

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ СУДОВ И ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА

*мл. науч. сотр. П.В. МАКСИМОВА, ст. науч. сотр. Н.А. КРУПИНА,
канд. тех. наук В.А. ЛИХОМАНОВ, ст. науч. сотр. А.В. ЧЕРНОВ,
вед. инженер И.А. СВИСТУНОВ*

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург; e-mail: olks@aari.ru

Рассмотрены основные аспекты проектирования систем мониторинга ледовых нагрузок, их назначение и состав измерительной части. Приведено описание систем мониторинга ледовых нагрузок, эксплуатирующихся на мосту Конфедерации (Канада) и платформе Моликпак (Россия). В качестве примера разработки системы мониторинга ледовых нагрузок для судна ледового плавания представлена система для научно-экспедиционного судна «Академик Трёшников», спроектированная по техническому заданию отдела ледовых качеств судов ААНИИ.

Ключевые слова: система мониторинга, инженерные сооружения, ледовые нагрузки, безопасная эксплуатация в ледовых условиях.

В 1995 г. по заказу ЦКБ МТ «Рубин» в ААНИИ в отделе ледовых качеств судов при участии сотрудников отдела ледового режима и прогнозов была разработана концепция системы мониторинга внешних нагрузок на платформу Приразломная и предварительный проект такой системы с описанием ее структуры. Система предназначалась для фиксирования внешних природных факторов, влияющих на эффективность и безопасность эксплуатации данного инженерного сооружения. Под внешними факторами понимаются различные метеорологические явления: дождь, снег, обледенение, сильный ветер, — затрудняющие или исключающие нормальную работу платформы. Однако наиболее опасным фактором внешних воздействий являются ледовые нагрузки, в результате которых сооружение не только может получить локальные повреждения основных несущих конструкций, но может возникнуть опасность для существования сооружения в целом. По мнению авторов, в состав комплексной автоматизированной системы должен входить блок принятия решений, сигнализирующий операторам о необходимости принятия мер для повышения безопасности по эксплуатации сооружения. Система мониторинга ледовых нагрузок (СМЛН) на элементы конструкции любого инженерного сооружения, работающего во льдах, должна являться основной неотъемлемой частью системы мониторинга состояния объекта.

Необходимо отметить, что к этому времени в ААНИИ уже были опробованы варианты систем мониторинга ледовых нагрузок на корпуса судов, предупреждающих о возникновении в связях корпуса уровня напряжений, приближающегося к опасным значениям. В последствии эти разработки были учтены и реализованы в системах

мониторинга состояния объекта на судах, в частности на танкерах американской компании Exxon Mobil, работающих в рамках проекта Сахалин-1. Аналогичная система, спроектированная по техническому заданию, разработанному в отделе ледовых качеств судов, функционирует на новом научно-экспедиционном судне «Академик Трёшников».

В состав упомянутой системы, разработанной в 1995 г. для платформы Приразломная, входили приборы и оборудование, предупреждающие оператора о возможных изменениях и ухудшении метеоусловий, изменении направления локального дрейфа льда. Получаемая оператором информация указывала на необходимость применения приемов управления ледовой обстановкой. В настоящей статье основное внимание уделено описанию структуры системы мониторинга ледовых нагрузок как основной составляющей системы мониторинга состояния объекта.

Целью применения систем мониторинга ледовых нагрузок является значительное снижение риска неблагоприятных событий от воздействия льда. Система должна состоять из аппаратной части, основная задача которой — измерение физических величин, и программной части, которая предназначена для обработки значений сигналов и генерации рекомендаций экипажу или операторам СМЛН в случае превышения физическими величинами некоторых пороговых значений.

