеорологические условия в районе отстоя судов

Месяц	Температура воздуха, °С	Толщина льда, м (ср/макс)	Уровень воды, м	Скорость течения, м/с	Глубина, м
ноябрь	-27,9	0,1	90,14	0,82	6,4
декабрь	-33,5	0,3/0,5	90,50	0,86	6,8
январь	-33,4	0,4/0,5	89,80	0,81	5,2
февраль	-28,3	0,4/0,6	89,05	0,82	5,3
март	-11,3	0,3/0,5	88,25	0,53	4,6

Состав флота и схемы защиты каравана

Портом установлен период отстоя с 1 ноября по 1 апреля и определён списочный состав флота (табл. 5).

Таблица 5

Состав зимующего флота

Наименование	Номер проекта (ледовая категория)	Количество, ед	Основные характеристики, м		
			Длина	Ширина	Осадка
Баржа	P85 (лёд-20)	10	88,1	14,06	0,47
Баржа	942	3	66,25	14,25	0,38
Баржа	81102	1	71,0	14,2	0,40
Понтон-8	1431	1	57,5	14,0	0,48
Брандвахта-4	70Б	1	35,0	9,6	0,80
Шлюзовой	887, 887А	4	21,5	7,8	1,97
РТ	911, 911В	3	27,4	6,6	1,0
Гидроперегрузатель	P116	1	60,91	9,7	1,69
Гидроперегрузатель	P166	1	62,6	10,4	1,65
з/с Портовый	P109	1	62,8	10,22	1,26

т/х ОС	354А, 354К	2	43,0	7,24	0,67
Плавкран	81050, P108	2	32,5	16,0	1,05
Пересвет	P33 (лёд-10)	1	33,84	8,0	1,46
Портовый	P47 (ледокол)	1	30,0	8,7	1,9
т/х ОТА-873	758А (лёд-20)	1	40,8	8,6	2,14

Анализ гидрометеорологических условий в месте зимовки, состава флота порта и его технических характеристик позволил выбрать суда для временной защиты ремонтно-отстойного пункта. Наиболее подходящими для этой цели являются бункерные баржи проекта P85 с двойным дном и двойными бортами при наличии ледовых усилений категории «лёд-20». Теплоходы проектов P47 и 758А рекомендовано использовать в рамках реализации оперативных мероприятий по обеспечению безопасного отстоя флота, а также в качестве аварийно-спасательных судов при наступлении форс-мажорных ледовых условий.

Ремонтно-отстойный пункт флота расположен у причальной стенки протяжённостью около 540 м. Натурные наблюдения показывают, что в случаях интенсивных подвижек или дрейфа сплочённых льдов их существенная часть будет уходить под днища ошвартованных судов, оказывая воздействие практически на весь караван. Поэтому при разработке проекта эксперты исходили из принципа создания наиболее благоприятных условий для «слабых» судов и судов с максимальными осадками (Рис. 2).

