

УДК 656.614.3.073.003

**В. Д. Савчук,**  
канд. техн. наук, профессор,  
Одесская национальная морская академия;

**Е. Н. Клименко,**  
капитан,  
«POSH FLEET SERVICES PTE LTD.»;

**И. П. Крат,**  
ст. преподаватель,  
Одесская национальная морская академия

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ПОГРУЖЕННОГО В ТРЮМ НАВАЛОЧНОГО ГРУЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

## THE CALCULATION OF THE WEIGHT OF THE BULK LOADED INTO THE HOLD WITH THE USE OF LASER RANGEFINDERS

*В статье рассмотрены возможности использования лазерных дальномеров для точного определения бесконтактным способом уровня и конфигурации поверхности навалочного груза погруженного в трюм судна. Предложенная математическая модель, примененные методы конусов, кусочно-линейной аппроксимации с последующей экстраполяцией методом сеток позволяют с достаточной полнотой для безопасных транспортных перевозок на судах осуществить расчет объема и массы насыпного груза, а также определить его центр тяжести.*

*The article considers the possibility of using laser rangefinders for precise non-contact mode level and the configuration of the surface of the bulk cargo shipped in the hold of the vessel. The proposed mathematical model, applied methods of cones, piecewise linear approximation with subsequent extrapolation method grids allow with sufficient completeness for safe transport on ships, to carry out the calculation of volume and mass of bulk cargo, as well as to determine its center of gravity.*

*Ключевые слова: лазерные дальномеры, конфигурация поверхности груза в трюме судна объем и масса навалочного груза.*

*Key words: laser rangefinders, configuration of the surface of the goods in the hold, quantity and weight of bulk.*

**Т**ЕХНОЛОГИЯ безопасной перевозки навалочных и насыпных грузов была рассмотрена в трудах многих отечественных и зарубежных исследователей [1]–[3]. Математические модели оптимизации процессов загрузки балкеров и выбора оптимального варианта проведения грузовых операций на таких судах с целью обеспечения их мореходной безопасности предложены в работах [4]–[6]. Технологические приемы обеспечения сохранной перевозки цемента насыпью рассмотрены в работе [7], а расчеты удефферентовки балкера описаны в статье [8].

В настоящее время определение массы навалочного груза, который погружен в данный момент времени на судно, производится, как правило, по осадке. Это приводит к достаточно большой погрешности, особенно на открытых рейдах и акваториях портов, а расчет массы такого груза в каждом трюме с определением координат его центра тяжести в процессе проведения грузовых операций не осуществляется. Для решения такой задачи была разработана математическая модель, описывающая конфигурацию поверхности штабеля навалочного груза, которая образуется в процессе выполнения погрузочных операций. В математической модели использована триангуляция Делоне, а результаты моделирования изложены в работах [9], [10].

В настоящее время для замера расстояний до предмета могут быть использованы дальномеры следующих типов: ультразвуковые, фотоэлектрические, лазерные (такие, например, как Makita LD 060 P. Agatec Agatape, DIMETIX DLS-B 15, BOSCH DLE 50 Professional и др.).

Выполненные авторами статьи теоретические исследования и натурные наблюдения в реальных рейсах позволяют предложить для определения уровня поверхности навалочного груза в трюме судна лазерные дальномеры. Они с необходимой точностью и в постоянном режиме дают возможность определять высоту поверхности штабеля груза в трюме, что позволяет выполнять расчеты массы погруженного груза и координат его центра тяжести (ЦТ).

Лазерный дальномер (рулетка) BOSCH DLE 50 Professional размером не более мобильного телефона обладает высокой точностью измерения и многофункциональностью. Он быстро выполняет измерение длин, площадей и объемов на расстоянии до 50 м, имеет упорный штифт для крепления и измерения из труднодоступных мест, четкий дисплей, резьбу под штатив 1/4", резиновые накладки на корпусе, обладает высокой точностью измерений, простым и понятным интуитивным управлением.