СМЛН проектируется с учетом типа объекта, особенностей его конструкции и возможных сценариев взаимодействия с ледяными образованиями. В любом случае, при контакте с ледяным образованием возникает как глобальная, так и локальная ледовая нагрузка. Соответственно, СМЛН должна иметь две относительно независимые подсистемы контроля:

- подсистема мониторинга локальных ледовых нагрузок — мониторинг напряженно-деформированного состояния перекрытий ледового пояса. Эта подсистема по косвенным измеряемым параметрам (деформациям, напряжениям, прогибам) оценивает степень близости состояния конструкции к недопустимому уровню;

- подсистема мониторинга глобальных ледовых нагрузок для оценки действующих на объект со стороны ледяного покрова общих вертикальных и горизонтальных усилий и сравнения их с критическими значениями.

Подсистема мониторинга локальных ледовых нагрузок предназначена для оценки параметров нагрузок на ледовый пояс объекта при воздействии льда и сравнения их с допустимым уровнем локального нагружения. При разработке такой системы следует учитывать особенности конструкции ледового пояса. При наличии технической возможности датчики устанавливаются непосредственно на конструктивные элементы ледового пояса.

Подсистема мониторинга глобальных ледовых нагрузок предназначена для определения горизонтальной силы, действующей на объект, а также опрокидывающего и скручивающего моментов, вызванных этой силой. Непосредственное измерение сил и моментов, как правило, невозможно. Поэтому необходимо применять методы оценки сил и моментов через показания датчиков, наиболее чувствительных к компонентам глобальной нагрузки. Номенклатура измерителей определяется в зависимости от типа объекта. Например, для платформ типа TLP (tension-leg platform) измерителями глобальной нагрузки будут, в первую очередь, датчики деформаций, установленные в гибких связях. Применительно к судам для определения глобальных нагрузок датчики устанавливаются в миделевой части корпуса на палубе, обшивке днища, вертикальном киле.

В дополнение к измерителям в систему мониторинга ледовых нагрузок должен входить блок обработки сигналов датчиков, способный выполнять следующие задачи:

- оценивать ледовую нагрузку по показаниям датчиков системы с учетом дополнительных эксплуатационных и конструктивных факторов;
- сравнивать оцененную нагрузку с допустимыми параметрами нагружения;
- проводить статистическую обработку в режиме реального времени оцененных параметров ледовой нагрузки, осуществлять краткосрочное прогнозирование развития ситуации и сравнивать прогнозные параметры нагрузки с допустимыми.

В настоящее время существует большое разнообразие технических средств, которые могут использоваться в СМЛН. Выбор датчиков, их характеристик и фирм-производителей должен выполняться при разработке системы мониторинга конкретного объекта.

В составе большинства СМЛН есть группа датчиков для измерения деформаций конструктивных элементов. Поэтому неотъемлемой частью измерительных систем при оценке ледовой нагрузки являются тензометрические датчики. Тензометрический датчик — датчик, преобразующий величину деформации в удобный для измерения сигнал (обычно электрический). Существует множество видов тензометрических датчиков: тензорезистивные, оптико-поляризационные, пьезорезистивные, волоконно-оптические и др.

Среди электронных тензодатчиков наибольшее распространение получили тензорезистивные датчики. Обычно они представляют собой специальную упругую конструкцию с закрепленным на ней тензорезистором и другими вспомогательными деталями. После калибровки по изменению сопротивления тензорезистора можно вычислить деформации, которые будут пропорциональны силе, приложенной к конструкции. На основе тензорезисторных датчиков могут быть созданы измерительные панели для определения контактных ледовых давлений.

Другим видом тензодатчиков, используемых для мониторинга деформаций протяженных конструкций, являются волоконно-оптические датчики на основе решетки Брегга (FBG). Их длина может составлять несколько метров. Такие датчики подключаются к станции сбора данных по волоконно-оптической линии, длина которой может достигать сотен метров. Физический принцип функционирования датчика обеспечивает его надежную работу в течение длительного времени. Такие тензодатчики могут использоваться для измерения как локальных, так и глобальных нагрузок. Например, группа волоконно-оптических датчиков, установленных в диаметральной плоскости судна, даст информацию об общем изгибе под воздействием внешних сил.

