



УДК 656.62.052.4

**М.Ю.Чурин**, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
603950 г.Нижний Новгород, ул.Нестерова 5а

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ПРОСАДКИ МОРСКИХ СУДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВГАВТ

*В статье произведен краткий анализ методов, позволяющих определить характер динамической просадки судов, включая метод ВГАВТ, разработанный для судов речного флота. Статья содержит основные характеристики и результаты расчетов, выполненных для пятнадцати морских судов и двух судов смешанного «река-море» плавания, имеющих традиционную форму корпуса без бульба, выполненных с использованием четырех методов. Приводятся результаты проведенного анализа полученных данных по возможности использования предложенного автором метода ВГАВТ для определения характера динамической просадки морских судов.*

*Ключевые слова:* динамическая просадка, её характер, метод расчета, определение характера, метод ВГАВТ, бульб, применение.

В настоящее время для обеспечения безопасного перехода судна в стесненных условиях мелководья международные и национальные нормативные документы требуют тщательной подготовки судна по целому ряду вопросов, среди которых важным вопросом является определение величины динамической просадки. Резолюция ИМО А.893 (21) «Руководство по планированию рейса» [1] и SIRE OCIMF [2] содержат требования по определению минимального запаса глубины под днищем судна при прохождении мелководных участков. Требования определения безопасного запаса воды под днищем с учетом увеличения осадки судна при следовании на мелководье содержится и в отечественных руководящих документах: «Наставлении по штурманской службе на судах МРФ РСФСР» [3] и «Рекомендациях по организации штурманской службы на судах (РШС-89)» [4]. Согласно существующих требований, необходимо определение значений осадок судна носом и кормой. Эти величины должны быть рассчитаны на момент подхода судна к лимитирующему мелководному участку. Для этого требуется знание характера проявления динамической просадки судна. В данном случае под характером проявления понимается сравнение величин динамической просадки по носу и по корме судна, определение какой оконечности судна просаживается больше: нос или по корма. В последнее время этот вопрос приобретает дополнительную актуальность и связано это с установившейся тенденцией увеличения габаритов вновь строящихся морских и речных судов, с появлением речных и судов смешанного «река-море» плавания, оборудованных носовым бульбом. Необходимо отметить, что путевые условия подходов фарватеров устьевых портов за последние десятилетия изменились мало. Все перечисленное вызывает необходимость тщательной подготовке к следованию в сложных специфических условиях мелководья, требует проведение предварительных расчетов по определению осадок судна с учетом величин динамической просадки.

В настоящее время судоводители используют целый ряд методик, позволяющих определить характер просадки как морских, так и речных судов. На морских судах отечественного флота наибольшее распространение получили универсальный метод

К. Ремиша, метод В.П. Смирнова и графический метод Национальной физической лаборатории NPL (National Physical Laboratory), позволяющие определять динамические просадки судна отдельно для носа и кормы.

Натурные наблюдения показывают, что морские суда при движении на мелководье могут иметь различный характер проявления динамической просадки. Часть морских судов имеет большее приращение осадки по корме, другие суда по носу. В настоящее время существует целый ряд методик, позволяющих определить характер динамической просадки судна. Так, например, «Brown's Nautical Almanac» [5] содержит информацию о том, что для судов, имеющих коэффициент полноты общего водоизмещения  $\delta > 0,70$ , дифферент будет проявляться на нос, для судов с  $\delta < 0,70$  – дифферент на корму, для судов  $\delta = 0,70$  – просадка будет проявляться без дополнительного изменения дифферента. Исследования, проведенные автором, показали, что для судов речного флота приведенные в «Brown's Nautical Almanac» подходы по определению характера просадки судов не работают. Так у судов речного флота значение  $\delta$  могут быть как больше, так меньше 0,7, но все они, имеющие корпус «традиционной формы» без бульба при следовании на мелководье больше просаживаются на корму, поэтому этот подход не может быть использован как основной для определения характера динамической просадки судов. Метод К. Ремиша [6], во многих источниках называемый универсальным, содержит другой подход к определению характера просадки судна, связанный с расчетом дополнительных коэффициентов  $C_\delta$ .

$$C_{\delta_k} = 1; \quad C_{\delta_n} = \frac{90\delta^2 B^2}{L^2}. \quad (1)$$

При этом увеличение осадки на мелководье определяется отдельно для носа и кормы, рассчитывается по формуле :

$$\Delta T = 0,55 C_V C_\delta \left( \frac{H}{T} - 0,4 \right)^{-2} (H - T), \quad (2)$$

Где  $\Delta T$  – приращение осадки носом или кормой, м;

$T$  – осадка носа или кормы, м;

$C_V$  – коэффициент, зависящий от скорости хода;

$C_\delta$  – коэффициент, зависящий от формы корпуса;

$H$  – глубина в районе следования судна, м.