Технические характеристики: диапазон измерения 0,05–50 м, точность измерения  $\pm 1,5$  мм, минимальное время измерения 0,5 с, максимальное время измерения 4 с, лазерный диод 635 нм,  $< 1$  мВт, класс лазерного излучения 2, защита от пыли и водяных брызг IP54; резьба штатива прямая 1/4", электропитание четыре батареи 1,5 В LR030 (AAA) или четыре аккумулятора 1,2 В KR03 (AAA), количество изменений с питанием от батарей около 30 000, размер: 100×58×32 мм, масса (включая батареи) 175 г.

В январе-феврале 2011 г. при погрузке в порту Ильичевск балкеров водоизмещением 170–180 тыс. т (т/х «FATHER S», т/х «JIMRICH», т/х «PIONEER PACIFIC») лазерными дальномерами BOSCH DLE 50 Professional были выполнены натурные экспериментальные замеры высоты поверхности груза железорудного концентрата (ЖРК). Удельный погрузочный объем груза (УПО) равен 0,43 м<sup>3</sup>/т. Измеренные расстояния в метрах от углов крышки трюма т/х «FATHER S», т/х «JIMRICH», т/х «PIONEER PACIFIC» до поверхности груза сведены в табл. 1. Результаты проведенных замеров (опытов) позволили по формулам, изложенным в [9], [10], определить конфигурацию поверхности грузов в трюмах, а также рассчитать их объемы и массу.

1. Т/х «FATHER S» (26 января 2011 г.). Судно загружали грузом ЖРК с использованием «парашютов» (металлические ящики грузоподъемностью 2–4 т). Трюм № 3:  $L \times B = 24,5 \times 47,4$  м, люк по центру  $L \times B = 15,5 \times 20,0$  м. Высота точки измерения над палубой трюма  $Z = 25,8$  м.

Таблица 1

**Измеренные расстояния в метрах от углов крышки трюма т/х «FATHER S», т/х «JIMRICH», т/х «PIONEER PACIFIC» до поверхности груза**

Номер точки	X, град.	Y, град.											
		т/х «FATHER S»				т/х «JIMRICH»				т/х «PIONEER PACIFIC»			
		0	+15	+30	+45	0	+15	+30	+45	0	+15	+30	+45
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	14,8	15,3	16,9	21,3	23	21,9	22,5	25,3	14,2	13,3	14,5	17,8
	+15	15,3	15,8	17,2	21,2	22	20,5	19,8	21,9	13,2	12,1	12,4	15,5
	+30	16,8	17,4	19,3	22,3	22	19,8	18,6	20,0	14,2	12,5	12,4	14,5
	+45	20,7	21,3	22,2	25,2	25	21,8	19,7	19,8	21,1	16,2	15,1	15,8
2	0	14,8	15,3	16,9	20,6	23	21,5	21,6	24,4	14,1	13,5	13,5	15,8
	+15	15,2	15,7	17,6	21,7	21	19,8	19,1	21,1	13,2	12,3	12,4	13,9
	+30	17,3	17,5	18,7	22,6	22	19,6	18,1	19,0	14,1	12,5	12,3	13,7
	+45	20,7	21,6	21,8	25,7	25	22,6	20,0	20,6	21,2	16,9	15,2	16,6
3	0	14,8	15,2	17,2	21,3	22	23,4	22,4	22,9	12,4	11,9	12,7	19,1

Таблица 1  
(Окончание)

3	+15	15,2	15,7	17,5	21,4	23	22,4	20,8	20,8	11,5	11,1	11,5	15,3
	+30	17,0	17,6	19,5	22,5	21	22,8	20,9	20,0	12,6	11,4	11,5	14,3
	+45	20,4	22,0	22,9	25,6	23	25,9	23,6	22,0	17,3	14,9	14,8	16,9
4	0	14,8	15,1	17,3	20,6	24	24,0	23,3	24,2	13,6	13,1	14,3	19,2
	+15	15,3	15,8	17,7	20,9	24	22,3	21,2	21,6	12,4	11,7	12,4	16,1
	+30	17,0	17,3	18,8	22,4	25	22,4	20,8	20,1	12,7	11,8	12,0	14,3
	+45	21,4	20,9	22,1	25,6	24	25,4	22,9	21,0	16,2	14,1	13,6	22,7

Примечание:  $X$  и  $Y$  – отклонение луча дальномера от вертикали по осям, град.