Еще одной группой датчиков, используемых в системах мониторинга ледовых нагрузок, являются инклинометры. Как правило, они представляют собой многоосевые акселерометры или гироскопы. Такие датчики позволяют определить отклонения сооружения как в целом от вертикали или от заданного положения, так и контролировать взаимное расположение конструктивных элементов друг относительно друга. С помощью акселерометров можно измерять кинематические параметры движения судна при взаимодействии с ледяными образованиями и определять с помощью полученных данных глобальную ледовую нагрузку.

Перечень датчиков, которые могут использоваться в СМЛН, не ограничивается перечисленными выше.

СМЛН могут устанавливаться на различные объекты: суда ледового плавания, добывающие и буровые платформы, терминалы отгрузки, мосты и маяки, эксплуа-



Рис. 1. Мост Конфедерации.

тирующиеся в ледовых условиях. На данный момент наиболее известные крупные сооружения, где используются СМЛН, — морская ледостойкая стационарная платформа Приразломная (Россия), морская нефтедобывающая платформа Моликпак (Россия), мост Конфедерации (Канада).

Мост Конфедерации (рис. 1) соединяет между собой остров Принца Эдуарда и провинцию Нью-Брансуик, расположенную на материковой части Канады. Длина моста составляет 12,9 км, что делает его самым длинным мостом в мире, эксплуатирующимся в ледовых условиях.

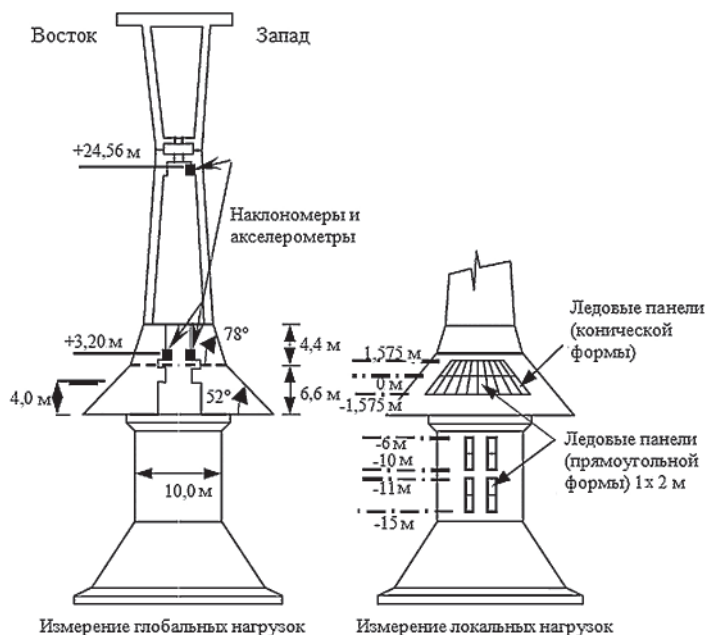


Рис. 2. Схема оборудования опоры моста Конфедерации для измерения ледовых нагрузок.

Для исследования ледовых нагрузок, действующих на мост Конфедерации, была оборудована секция из двух опор. Глобальные ледовые нагрузки определяются путем измерения реакций опор на взаимодействие со льдом с помощью чувствительных двусосных наклономеров, установленных в трех местах на стволах опор. Для обеспечения наилучшего анализа динамических реакций установлены высокочувствительные акселерометры, измеряющие поперечные ускорения.

Для измерения локальных ледовых нагрузок на опоры смонтированы ледовые панели, которые располагаются на коническом ледовом щите, а также на стволе опоры под щитом. Нижние панели предназначены для измерения нагрузок от килей торосов, верхние — для всех остальных ледяных образований. Схема оборудования опоры моста для измерения ледовых нагрузок представлена на рис. 2 (Brown, 2001).

