

С.В.ФРОЛОВ<sup>1</sup>, А.Э.КЛЕЙН<sup>1</sup>, В.Ю.ТРЕТЬЯКОВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

<sup>2</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ В 2004–2005 ГГ.

*В статье приводится описание и результаты производственных испытаний цифрового телевизионного комплекса, разработанного в ААНИИ для измерения толщины льда с борта судна. Представлено описание основных функций программного обеспечения для оперативной обработки результатов измерений. Приводится краткий анализ данных измерений, полученных в экспедиции «Арктика-2005». Сделан вывод о перспективности использования комплекса для получения уникальных представительных данных о распределении толщины льда в Арктическом бассейне и замерзающих морях.*

Целью внедрения цифрового телевизионного комплекса наблюдения и регистрации (далее ТК) в практику специальных судовых ледовых наблюдений является получение достоверного, статистически значимого массива данных наблюдений за отдельными характеристиками ледяного покрова. На первом этапе такой характеристикой является толщина льда на пути плавания судна.

Основная задача, решаемая с помощью ТК, – автоматизация части трудоемких наблюдений, их унификация и исключение влияния субъективных факторов на объем и качество ледовых наблюдений. ТК представляет собой стандартную систему видеоконтроля, адаптированную специалистами ААНИИ для специфических условий судовых ледовых наблюдений.

ТК был впервые смонтирован на борту судна и подготовлен к работе в нестандартных условиях в 21-м рейсе НЭС «Академик Федоров». Для 23 рейса НЭС «Академик Федоров» (экспедиция «Арктика-2005») ТК был смонтирован на борту судна с некоторыми изменениями по компоновке и размещению.

Полученные при работе телевизионного комплекса видеоматериалы (файлы формата \*.jpg, \*.bmp) обрабатываются с помощью прикладного программного обеспечения, разработанного специалистами ААНИИ. ПО для автоматизированной компьютерной обработки изображений ледяного покрова под ледемерной рейкой (определения толщины льда по «выворотам» льдин, рис. 1) создано в интегрированной среде приложений Microsoft Visual Basic 6.0 и представляет собой исполняемый exe-файл.

Модифицированное для 23 рейса НЭС «Академик Федоров» прикладное ПО позволило в оперативном режиме, во время рейса, выполнить обработку и занесение полученных результатов в базу данных, причем структура базы позволяет сопрягать ее с базой данных специальных ледовых наблюдений. В базе предусмотрен также оперативный контроль достоверности полученных значений, для чего каждая запись снабжена гиперссылкой на исходный снимок, по которому измерялась толщина льда и белого слоя (фирн, снег) в верхней части льда.



Рис. 1. Пример снимка ледомерной рейки, пригодного для обработки

Обработка материалов наблюдений за толщиной льда разбита на несколько этапов.

На первом из буфера программы «Тайфун» создаются архивные файлы записи работы телекамеры по 2-часовым промежуткам (12 файлов за сутки при отсутствии стоянок судна). Далее оператор просматривает архивный файл (скорость просмотра можно варьировать в зависимости от ледовой обстановки), выбирает и записывает в формате jpeg снимки «выворотов», отвечающие некоторым критериям. Это, в первую очередь, угол отклонения льдины (не более  $15\text{--}20^\circ$ ) от вертикали, возможность идентификации верхней и нижней границ льдины, четкость снимка (в летний период велика повторяемость туманов, при которых обогрев стекла бокса камеры не эффективен – снимок получается смазанным, не резким). Затем отобранные снимки обрабатываются с помощью прикладного ПО, и результаты обработки автоматически заносятся в базу данных по толщине.

В 23 рейсе НЭС «Академик Федоров» в период с 20 июля по 20 сентября 2005 г. получен значительный по объему и более достоверный по качеству ряд данных наблюдений за толщиной льда с помощью ТК – 10579 снимков (для сравнения – 2112 снимков за такой же по продолжительности период в 2004 г.).