Объем груза, рассчитанный методом конусов, равен  $10\,122\text{ м}^3$ , его расчетная масса –  $23540\text{ т}$  (рис. 1). Объем груза, рассчитанный методом аппроксимации тригонометрического полинома третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток, составил  $7821\text{ м}^3$ , расчетная масса груза –  $18188\text{ т}$  (рис. 2). Объем груза, рассчитанный с использованием метода кусочно-линейной аппроксимации с последующей экстраполяцией методом сеток, составил  $8014\text{ м}^3$ , а его расчетная масса –  $18637\text{ т}$ . В связи с тем, что в данном опыте была выполнена штивка груза под крышкой трюма, применение метода конусов нецелесообразно, так как он дает неверные результаты. Это легко обнаружить по конфигурации поверхности на рис. 1. Вычисление объема другими двумя методами дают результаты, которые отличаются на  $2,5\%$ . Если в качестве оценки объема принять среднее значение между этими двумя числами, то получим ошибку около  $1\%$ .

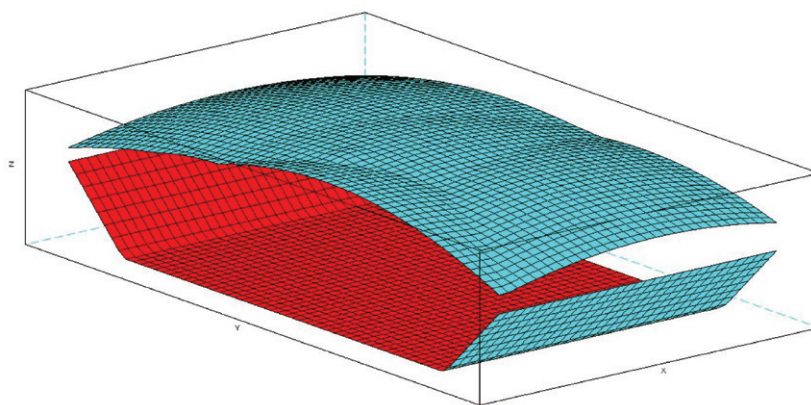


Рис. 1. Конфигурация поверхности груза, полученная методом конусов

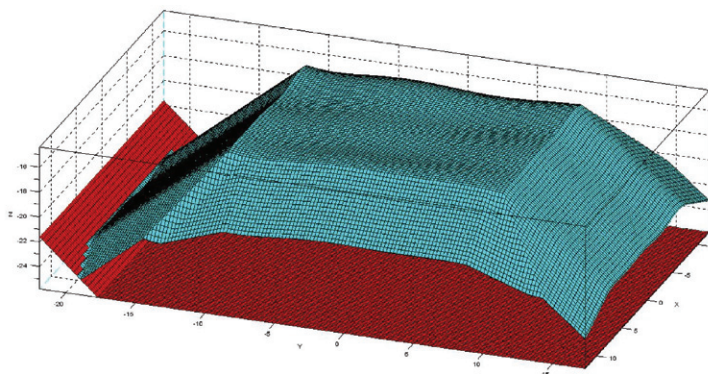


Рис. 2. Конфигурация поверхности груза, рассчитанная аппроксимацией тригонометрического полинома третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток

2. Т/х «JIMRICH» (31 января 2011 г.). Судно грузилось грузом ЖРК. Трюм № 5:  $L \times B = 24,0 \times 42,0$  м, люк по центру  $L \times B = 15,5 \times 20,0$  м. Высота точки измерения над палубой трюма  $Z = 24,2$  м.