Помимо перечисленного выше оборудования в систему мониторинга входят:

- два гидролокатора, установленных на дне (40 м) вплотную к одной из опор и направленных вверх для измерения подводного профиля ледяных образований;

- акустический доплеровский измеритель течения, установленный рядом с одним из гидролокаторов, для обеспечения сопоставления данных по толщине льда и скорости дрейфа;

- четыре видеокамеры для регистрации ледовых условий: три видеокамеры установлены для контроля кинематики льда, взаимодействующего с опорами, одна видеокамера используется для мониторинга ледовых условий в проливе.

Платформа Моликпак (рис. 3) была построена в 1980 г. как буровая для использования в море Бофорта у побережья Канады. В 1998 г. она была модифицирована как добычная и перетранспортирована в Охотское море, к острову Сахалин на Пильтун-Астохское месторождение. В Охотском море наблюдаются крайне тяжелые ледовые условия, что потребовало установки СМЛН, входящей в состав системы мониторинга состояния объекта, для обеспечения безопасной эксплуатации сооружения. Номенклатура измерителей, установленных на платформу, приведена в таблице 1.

Ледовые нагрузки, действующие на платформу, измеряются с помощью ледовых панелей и тензометрических датчиков. Ледовые измерительные панели установлены



Рис. 3. Платформа Моликпак.

Измерительная аппаратура платформы Моликпак

Тип датчика	Расположение	Количество	Назначение
Ледовые панели	Северная сторона, переборки	18	Ледовая нагрузка (глобальная) и давление
Волновые панели	Переборки	13	Волновая нагрузка и давление
Тензометрические датчики	Ледовый пояс	50	Деформации стальных конструкций и глобальные нагрузки
	Главные переборки	16	
	Грунтовая юбка	8	
Экстензометры	Кессон – палуба	8	Деформации кессона
Акселерометры	Трехосные		Наклонение и динамическая реакция
	Верхняя палуба кессона	2	
	Двухосные		
	Верхняя палуба кессона, верхняя часть грунтового заполнения	8	
	Основание кессона	4	
	Одноосные		
	На уровне палубы с восточной стороны	1	
Датчики давления	Основание	12	Контактное давления грунта
	Грунтовая юбка	14	
Пьезодатчики	Основание	12	Поровое давление воды
	Грунтовая юбка	8	
	Грунтовое заполнение и профили основания	33	
Инclinометр	Грунтовое заполнение и профили основания	10	Угловые деформации
Осадка	Внешние уровни осадки	8	Уровень воды
Уровень балласта	Балластные танки	12	Уровень балласта в танке

как три отдельные группы на северной стенке платформы в местах, где ожидается наиболее частое взаимодействие с ледяными образованиями с учетом преобладающего направления дрейфа льда с севера на юг. Данные, полученные от ледовых панелей, имеют существенное значение, так как они обеспечивают прямое измерение ледовых нагрузок на северную стенку платформы Моликпак, что может быть использовано для вычисления ледовых нагрузок на другие стенки кессона. Тензометрические датчики, которые измеряют напряжения стальных конструкций, установлены на главных переборках платформы таким образом, что позволяют измерять локальные ледовые нагрузки на все четыре стенки платформы, а также глобальные ледовые нагрузки на все сооружение.

Стоит отметить, что некоторые из датчиков были установлены и до сих пор функционируют еще с момента эксплуатации платформы в море Бофорта, в то время как другие были установлены специально для работы платформы в Охотском море (Weiss, Wright, Rogers, 2001).

Для получения полной картины о ледовых нагрузках, действующих на платформу, помимо записи измеряемых параметров, выполняется наблюдение за ледовой обстановкой и мониторинг взаимодействия сооружения со льдом:



Рис. 4. НЭС «Академик Трёшников».

– фиксация наблюдателями с борта информации о параметрах ледяного покрова (сплоченность, размеры льдин, толщина, наличие торосов), скорости и направлении дрейфа льда;

– информация о толщине и перемещении льда, полученная с помощью гидролокаторов, размещенных по периметру платформы;

– фото- и видеозаписи ледовой обстановки, взаимодействия льда с платформой, зоны итерации сооружения со льдом.