Ввиду ограниченного объема настоящего раздела, анализ распределения толщины льда был реализован для трех определяющих участков маршрута плавания:

- участок № 1 – движение судна в районе проведения геофизических и геологических работ в период 28 июля – 14 августа; общая протяженность участка – 1512 миль;

- участок № 2 – автономное плавание НЭС «Академик Федоров» в сплоченных льдах Арктического бассейна в период 22–29 августа; общая протяженность участка – 766 миль;

- участок № 3 – движение НЭС «Академик Федоров» под проводкой а/л «Арктика» в период 1–22 сентября; общая протяженность участка – 1561 миль.

Положение выделенных участков маршрута плавания показано на рис. 2.

Необходимо отметить, что специфика эксплуатации телеметрического комплекса обуславливает регистрацию льда, толщина которого превышает 30 см. Начальные и молодые льды при взаимодействии с корпусом судна не «встают на

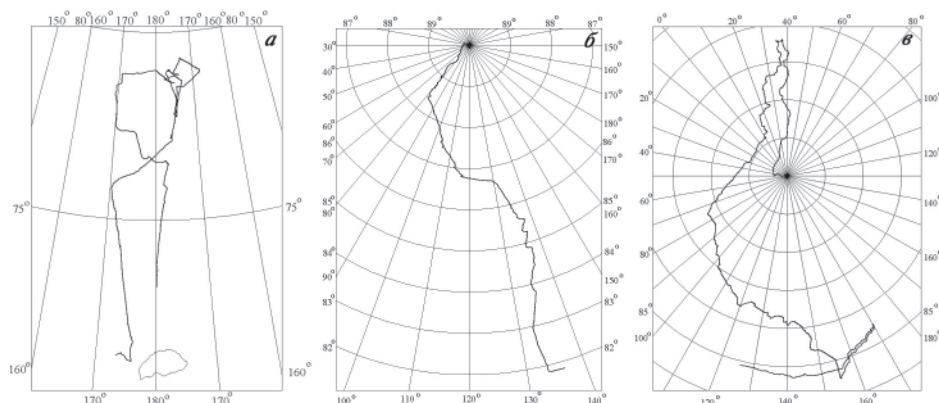


Рис. 2. Положение выделенных участков плавания НЭС «Академик Федоров» для анализа распределения толщины льда: *а* – участок № 1, *б* – участок № 2, *в* – участок № 3

ребро», а чаще всего просто сдвигаются корпусом судна в сторону, что не позволяет уверенно измерить их толщину. Таким образом, представленные ниже распределения построены без учета льдов указанного возраста.

На распределении толщины льда на пути плавания отражается возрастной состав ледяного покрова. При движении судна на участке № 1 на пути плавания наибольшей повторяемостью обладали однолетние льды толщиной до 140 см (82 %), причем наибольшую повторяемость имели льды, толщина которых изменялась в диапазоне 80–140 см (71 %). Количество старых льдов толщиной 140–300 см на пути плавания судна составило около 18 % (рис. 3*а*), из них 4 %, толщиной 200–300 см можно идентифицировать как многолетний лед (канадский пак). Лед толщиной более 300 см на пути плавания на участке № 1 телеметрическим комплексом не зарегистрирован.

Движение судна в сплоченных льдах Арктического бассейна (участок № 2) осуществлялось преимущественно во льдах толщиной 120–200 см (67 %) (рис. 3*б*). Зафиксированная измерениями толщина однолетних льдов изменялась в пределах 40–160 см (54 %), с преобладанием льдов толщиной 100–160 см (48 %). Толщина старых льдов изменялась в пределах 160–420 см (46 %), с преобладанием льдов толщиной 160–200 см (30 %). Указанный диапазон толщин характерен для двухлетнего льда. Возраст льда, толщиной более 200 см (16 %), можно идентифицировать как трехлетний и старше. Такой лед был зафиксирован измерениями преимущественно в приполюсном районе. В этом же районе были отмечены льды толщиной более 300 см, однако их количество составило незначительную величину – около 1 %.