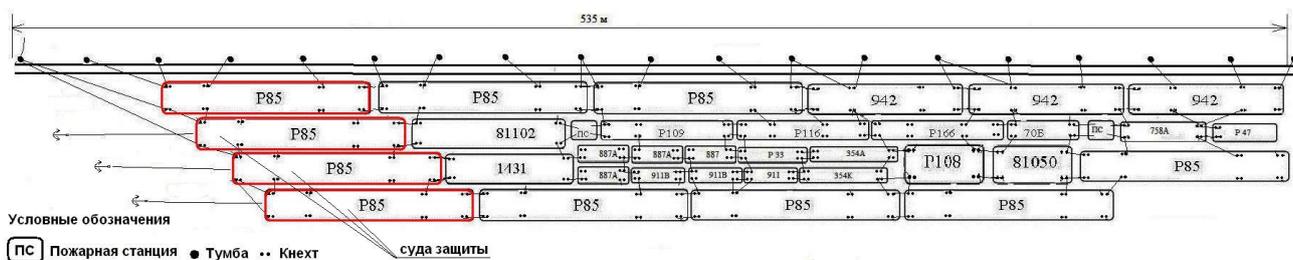
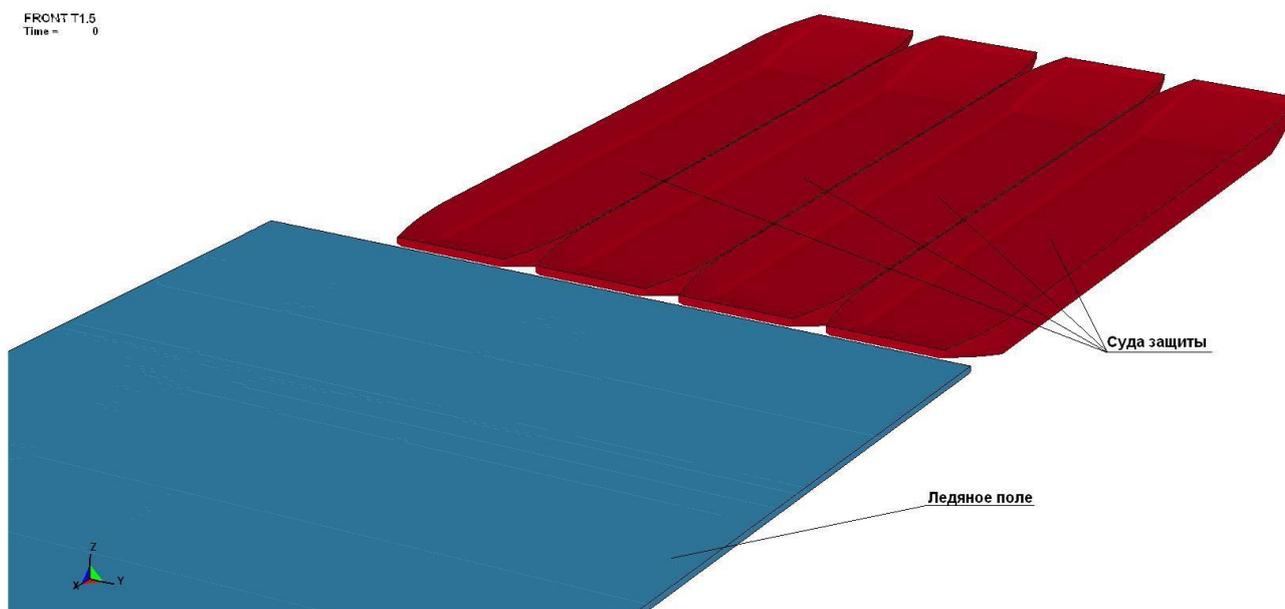


Рис. 2. Вариант размещения флота при зимнем отстое

Вполне очевидно, что подавляющая часть ледовых нагрузок будет приходиться на суда «головной» защиты каравана. С учётом этого проанализировано несколько вариантов временных схем построения баржевого ограждения каравана (Рис. 3).