Использование СМЛН на стационарных сооружениях имеет большое значение, так как подобная система дает возможность накапливать данные о реакциях конструкции при взаимодействии с различными ледяными образованиями, что позволяет вносить предложения на проектирование новых сооружений для эксплуатации в подобных ледовых условиях.

Использование систем мониторинга ледовых нагрузок на судах ледового плавания не менее важно, чем на стационарных сооружениях. Несмотря на то, что суда могут двигаться избирательно, находя наиболее легкие ледовые условия, ледовые повреждения корпуса появляются достаточно часто. В общем случае СМЛН, установленная на судне, выполняет две основные функции: оперативную и научную. Оперативная функция заключается в том, что на основании текущих показаний датчиков системы мониторинга судоводитель может выбрать оптимальный скоростной режим движения судна в данных ледовых условиях. Научная функция — это сбор и систематизация данных о ледовых нагрузках, действующих на корпус судна в различных ледовых условиях и при различных режимах движения.

В качестве примера разработки и использования СМЛН для судна ледового плавания можно рассмотреть систему для научно-экспедиционного судна «Академик Трёшников» (рис. 4).

СМЛН НЭС «Академик Трёшников» предназначена для повышения безопасности эксплуатации судна в ледовый период навигации, а также с целью исследования ледовых нагрузок при взаимодействии судна со льдом. Техническое задание на проектирование системы разработано в отделе ледовых качеств судов на основе

опыта тензометрирования корпусов судов ледового плавания, берущего свое начало в ААНИИ еще с 1960-х годов. Работа включала обоснованный анализ мест установки датчиков, согласование типов задающих элементов измерительных схем, участие в разработке программного обеспечения, согласование рабочих чертежей мест установки датчиков и их монтажа. В соответствии с техническим заданием, компанией «ТТС» (Технологии точных систем) была спроектирована штатная СМЛН «ТТС-Л1» и смонтирована на судне. Проектирование системы и ее монтаж на судне происходили в тесном контакте сотрудников отдела с проектантами.

Архитектура системы мониторинга представляет собой распределенную сеть измерительных станций, которые собирают информацию с датчиков различных типов, размещенных на судне. В состав измерительного комплекса входят:

- тензометрическая система для регистрации деформаций корпуса судна от изгиба в продольной и вертикальной плоскости;
- шестикомпонентный датчик (ШКМ), имеющий в своем составе три акселерометра и три гироскопа, оси чувствительности которых ориентированы параллельно продольной, поперечной и вертикальной осям судна, что позволяет определять угловые скорости и линейные ускорения корпуса судна.
- оптические датчики, установленные на гребных валах для измерения крутящего момента, частоты вращения и мощности на валах.

Такой состав измерительной части системы позволяет получить полную информацию как о локальных, так и о глобальных нагрузках, действующих на судно.

Основным типом измеряющих элементов тензометрической системы является датчик деформации типа «Разрезная балка», смонтированный на специальном образце подготовленной установочной площадке. Диапазон измерений датчика (± 25 мкм) перекрывает всю зону упругих деформаций вплоть до предела текучести. Системой предусмотрено 107 установочных мест для размещения тензометрических датчиков. На данный момент в системе задействовано около 40 датчиков:

- группа датчиков в носовой части для изучения локальных ледовых нагрузок, возникающих вследствие ударного воздействия льда при движении судна передним ходом;
- группа датчиков в кормовой части для определения параметров локального воздействия на корпус и винторулевой комплекс при движении судна задним ходом;
- группа датчиков в миделевой части для определения параметров локальных воздействий, возникающих в результате ледовых сжатий, а также для определения деформаций при общем продольном изгибе.