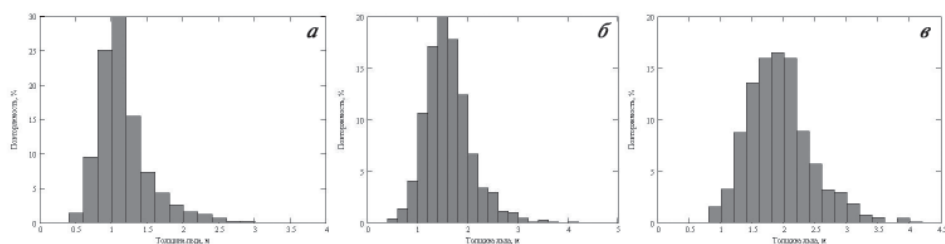


Рис. 3. Распределение толщины льда на пути движения НЭС «Академик Федоров» на участке № 1 (*а*), на участке № 2 (*б*), на участке № 3 (*в*)

Распределение толщины льда на пути плавания каравана судов на участке № 3 существенно отличается от соответствующих распределений на других участках (рис. 3в). Протяженность пути плавания в однолетних льдах толщиной до 160 см составила 27 %, из них 22 % приходится на льды диапазона 120–160 см.

Преобладающая толщина старых льдов заключалась в пределах 160–220 см (49 %). Относительно высокая повторяемость зафиксирована для льдов толщиной более 240 см – 16 %. Преимущественно лед такой толщины был встречен караваном на отрезке пути плавания от Северного полюса до дрейфующей станции СП-33. Следует отметить, что при плавании на участке № 3 около 4 % измерений зарегистрировали толщину льда, превышающую 300 см.

Основные статистические оценки распределения толщины льда на выделенных участках приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Статистические оценки распределения толщины льда на пути плавания  
НЭС «Академик Федоров» в 23-м рейсе (июль–сентябрь 2005 г.)**

Характеристика	Участок № 1	Участок № 2	Участок № 3
Количество измерений	4112	3118	914
Максимальное значение, м	3,86	5,29	4,03
Минимальное значение, м	0,39	0,45	0,84
Среднее значение, м	1,16	1,61	1,92
$\sigma$ , м	0,38	0,47	0,51

Для оценки информативности получаемых при помощи телеметрического комплекса данных о толщинах ледяного покрова выполнено сравнение данных ТК с результатами визуальных судовых ледовых наблюдений. Для этого было разработано специальное программное обеспечение, с помощью которого данные измерений ТК соотносились с данными визуальных наблюдений в каждой зафиксированной однородной ледовой зоне.

Результаты сравнения, выполненные по участку № 2, позволили сделать следующие выводы.

1. ТК не позволяет регистрировать толщину начальных и молодых форм льда. Данный эффект связан с тем, что при движении судна эти льды практически не становятся на «ребро», а отодвигаются корпусом судна в сторону. На участке № 2 повторяемость льда толщиной до 20 см по данным визуальных наблюдений составила 9 %.

2. Существенно расхождение значений толщин в диапазоне 40–120 см (однолетний тонкий и средний лед). По данным ТК доля льдов толщиной 60–80 см составляет 1 %, по визуальным – 6 %, при толщине 80–100 и 100–120 см по данным ТК – 4 и 11 %, по визуальным – 11 % и 20 %, соответственно. При таких толщинах наблюдателю сложно объективно исключить из оценки общей толщины льда толщину фирна или снега, достигающую 20–40 см. В результате, с учетом погрешности визуальных наблюдений  $\pm 10$  см, происходит значительное завышение доли однолетних тонких и средних льдов в общем распределении.