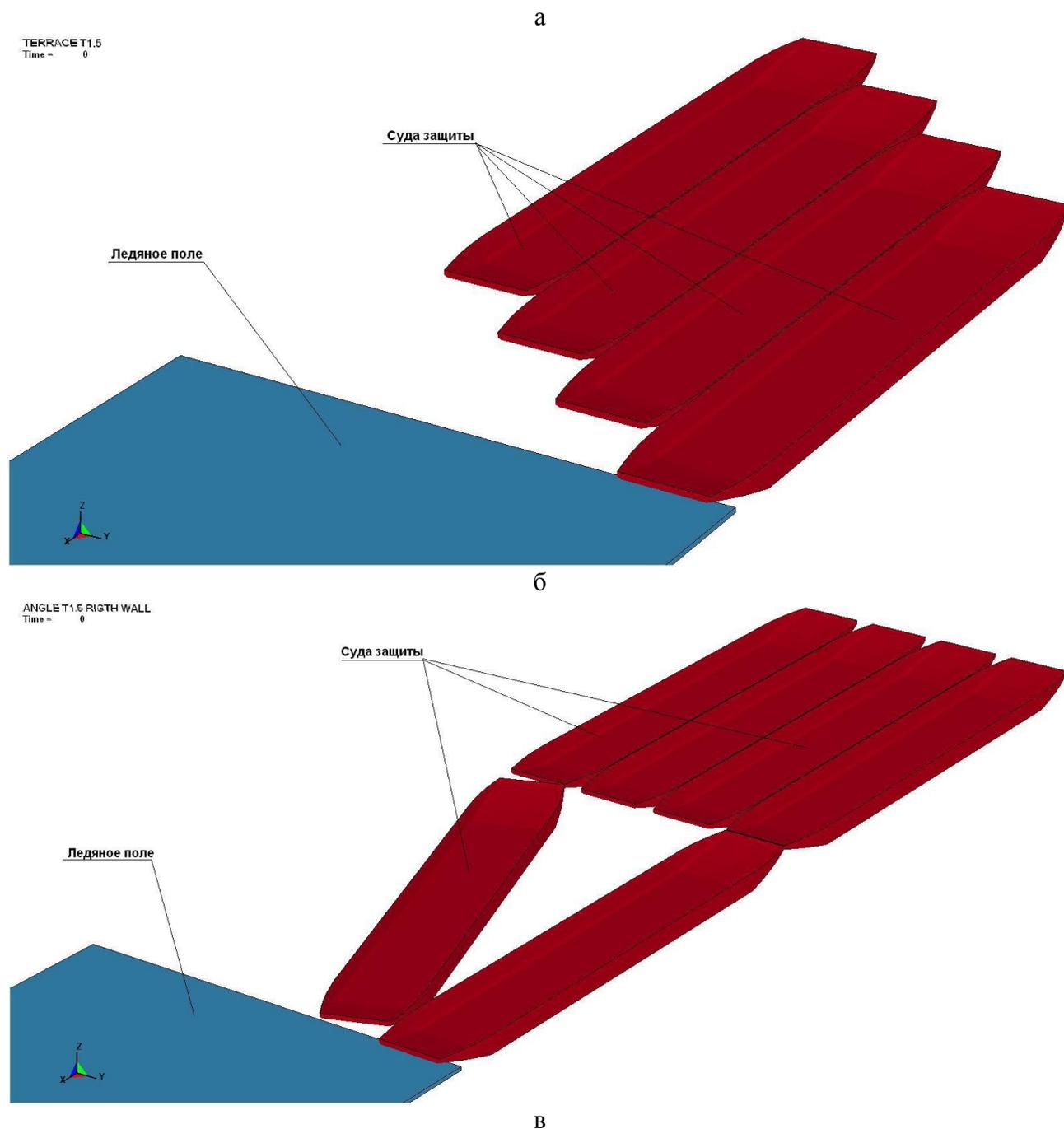


Рис. 3. Расчётные варианты схем защиты каравана
(а – схема защиты «фронт»; б – схема защиты «уступ»; в – схема защиты «клин»)

Теоретические основы и приёмы САЕ-симулирования для решения экспертных ледовых проблем, связанных с флотом, описаны в монографии [5]. В настоящей работе целью моделирования являлась оптимизация схемы защиты каравана по минимуму нагрузок в продольных швартовных канатах при заданном угле их заведения, так как именно они воспринимали преобладающую часть динамических ледовых нагрузок.

Другим критерием оптимизации выступало качественное состояние льда после прохождения защитного ограждения. Поэтому в расчётных схемах также варьировалась осадка судов защиты в пределах 0,5 – 1,5 м. Потребность в этом, в первую очередь, была

обусловлена экспертными предположениями о значимом влиянии осадки на степень раздробленности льдов, формирующуюся после прохождения барж защиты.

Результаты моделирования

Анализ результатов численных экспериментов обращает внимание на значительную временную изменчивость ледовых нагрузок на корпусах судов ледовой защиты (Рис. 4, кривая В).