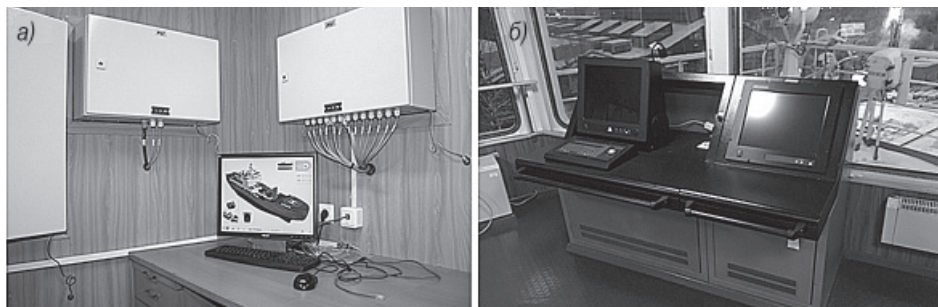


Рис. 5. Клиентские терминалы для доступа к СМЛН: *а* — пост мониторинга состояния судна, *б* — ходовой мостик.

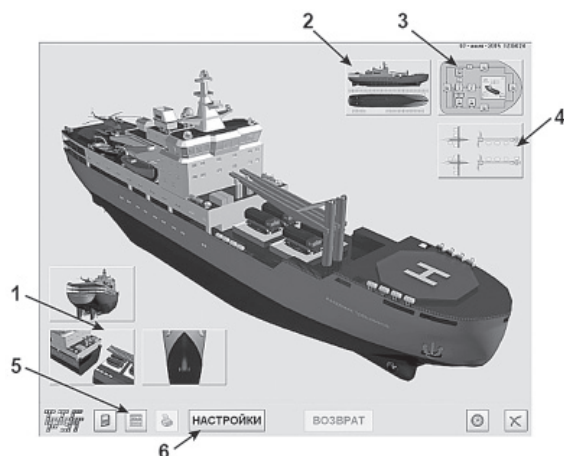


Рис. 6. Главный экран программы для управления СМЛН: 1 — экраны «Корма», «Мидель», «Нос»; 2 — экран «Проекция», 3 — экран «Конфигурация», 4 — экран «Винторулевая группа», 5 — экран «Тенденции», 6 — экран «Настройки».

Для доступа к СМЛН на судне установлено два клиентских терминала. Один находится в посту мониторинга состояния судна (рис. 5а), другой — на ходовом мостике (рис. 5б). Пост мониторинга состояния судна предусматривает рабочее место оператора и рабочее место исследователя. Клиентский терминал, установленный в посту мониторинга, предназначен для доступа к конфигурированию и настройке СМЛН, а также для доступа к архиву записанных данных. Клиентский терминал, установленный на ходовом мостике, представляет собой пульт мониторинга СМЛН, построенный на базе морского сенсорного монитора, который предназначен для выдачи судоводителю информации, поступающей со всех датчиков, без доступа к конфигурированию и настройке СМЛН.

В каждом терминале установлено одинаковое программное обеспечение. Главный экран программы для управления СМЛН представлен на рис. 6.

На экранах «Корма», «Мидель», «Нос» на изометрической проекции корпуса судна отображаются установленные датчики деформации и подсвечиваются цветными точками в зависимости от критичности деформации. Экран «Винторулевая группа» отображает параметры, измеряемые оптическими датчиками, установленными на валах, — крутящий момент, частоту вращения и мощность. Информацию о точном месте расположения всех датчиков деформации и значение нагрузки в процентах для каждого из них можно посмотреть с помощью экрана «Проекция», который представляет собой трехмерные проекции всего корпуса судна. Для более подробного представления информации о деформациях имеется возможность отображать измерительные каналы в реальном времени в графическом виде на экране «Тенденции», а также просмотреть данные, зарегистрированные в различные промежутки времени, но не более 24 часов назад. С помощью экрана «Настройки» осуществляется настройка датчиков и установка уровня допустимого значения нагрузки.