Выполнялись измерения для малого количества груза, когда он не достигал бортов и переборок трюма. В связи с малым количеством груза диапазоны углов лучей дальномера были уменьшены. В этом случае некоторые лучи не попадали на поверхность груза.

Объем груза, рассчитанный методом конусов, составил  $1521 \text{ м}^3$ , а его масса – 3537 т (рис. 3). Объем груза, рассчитанный методом аппроксимации тригонометрическим полиномом третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток, равен  $1515 \text{ м}^3$ , а его расчетная масса – 3523 т (рис. 4). Объем груза, рассчитанный методом кусочно-линейной аппроксимации с последующим экстраполяцией методом сеток, составил  $1465 \text{ м}^3$ , а его расчетная масса – 3407 т.

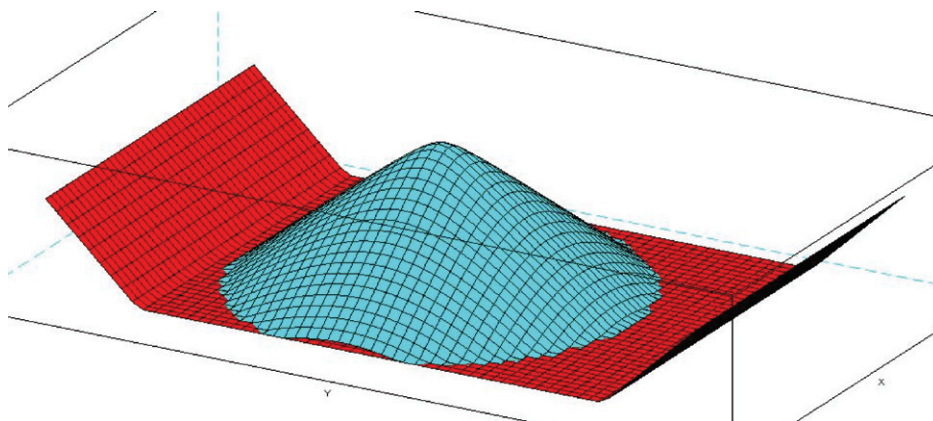


Рис. 3. Конфигурация поверхности груза, полученная аппроксимацией конусами

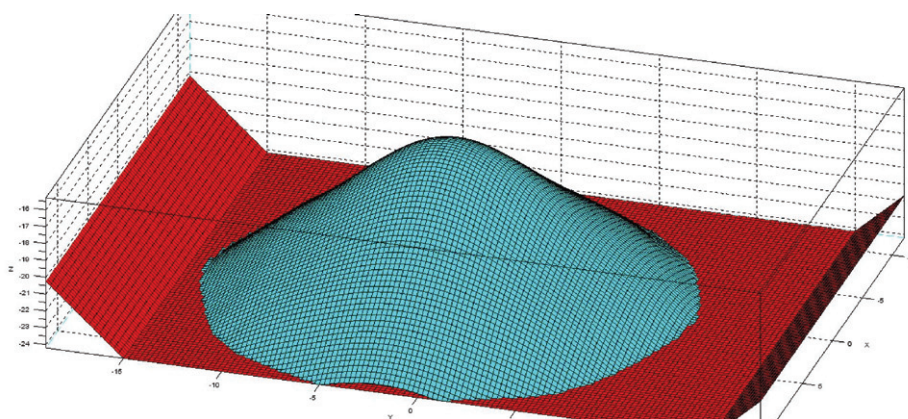


Рис. 4. Конфигурация поверхности груза, полученная аппроксимацией тригонометрического полинома третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток

В данном опыте, благодаря простой форме поверхности груза, первые два метода дают практически одинаковые результаты. Третий метод дает заниженную, примерно на 3 %, оценку объема, поскольку поверхность груза является выпуклой.