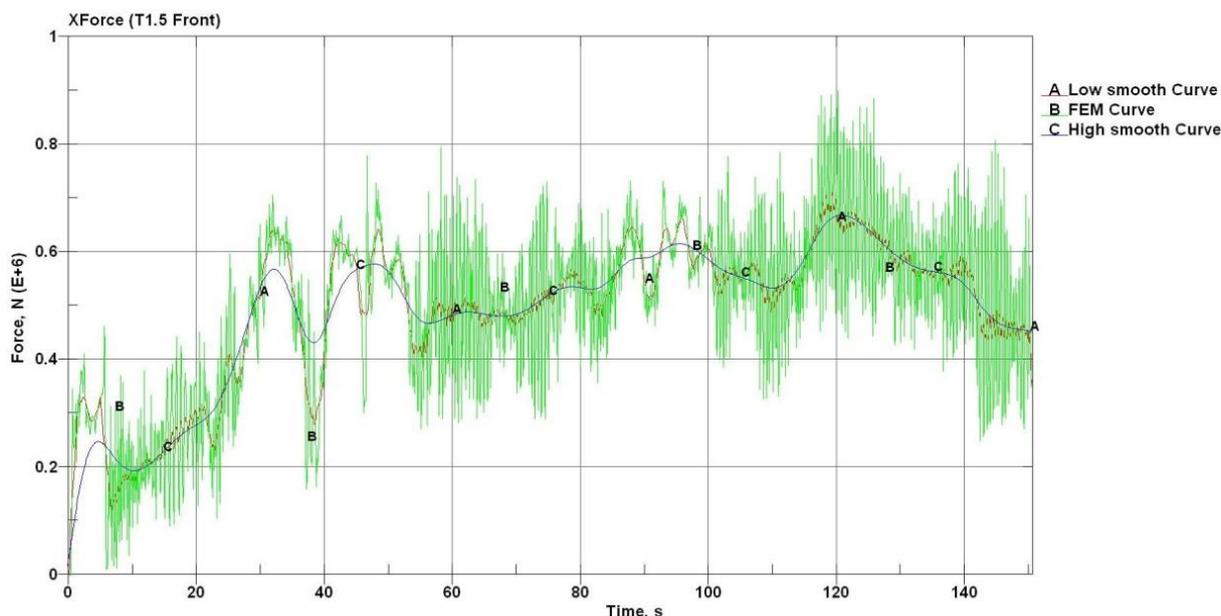


Рис. 4. Пример временной зависимости продольных ледовых нагрузок на судах защиты

Даже сильно сглаженные значения расчётных продольных ледовых усилий, испытываемых баржами защиты в процессе навала ледяной среды, не отличаются монотонностью (Рис. 4, кривая С). Поэтому при подборе продольных швартов необходимо обеспечить запас их прочности с учётом «динамических рывков».

Численный прогноз суммарных нагрузок в швартовах, заведённых с судов защиты под углом 45° к причальной стенке, проиллюстрирован данными рис. 5 и 6. При этом рассмотрены наиболее неблагоприятные ледовые и гидрологические условия: дрейф крупнобитых сильносплочённых льдов толщиной 0,6 м со скоростью 1,0 м/с.