СМЛН может осуществлять непрерывную запись сигналов, поступающих с датчиков, фрагментируя ее на отдельные файлы с задаваемой продолжительностью. В 2014 г. в ОЛКС был разработан и зарегистрирован программный комплекс «Про-

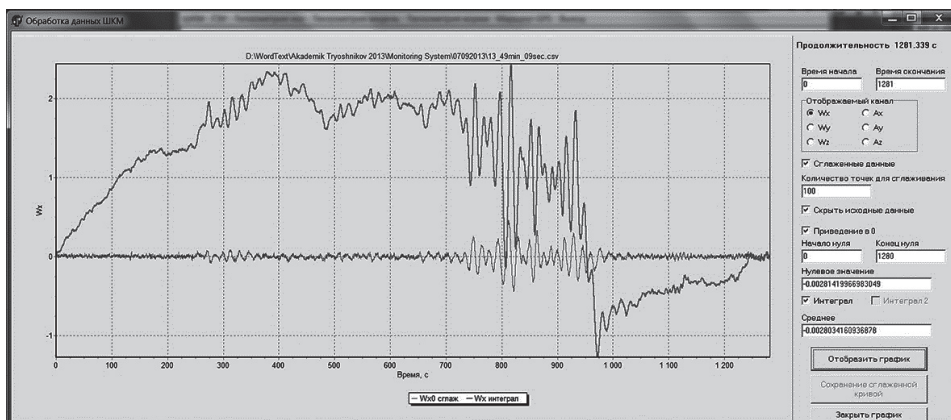


Рис. 7. Программный комплекс «Программа автоматизированной обработки данных измерений штатной судовой системы мониторинга ледовых нагрузок НЭС «Академик Трёшников» — оценка угла крена судна с помощью данных ШКМ».

грамма автоматизированной обработки данных измерений штатной судовой системы мониторинга ледовых нагрузок НЭС «Академик Трёшников»). На рис. 7 показан один из экранов данного программного комплекса, а именно анализ угла крена судна по данным ШКМ.

Первый опыт эксплуатации СМЛН был получен во время испытаний ледовых качеств НЭС «Академик Трёшников» в Антарктиде в феврале 2013 г. С помощью СМЛН записывались необходимые параметры пропульсивного комплекса и значения максимальных напряжений в корпусных конструкциях, на основании которых затем были сделаны выводы о ледовой прочности и ледовой ходкости судна.

Далее эксплуатация СМЛН была продолжена в 2015 г. в течение двух арктических рейсов НЭС к архипелагу Северная Земля. Во время первого рейса наблюдалась тяжелая ледовая обстановка, в результате чего судно заклинивалось в условиях сильных ледовых сжатий, а также часто возникала необходимость работы набегами. За два рейса было получено более 1000 ч записей СМЛН в различных ледовых условиях. Предел текучести корпусной стали для НЭС «Академик Трёшников» составляет 235 МПа. Данные, полученные с помощью СМЛН, показали, что прочность корпуса НЭС достаточна для безопасной навигации в таких ледовых условиях, так как напряжения в конструкции корпуса за время рейсов не превысили 30 % от предела текучести стали. На рис. 8 представлен пример записи одного события, полученного во время форсирования торосов вблизи острова Голомянный архипелага Северная Земля в однолетнем льду с включениями многолетнего толщиной около 2 м. На графике представлены обработанные и переведенные в размерные величины записи реакций тензометрических датчиков в носовой части судна.

Таким образом, штатная СМЛН НЭС «Академик Трёшников» выполняет следующие практические задачи:

- является инструментом для обоснованного выбора судоводителем оптимального режима движения судна в зависимости от ледовых условий;
- позволяет проводить мониторинг состояния корпуса судна во время движения в ледовых условиях;
- накапливает данные об эксплуатационных нагрузках на корпус судна.