3. Т/х «PIONEER PACIFIC» (16 февраля 2011 г.) Судно грузилось грузом ЖРК. Трюм № 4:  $L \times B = 25,0 \times 32,1$  м, люк по центру  $L \times B = 14,2 \times 15,3$  м. Высота точки измерения над палубой трюма  $Z = 20,6$  м.

Используя измеренные расстояния, а также методику, изложенную в [9], [10], были определены координаты точек на поверхности штабеля груза. Результаты приведены в табл. 2.



Таблица 2

**Рассчитанные координаты точек на поверхности груза**

№ п/п.	X, м	Y, м	Z, м	№ п/п.	X, м	Y, м	Z, м	№ п/п.	X, м	Y, м	Z, м
1	-7,10	-7,65	-14,21	22	4,01	-4,56	-11,51	43	1,96	2,51	-8,89
2	-7,10	-4,19	-12,81	23	4,30	-1,62	-10,43	44	1,68	-1,72	-9,37
3	-7,10	-0,42	-12,52	24	4,50	2,03	-9,68	45	-5,11	7,65	-12,21
4	-7,10	4,94	-12,59	25	0,05	-7,65	-12,20	46	-3,31	4,85	-10,41
5	-3,68	-7,65	-12,74	26	1,00	-4,81	-10,56	47	-2,56	2,06	-9,66
6	-4,06	-4,61	-11,31	27	1,58	-2,13	-9,54	48	-2,68	-2,13	-9,78
7	-4,29	-1,59	-10,48	28	1,91	1,33	-8,98	49	-7,10	7,65	-13,55
8	-4,20	3,14	-10,79	29	-7,88	-7,65	-14,98	50	-7,10	4,27	-12,61
9	-0,08	-7,65	-12,29	30	-4,68	-4,49	-11,78	51	-7,10	0,52	-12,34
10	-1,03	-4,83	-10,51	30	-2,83	-1,91	-9,93	52	-7,10	-5,90	-13,55
11	-1,57	-2,12	-9,57	32	-2,49	1,94	-9,59	53	-3,87	7,65	-12,01
12	-1,62	1,82	-9,47	33	7,10	7,65	-12,43	54	-4,16	4,71	-10,93
13	7,79	-7,65	-14,89	34	7,10	4,57	-11,45	55	-4,29	1,60	-10,46
14	4,14	-4,63	-11,24	35	7,10	1,27	-11,03	56	-4,10	-3,51	-11,16
15	2,75	-1,95	-9,85	36	7,10	-5,83	-13,48	57	-0,76	7,65	-10,98
16	2,04	1,49	-9,14	37	4,12	7,65	-11,09	58	-1,37	4,99	-9,92
17	7,10	-7,65	-14,06	38	4,33	4,88	-10,33	59	-1,71	2,26	-9,32
18	7,10	-4,16	-13,02	39	4,49	2,03	-9,71	60	-1,71	-1,68	-9,33
19	7,10	-0,91	-11,66	40	4,24	-3,00	-10,65	61	4,34	7,65	-11,44
20	7,10	3,49	-11,14	41	0,81	7,65	-10,88	62	2,67	5,02	-9,77
21	3,68	-7,65	-12,75	42	1,55	5,07	-9,60	63	1,82	2,49	-8,92

Объем груза, рассчитанный после погрузки, равен 4750 м<sup>3</sup>, а его масса – 11 047 т.

Форму поверхности груза определяли по формулам, которые приведены в работах [9], [10], следующими методами.

1. Метод конусов. Аппроксимировали поверхность груза при количестве конусов  $m$  от 1 до 6. Такие выражения содержат  $6m$  параметров, значения которых определяли методом Нелдера-Мида с минимизацией суммы квадратов отклонений. Объем груза, рассчитанный методом конусов (рис. 5), составил 4811 м<sup>3</sup>, погрешность определения объема 1,2 %.