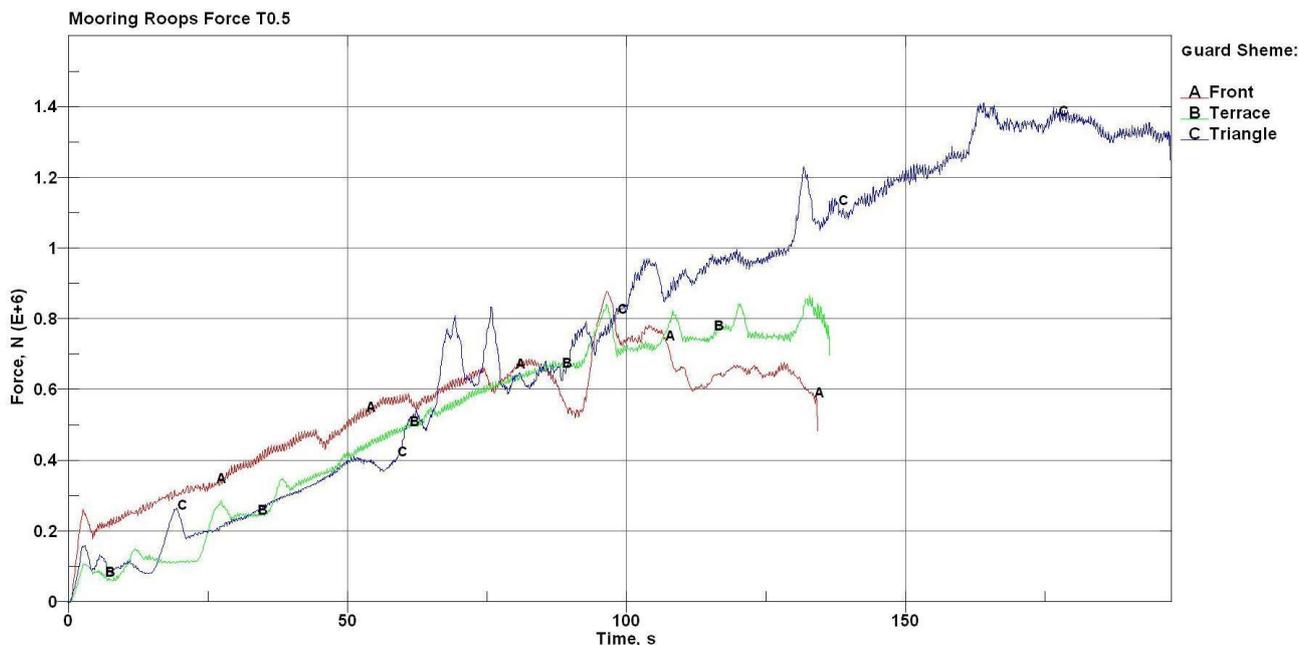


Рис. 5. Временная зависимость суммарных нагрузок в продольных швартовах при осадке судов защиты 0,5 м (А – схема защиты «фронт»; В – схема защиты «уступ»; С – схема защиты «клин»)

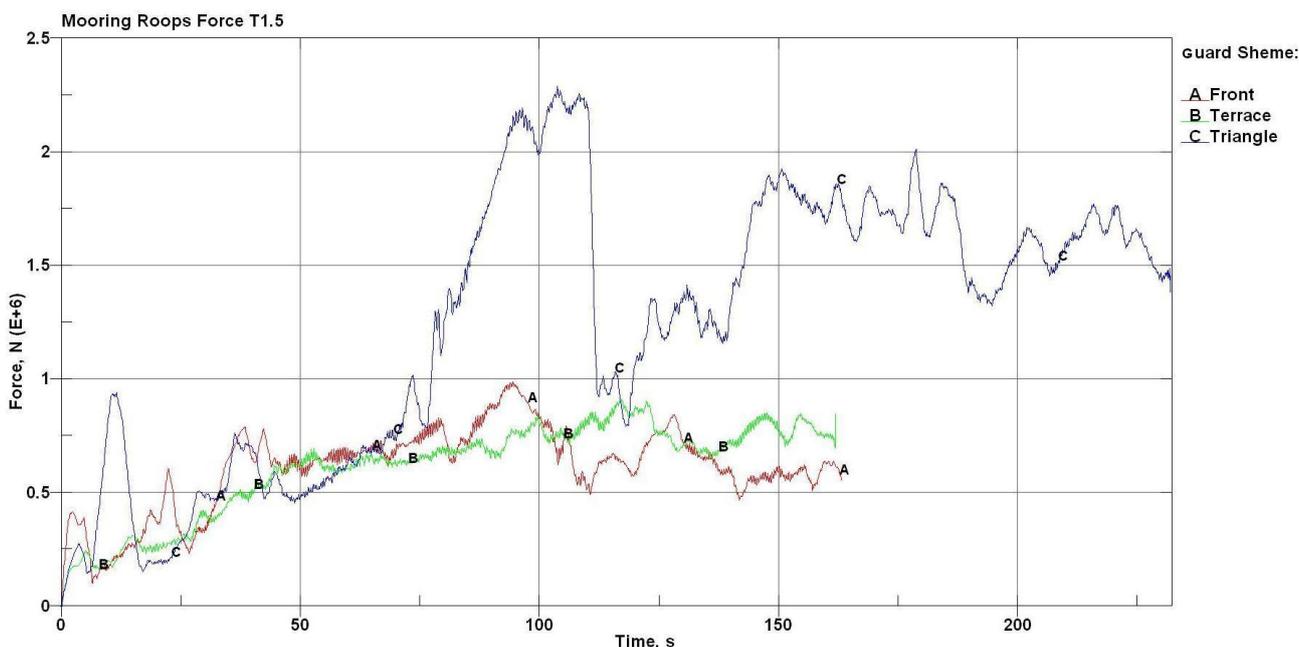


Рис. 6. Временная зависимость суммарных нагрузок в продольных швартовах при осадке судов защиты 1,5 м (А – схема защиты «фронт»; В – схема защиты «уступ»; С – схема защиты «клин»)

Анализ кривых рис. 6 по уровню натяжения швартовных канатов явно отдаёт предпочтение двум вариантам защиты каравана – «уступ» и «фронт». Так по величине удельных нагрузок (общее максимальное усилие, отнесённое к количеству судов защиты) эти схемы дают ощутимый выигрыш по отношению к варианту «клин» (≈ 250 кН/судно против ≈ 370 кН/судно). Кроме того, очевидно, что степень «динамичности» ледовых нагрузок по

схеме защиты «клин» (кривая С, рис. 6) значительно превосходит аналогичные характеристики у вариантов «уступ» и «фронт» (кривые А и В, рис. 6).