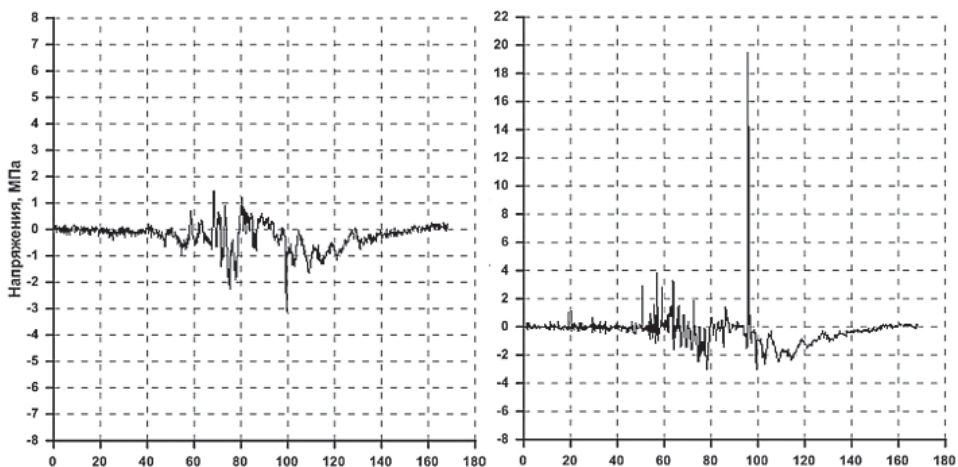


Рис. 8. Пример реакции тензометрических датчиков в носовой части судна на расстоянии 6300 мм (справа) и 7800 мм (слева) от основной плоскости.

Кроме этого, СМЛН выполняет и научные задачи, так как данная система делает НЭС «Академик Трёшников» уникальным инструментом, с помощью которого можно проводить эксперименты по определению ледовых нагрузок на судно без установки дополнительного оборудования.

На данный момент ведутся работы по расширению СМЛН, дополнению ее новыми датчиками, доработке программного обеспечения. Планируется разработка ледового паспорта для НЭС, в рамках которого будет получена конечно-элементная модель судна, с помощью которой будут восстановлены параметры ледовых нагрузок по полученным данным СМЛН.

Система мониторинга ледовых нагрузок является неотъемлемой частью системы мониторинга состояния объекта в целом. Основной задачей СМЛН является обеспечение безопасной эксплуатации инженерного сооружения или судна в ледовых условиях. СМЛН позволяет своевременно реагировать на негативные изменения и оперативно принимать необходимые меры, чтобы существенно снизить риск неблагоприятных событий от воздействия льда.

Получаемые с помощью СМЛН данные могут использоваться не только для практических задач, но и для развития теории взаимодействия судов и сооружений со льдом: исследования деформации и разрушения ледяного поля в условиях натурного эксперимента; исследования фактических реакций корпусных конструкций на ледовые нагрузки; уточнения теоретических и полуэмпирических методов оценки ледовой нагрузки; расширения диапазона исследований в натуральных условиях данного направления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Brown T.G.* Four years of ice force observations on the confederation bridge // Proc. International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC). Ottawa, Canada, 2001. Vol. 1. P. 285–298.
- Weiss R.T., Wright B., Rogers B.* In-ice performance of the Molikpaq off Sakhalin island // Proc. International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC). Ottawa, Canada, 2001. Vol. 1. P. 211–222.

ICE LOADS MONITORING SYSTEMS FOR SHIPS AND ENGINEERING STRUCTURES.

ON THE PROBLEM OF CREATING AN OBJECT STATE MONITORING SYSTEM

The main design aspects, purposes and composition of the measuring part of ice loads monitoring systems are considered in this article. The description of ice loads monitoring systems, which are operating at the Confederation bridge (Canada) and at the platform Molikpaq (Russia) is given. As an example of design of an ice loads monitoring system for ships operating in ice is presented the system for the research vessel «Akademik Tryoshnikov» designed according to technical requirement of the department of ships performance in ice, AARI.

Keywords: monitoring system, engineering structures, ice loads, safe operation in ice conditions.