2. Метод аппроксимации тригонометрическим полиномом третьей степени. Коэффициенты полинома вычисляли по формулам, предложенным в работе [10]. Рассчитанный этим методом объем груза составил 5174 м<sup>3</sup>, погрешность определения объема 9 %. Большая величина погрешности связана с тем, что точки измерения сосредоточены в основном, под крышкой трюма и велика погрешность экстраполяции.

3. Метод аппроксимации тригонометрическим полиномом третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток (рис. 6). Здесь принималось условие, что в зоне точек измерения уравнение поверхности определяется тригонометрическим полиномом, а за пределами этой зоны – дифференциальным уравнением с частными производными, которое решали с использованием метода сеток. Объем груза, рассчитанный этим методом, составил 4602 м<sup>3</sup>, погрешность определения объема 3 %.

4. Метод кусочно-линейной аппроксимации с последующим экстраполяцией методом сеток. Объем груза, рассчитанный этим методом, равен  $4506 \text{ м}^3$ , погрешность определения объема 5 %.

Таким образом, находим подтверждение, что для определения объема навалочного груза, который погружен в трюм судна, можно рекомендовать метод конусов.

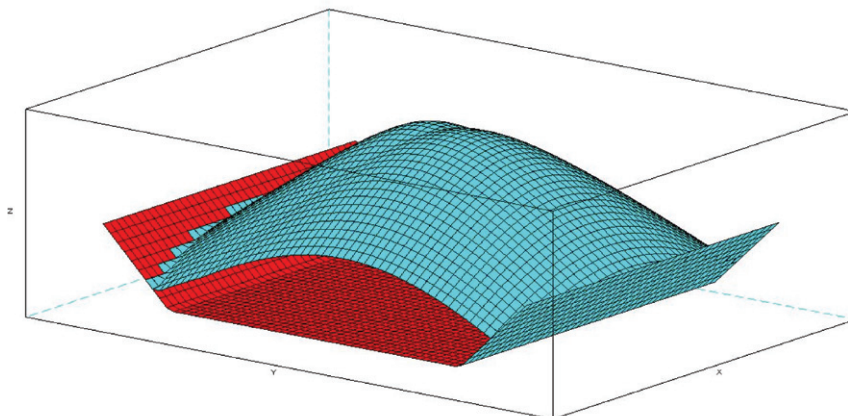


Рис. 5. Конфигурация поверхности груза, полученная аппроксимацией конусами

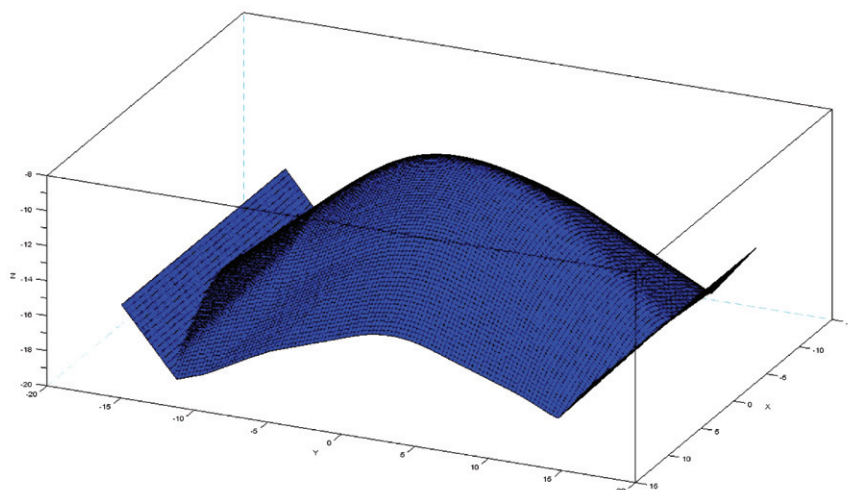


Рис. 6. Конфигурация поверхности груза, полученная аппроксимацией тригонометрического полинома третьей степени с последующей экстраполяцией методом сеток

### Выводы

Из множества датчиков, применяемых для определения расстояния до объекта, для измерения расстояния до поверхности навалочного груза в трюмах во время загрузки судна предпочтительнее использовать лазерный дальномер (рулетку) BOSCH DLE 50 Professional с дальностью действия до 50 м и погрешностью измерения  $\pm 1,5 \text{ мм}$ .