Но при осадке барж защиты 0,5 м эти различия практически становятся малозначимыми (Рис. 5). Например, удельные нагрузки колеблются в пределах 210 – 230 кН/судно по всем вариантам защиты при относительно устойчивой скорости их нарастания (≈ 8 кН/с). Тем не менее, с позиций «динамичности» большую стабильность нагрузок обеспечивает схема защиты «уступ» (кривая В, рис. 5).

Следует также отметить незначительный прирост максимальных нагрузок в швартовах (в пределах 5%) с увеличением осадки судов защиты по вариантам «уступ» и «фронт».

Численный эксперимент убедительно подтвердил связь осадки судов ограждения и качественного состояния льда после прохождения им защитного счала (Рис. 7 и 8).

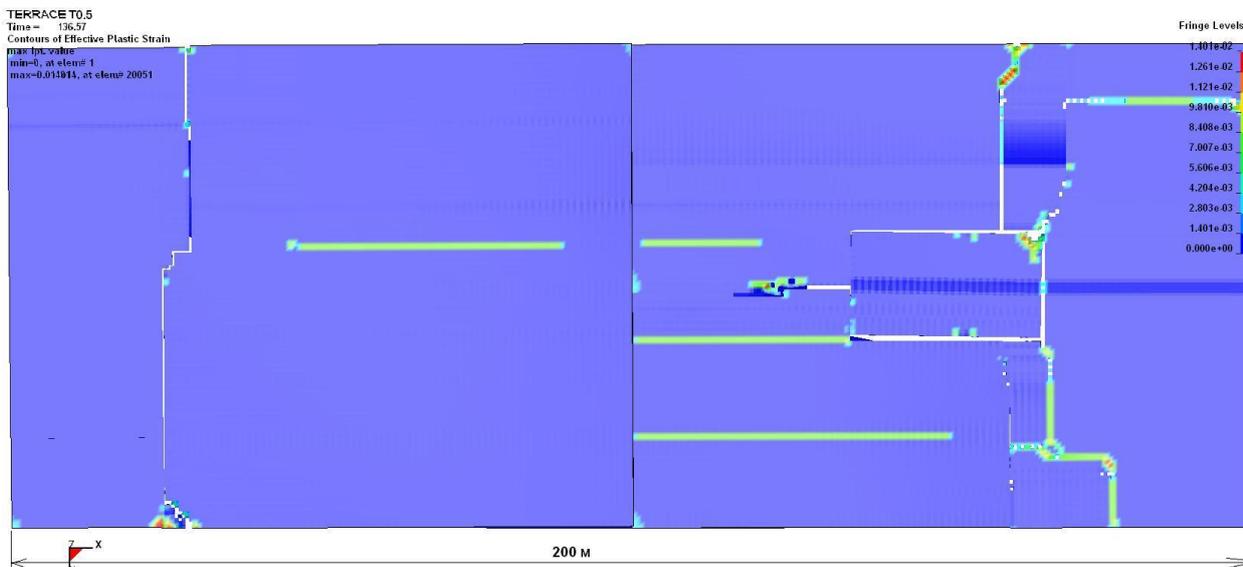


Рис. 7. Качественное состояние льда при осадке судов защиты 0,5 м

Так, например, при осадке в 1,5 м контакт барж защиты, построенных по схеме «уступ», с крупнобитыми сильносплочёнными или сплошными льдами обеспечивает ощутимо большую раздробленность льдов (мелкобитый и тёртый лёд, рис. 8) по отношению к аналогичному параметру при осадке защитного счала в 0,5 м (крупнобитый и мелкобитый лёд, рис. 7). Поэтому с позиций ледовой безопасности нижестоящих судов каравана выбор предопределён в пользу увеличения осадки судов ограждения. Однако необходимо указать на важную качественную особенность характера движения льда под судами защиты при их больших осадках. Она заключается в наличии эффекта «подднищевое» наслоения льдов с его последующим выбросом. При этом в гораздо меньшей степени это нежелательное явление свойственно варианту защиты «уступ», что, по-видимому, обусловлено более сложной схемой разрушения льда.