Как видно из выражения (1), при  $C_{\delta_n} > 1$  проседание носа больше проседания кормы, а при  $C_{\delta_n} < 1$  – больше проседание кормы. Из выражения (1) следует, что у судов с полными обводами и малым отношением  $L/B$  больше проседает нос, в то время как у судов с острыми образованиями корпуса больше проседает корма. Метод К. Ремиша называется универсальным методом, поэтому может применяться и к судам речного флота. Однако расчеты коэффициента  $C_{\delta_n}$  для речных судов показывают, что данный метод очень часто дает неверные результаты. Отмечено, кроме вышесказанного, что метод К. Ремиша дает ошибочные результаты в расчетах величин динамической просадки и для судов, выполняющих переход при предельных запасах воды под днищем.

Метод В. П. Смирнова позволяет определить увеличение осадки для морских судов на мелководье [7]. Расчет выполняется по формуле :

$$\Delta T = \alpha_T \kappa_L \theta_\phi V^2 \quad (3)$$

Формула получена после обработки результатов испытаний морских судов методом математической статистики и способом наименьших квадратов.

где :  $\alpha_T$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий изменение осадки, значения  $\alpha_T$  приведены в таблице 1;

$\kappa_L$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий длину судна, значения его даны в таблице 2;

$\theta_\phi$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий начальный дифферент  $\phi_K$  на корму, значения  $\theta_\phi$  приведены в таблице 3.

Таблица 1

Значения коэффициента  $\alpha_T$  в зависимости от Т/Н

Т/Н	$\alpha_T$	Т/Н	$\alpha_T$
0,35	0,0146	0,70	0,0232
0,40	0,0156	0,725	0,0242
0,45	0,0164	0,750	0,0250
0,50	0,0174	0,775	0,0262
0,55	0,0187	0,800	0,0274
0,60	0,0201	0,825	0,0288
0,65	0,0215	0,850	0,0296

Таблица 2

Значение коэффициента  $\kappa_L$  в зависимости от длины судна  $L_{\perp\perp}$

$L_{\perp\perp}$	до 100 м.	100 – 150	Более 150
$\kappa_L$	0,95	1,05	1,25

Таблица 3

Значения  $\theta_\phi$  в зависимости от начального дифферента  $\phi_K$

$\phi_K$	0	0,5 $\phi_{MAX}$	$\phi_{MAX}$
$\theta_\phi$	1,0	1,025	1,050

Увеличение осадки носом при  $T_H = T_K$  может быть определено по формуле :

$$T_H = T_K C_H \quad (4)$$

Значения коэффициента  $C_H$  определяются с использованием графика (рис. 1).

Определение коэффициента проседания носовой оконечности  $C_H$  судна

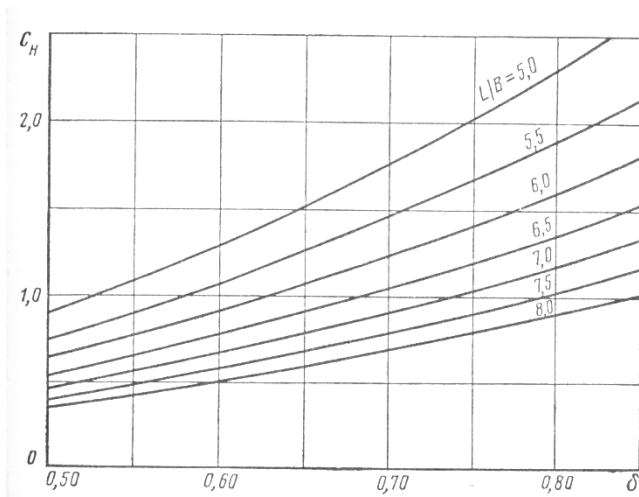
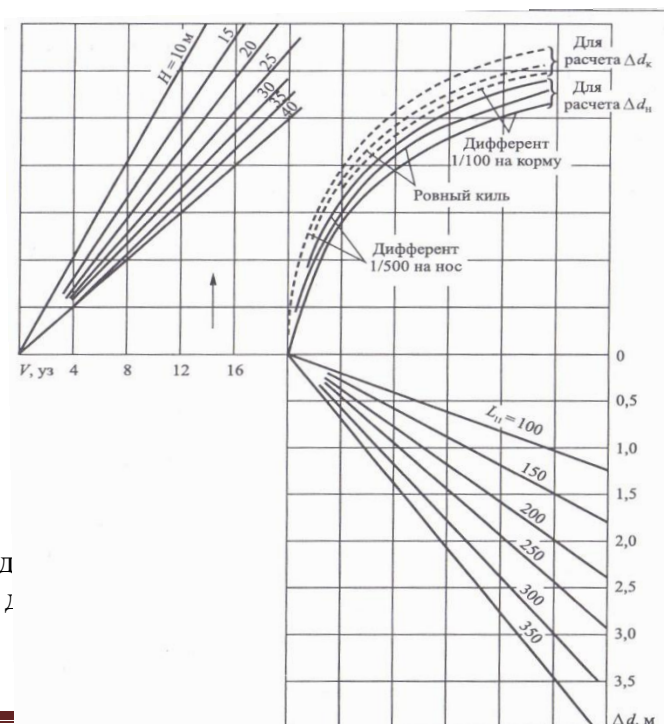