При определении конфигурации поверхности навалочного груза во время или непосредственно после погрузки (до его штивки) рекомендуется использовать метод конусов, который позволяет получить наиболее точные результаты (погрешность 1–2 %). Другие методы более универсальны, но дают большую погрешность, величина которой зависит от точности исходных данных об угле естественного откоса погружаемого груза. Если угол естественного откоса задан с точностью  $\pm 1^\circ$ , то погрешность вычисления объема этими методами составляет 3–5 %.

Результаты исследований предполагают использование для разработки системы автоматического контроля процесса грузовых операций более точного определения массы груза, погруженного в трюмы в данный момент времени, а также ускорение обработки данных и расчета мореходных качеств судна с целью обеспечения безопасности мореплавания.

### Список литературы

1. Барановский М. Е. Безопасность морской перевозки навалочных грузов / М. Е. Барановский. – М.: Транспорт, 1985. – 189 с.
2. Коробцов В. И. Морская перевозка насыпных грузов / В. И. Коробцов. – М.: Транспорт, 1977. – 187 с.
3. Tope I. E. Carriage of Bulk grain without temporary fitting / I. E. Tope // Naval Architect. – № 3. 1971. – P. 457–471.
4. Васьков Ю. Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов / Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2003. – Вып. 6. – С. 40–45.
5. Цымбал Н. Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов / Н. Н. Цымбал, Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 7. – С. 3–9.
6. Цымбал Н. Н. Расчет границ множества допустимых стратегий проведения грузовых операций навалочных судов / Н. Н. Цымбал, Ю. Ю. Васьков // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 8. – С. 22–31.
7. Савчук В. Д. Обеспечение безопасной перевозки цемента насыпью на балкерах / В. Д. Савчук, Е. Н. Клименко // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2004. – Вып. 7. – С. 72–75.
8. Клименко Е. Н. Удифференровка балкера при перевозке навалочных грузов / Е. Н. Клименко, В. Д. Савчук // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: Феникс. – 2005. – Вып. 10. – С. 63–66.
9. Клименко Е. Н. Математическая модель поверхности штабеля насыпного груза / Е. Н. Клименко, В. Д. Савчук // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: ИздатИнформ. – 2011. – Вып. 20. – С. 89–98.
10. Савчук В. Д. Аппроксимация поверхности навалочного груза кусочно-линейной функцией / В. Д. Савчук, Е. Н. Клименко // Судовождение: сб. науч. тр. / ОНМА. – Одесса: ИздатИнформ. – 2011. – Вып. 20. – С. 189–202.

**УДК 528.422**

**Ю. Г. Фирсов,**  
канд. техн. наук, доцент,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

**М. В. Иванов,**  
инженер,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

**Е. Н. Колосков,**  
аспирант,  
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

### НОВЫЙ ЭТАП БАТИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕВЕРНЫХ АКВАТОРИЙ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ КАРСКОГО МОРЯ

### THE NEW STAGE OF THE RUSSIAN NORTHERN BASINS BATHYMETRIC INVESTIGATIONS - KARA SEA EXAMPLE

Рассмотрены вопросы гидрографического и батиметрического изучения северных морей России на примере Карского моря. Описаны этапы изучения рельефа дна, с 50-х годов XX века и полученные результаты. Отмечено, что с начала XXI века начался качественно новый этап изучения рельефа Карского моря, характеризующийся использованием многолучевых эхолотов, способных кроме батиметрической ин-