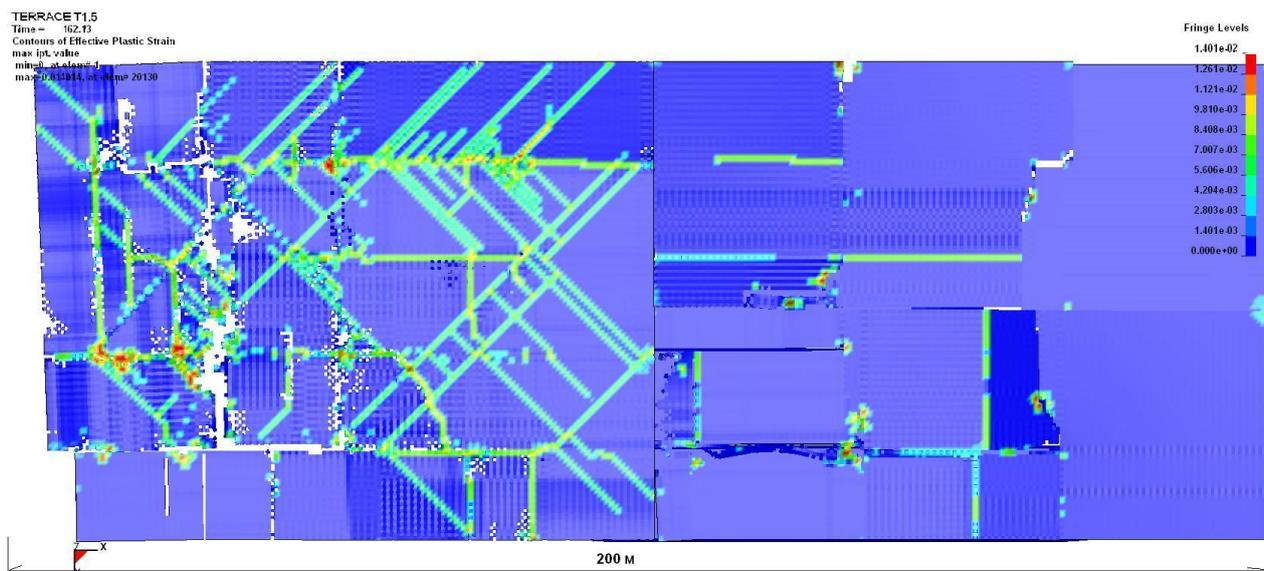


Рис. 8. Качественное состояние льда при осадке судов защиты 1,5 м

С учётом отмеченного судовладельцу была предложена к использованию схема защитного построения «уступ» при осадке судов в пределах 1,3 – 1,5 м. Расчётные максимальные нагрузки на швартовы по этому варианту находятся пределах 0,80 – 0,85 МН (Рис. 6). Для удержания счала потребуется 4 стальных швартовных каната диаметром 23 мм, выбранных в соответствии с ГОСТ 2688-80 [2]. С учётом динамического запаса прочности и вероятных форс-мажорных ледовых явлений экспертами рекомендовано их двукратное количество.

Выводы

1. Потребность в численном прогнозе вероятных последствий навала льдов на караван обусловлена неспособностью аналитических методик к описанию динамики развития этого процесса.
2. С учётом количественного и качественного анализа результатов САЕ-моделирования судовладельцу был предложен к использованию вариант защитного построения «уступ» при осадке барж защиты в пределах 1,3 – 1,5 м.
3. При выбранной схеме защиты в качестве продольных швартов рекомендовано применение стальных канатов диаметром 23 мм в количестве 8 линий (с учётом динамического запаса прочности).