3. В диапазоне толщин 120–220 см, наоборот, визуальные наблюдения по сравнению с ТК дают меньшую повторяемость толщины льда указанного диапазона. По визуальным наблюдениям к диапазону 140–160 см относится 9 % толщин льда, по ТК – 20 %, в диапазонах 160–180 см и 180–200 см по визуальным наблюдениям – 7 % и 6 %, по ТК – 18 % и 12 %, соответственно. Заниженная оценка толщины льда визуальными наблюдениями обусловлена их большей дискретностью, в отличие от непрерывной регистрации ТК. Наблюдатель фиксирует

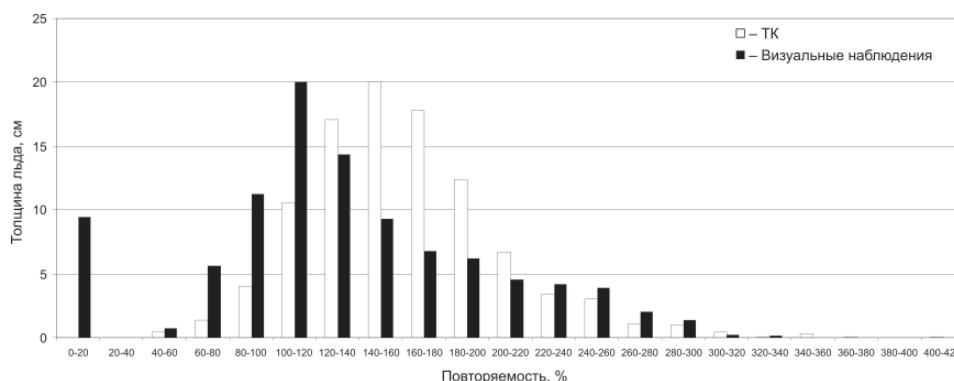


Рис. 4. Распределение толщины льда на участке № 2 по данным телевизионного комплекса и визуальных судовых ледовых наблюдений

в основном толщину ровного льда, а при появлении больших толщин зачастую интерпретирует их как обломки торосов или смерзшиеся ледяные подсовы.

4. При толщине льда более 220 см визуальные наблюдения дают их большую повторяемость, чем данные ТК. В этом случае толщина «выворотов» льдин сопоставима с размером ледемерной рейки или превышает ее, что не позволяет наблюдателю адекватно оценить толщину льда.

Эксплуатация ТК в 23-м рейсе НЭС «Академик Федоров» продемонстрировала, что данное техническое решение является перспективным направлением для автоматизации процесса наблюдений за некоторыми характеристиками ледяного покрова и параметров работы судна. Работа комплекса достаточно автономна, и, при соблюдении определенных требований, он может работать длительное время практически без обслуживания квалифицированного специалиста. Таким образом, появляется возможность его установки на различных судах и ледоколах для длительной автономной эксплуатации с минимумом затрат на его обслуживание и контроль.

В целом система показала хорошую работоспособность, устойчивость к влиянию техногенных (отключение электропитания, вибрация, удары) и климатических факторов (жидкие и твердые осадки, обледенение, низкие температуры).

В период высокоширотных рейсов НЭС «Академик Федоров» в Арктическом бассейне в 2004 г. и 2005 г. с помощью ТК были получены уникальные представительные данные о закономерностях распределения отдельных характеристик ледяного покрова в арктических морях и Арктическом бассейне.

S.V.FROLOV, A.E.KLEIN, V.YU.TRETIAKOV

#### RESULTS OF USING A DIGITAL TV COMPLEX FOR ICE THICKNESS MEASUREMENTS IN THE ARCTIC BASIN IN 2004–2005

*The article presents the testing results and a description of the digital TV complex, developed at the Arctic and Antarctic Research Institute for measuring ice thickness from board the ship. Main functions of the computer software, applied for operational processing of the measurement results are shown. A brief analysis of the measurement data obtained during the expedition «Arktika-2005» is performed. It is concluded that the digital TV complex is perspective for obtaining unique representative data on the ice thickness distribution in the Arctic Basin and the ice-covered seas.*