Рис.1. Определение коэффициента проседания носовой оконечности  $C_H$  судна.

Метод В. П. Смирнова (рис.1) показывает, что суда, у которых соотношение длины к ширине превышает 8,0, а коэффициент полноты водоизмещения меньше 0,84 имеют динамическую просадку больше на корму, чем на нос, что в первую очередь относится к судам смешанного «река-море» плавания.

В Великобритании на базе модельных испытаний, данных многочисленных экспериментов с крупнотоннажными судами был разработан графический метод NPL. В результате расчетов и натурных измерений была разработана монограмма (см. рис.2), с использованием которой величины динамической просадки определяются графически [7]. Кривые рассчитаны для коэффициента полноты водоизмещения в пределах  $0,80 \leq \delta \leq 0,90$ . Монограмма используется для судов, у которых дифферент находится в пределах от  $1/100 L_{BP}$  на корму до  $1/500 L_{BP}$  на нос. Для определения величин динамической просадки необходимо знать скорость судна  $V$  (уз), длину  $L_{BP}$  (м), глубину на мелководье  $H$  (м) и дифферент судна  $\psi$ . Преимущество метода NPL в том, что он позволяет определить характер динамической просадки судна, просадку как носа и кормы, так и изменение дифферента.



Метод  
ограничений 1

ния осадки

суда, имеет целый ряд  
ия определения величин

динамической просадки судов получаем, что судно всегда будет иметь просадку носом больше, чем кормой, что не во всех случаях справедливо для некоторых судов.

Среди работ, посвященных определению величин динамической просадки судов речного флота, наибольшую известность получили работы Г.Е. Павленко, В.Г. Павленко, В.В. Звонкова, Г.И. Сухомела, А.Д. Гофмана, Р.Я. Першица, А.Б. Карпова, П.Н. Шанчурова, Г.И. Ваганова, А.М. Полунина, С.Н.Короткова, Т.Г. Горнушкиной. Авторы методик расчета динамической просадки речных судов исходили из учета физического процесса, происходящего вокруг движущегося судна. Физический процесс обтекания корпуса судна жидкостью, помимо главных размерений судна и отношения его осадки к глубине в районе плавания, определяется также формой корпуса судна. Однако влияние данного фактора не нашло отражения в работах выше названных исследователей. Кроме этого методы расчета, указанных авторов, позволяют определить величины динамической просадки по корме или на миделе судна, но не позволяют определить характер просадки (на корму или на нос). Для судов речного флота указанный недостаток не будет являться определяющим, так как натурные наблюдения, выполненные различными авторами, свидетельствуют, что речные суда и суда смешанного «река-море» плавания, необорудованные носовым бульбом, просаживаются больше на корму.