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас единой глубоководной системы европейской части России. Том 9, часть 1. Камское и Воткинское водохранилища от посёлка Керчевский до города Чайковский, 2011. – 27 л.
2. ГОСТ 2688-80. Канат двойной свивки типа ЛК-Р конструкции $6 \times 19(1+6+6/6)+10.c.$
3. Железнов С.С., Чуприков В.Г. Определение нагрузок ледового сжатия на корпуса транспортных судов. – Проектирование средств продления навигации. Межвузовский сборник. Горьковский политехнический институт. – Горький, 1986, с.118-127.
4. Инструкция. Требования к транспортным судам, предназначенным для эксплуатации в ледовых условиях и при отрицательных температурах воздуха. РД 212.0148-87. Руководящий документ по стандартизации, группа Т50. Утверждён и введён в действие МРФ РСФСР 27.11.1987 г. – Л.: Транспорт, 1989. – 20 с.
5. Лобанов В.А. Оценки ледовых качеств судов с применением САЕ-систем: монография / В.А. Лобанов. – Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. – 296 с.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1 - 6. Выпуск 9. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области, Башкирская АССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 557 с.
7. Обоснование возможности безопасной стоянки флота в зимний период у стенки городского грузового района порта Пермь. Отчёт по теме. ГИИВТ. Научный рук. – Малиновский В.А. – Горький, 1989. – 45 с.
8. Прочность судов, плавающих во льдах / Ю.Н.Попов, О.В.Фаддеев, Д.Е.Хейсин, А.Я.Яковлев. – Л.: Судостроение, 1967. – 224 с.
9. Рывлин А.Я., Хейсин Д.Е. Испытания судов во льдах. – Л.: Судостроение, 1980. – 208 с., ил. – ИСБН.
10. СНИП 2.06.04-82 Нагрузки от воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые, от судов). – М.: Стройиздат, 1983. – 38 с.

Рецензент: Клементьев Александр Николаевич, профессор, доктор технических наук, Волжская государственная академия водного транспорта.

REFERENCES

1. Atlas edinoj glubokovodnoj sistemy evropejskoj chasti Rossii. Tom 9, chast' 1. Kamskoe i Votkinskoe vodohranilishha ot posjolka Kerchevskij do goroda Chajkovskij, 2011. – 27 l.
2. GOST 2688-80. Kanat dvojnoj svivki tipa LK-R konstrukcii $6 \times 19(1+6+6/6)+1o.s.$
3. Zheleznov S.S., Chuprikov V.G. Opredelenie nagruzok ledovogo szhatija na korpusa transportnyh sudov. – Proektirovanie sredstv prodlenija navigacii. Mezhvuzovskij sbornik. Gor'kovskij politehnicheskij institut. – Gor'kij, 1986, s.118-127.
4. Instrukcija. Trebovanija k transportnym sudam, prednaznachennym dlja jekspluatacii v ledovyh uslovijah i pri otricatel'nyh temperaturah vozduha. RD 212.0148-87. Rukovodjashhij dokument po standartizacii, gruppa T50. Utverzhdjon i vvedjon v dejstvie MRF RSFSR 27.11.1987 g. – L.: Transport, 1989. – 20 s.
5. Lobanov V.A. Ocenki ledovyh kachestv sudov s primeneniem CAE-sistem: monografija / V.A. Lobanov. – N. Novgorod: Izd-vo FBOU VPO «VGAVT», 2013. – 296 s.
6. Nauchno-prikladnoj spravocnik po klimatu SSSR. Serija 3. Mnogoletnie dannye. Chasti 1 - 6. Vypusk 9. Permskaja, Sverdlovskaja, Cheljabinskaja, Kurganskaja oblasti, Bashkirskaja ASSR. – L.: Gidrometeoizdat, 1990. – 557 s.
7. Obosnovanie vozmozhnosti bezopasnoj stojanki flota v zimnij period u stenki gorodskogo gruzovogo rajona porta Perm'. Otchjot po teme. GIIVT. Nauchnyj ruk. – Malinovskij V.A. – Gor'kij, 1989. – 45 s.
8. Prochnost' sudov, plavajushhij vo l'dah / Ju.N.Popov, O.V.Faddeev, D.E.Hejsin, A.Ja.Jakovlev. – L.: Sudostroenie, 1967. – 224 s.
9. Ryvlin A.Ja., Hejsin D.E. Ispytanija sudov vo l'dah. – L.: Sudostroenie, 1980. – 208 s., il. – ISBN.
10. SNiP 2.06.04-82 Nagruzki ot vozdejstvija na gidrotehnicheskie sooruzhenija (volnovye, ledovye, ot sudov). – M.: Strojizdat, 1983. – 38 s.
11. Hallquist J.O. LS-DYNA 950. Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation. LSTC Report 1018. Rev. 2. USA, 2001. – 498 p.