Взяв за основу теорию обтекания корпуса судна жидкостью с учетом геометрических характеристик судов речного флота и результатов натурных наблюдений, для расчета динамической просадки судна на мелководье автором было предложено следующее выражение[8]:

$$\Delta T_{\text{cp}} = \bar{\sigma} \frac{B}{L} \frac{v^2}{g} \sqrt{\frac{T}{H}} = \bar{\sigma} B Fr^2 \sqrt{\frac{T}{H}}, \quad (5)$$

где  $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{н}}}{\sigma_{\text{к}}}$  – отношение коэффициента полноты носовой половины к коэффициенту

полноты кормовой половины диаметрального батокса корпуса судна, характеризующее форму его обводов;

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} \text{ – число Фруда .}$$

Выражение (5) позволяет определить приращение средней осадки судна. Для расчета приращения осадки судов речного флота по корме предложено использовать выражение:

$$\Delta T_{\text{к}} = 1,2\bar{\sigma} \frac{B}{L} \frac{v^2}{g} \sqrt{\frac{T}{H}} = 1,2\bar{\sigma} B Fr^2 \sqrt{\frac{T}{H}}. \quad (6)$$

Предложенный метод расчета величины динамической просадки по корме у речных судов имеет хорошую сходимость с результатами натурных наблюдений, выполненных по серийным речным судам( указанный метод получил название метод ВГАВТ). Кроме этого, новый метод позволяет определить характер просадки (на нос или на корму) судна при следовании на мелководье. В качестве критерия для оценки характера динамической просадки был принят коэффициент  $\bar{\sigma}$ . Автором были выполнены расчеты по 15 проектам серийных судов речного флота. Исследования показали, что во всех случаях коэффициент  $\bar{\sigma} > 1,0$ . Это является характерной особенностью обводов корпусов судов внутреннего и смешанного плавания с традиционной формой корпуса (без бульба).

Указанный метод, учитывающий особенности корпуса судна, позволяет определить характер динамической просадки судов с традиционной формой корпуса (без бульба) и

дает хорошие результаты для речных судов и судов смешанного «река-море» плавания, для которых изначально и проводились исследования.

С целью оценки возможности применения указанного метода для морских судов были выполнены расчеты по определению характера просадки морских судов с использованием четырех методов: метода В.П. Смирнова, метод К. Ремиша, метод «Brown's Nautical Almanac» и метода ВГАВТ. Расчеты были выполнены по 15 серийным судам морского флота, имеющих традиционную форму корпуса судна, не оборудованные бульбом. Коэффициенты были рассчитаны с использованием теоретических чертежей указанных судов. Для выполнения сравнительного анализа результатов также были выполнены расчеты по двум типам судов смешанного «река-море» – «Сормовский» проекта 1557 и «Омский» проекта 1743. Данные по судам сведены в таблицу 5, результаты расчетов содержатся в таблице 6.

Таблица 5.

Технические характеристики исследуемых морских судов

№	Название судна	Назначение, перевозка	Класс регистра	Длина LBP м	Ширина м	Осадка м	Дедвейт т
1	Wolgastern	Арктическое плавание, Нефтеналивное	GL:[✕] 100ASE3 Chemical Tanker-2 Oil tanker	155,00	27,0	8,80	21823
2	Михаил Стрекаловский	Навалочные грузы, руда, зерно, контейнеры	КМ★УЛ [1] A2	154,88	22,86	9,88	19252
3	Капитан Баканов	Контейнеры, генеральные грузы	КМ★Л1 A2	140,00	21,00	8,74	14051
4	Капитан Сахаров	Контейнеры	КМ★УЛ [1] A2	119,00	17,30	6,92	5720
5	Сестрорецк	Контейнеры, генеральные грузы	КМ★УЛ [1] A2	119,00	17,3	6,91	6010
6	Капитан Панфилов	Навалочные грузы, руда, уголь, зерно, удобрения, контейнеры	КМ★Л1 [1] A2	134,40	20,59	9,42	14632
7	Николай Новиков	Навалочные, генеральные грузы, лес, контейнеры	КМ★Л1 A2	139,86	20,98	8,69	13955
8	Сосновец	Лесные, генеральные грузы, легковоспламеняющиеся грузы	КМ★Л1	71,20	11,94	4,90	1857
9	Советский воин	Лесоматериалы, генеральные, навалочные грузы	КМ★Л1	74,96	12,54	5,43	2485



10	Иван Черных Тип: Вытегралес	Контейнеры, Генеральные грузы	КМ★Л1 [1]	113,00	16,70	5,99	3133
11	Хейнланд	Контейнеры, Колесная техника	КМ★Л II	70,80	12,89	4,17	1455
12	Юный партизан	Генеральные грузы, пром. оборудовани е	КМ★Л2	80,35	12,82	5,20	2180
13	Танкер «Самотлор»	Нефте- продукты, сиропы, растительное масло	КМ★УЛ [1]A2	148,00	23,00	9,20	16770
14	Танкер Вентспилс	Арктическое плавание. Нефте- продукты, метанол, бутанол, метаоксиден	КМ★УЛ [1] A1	105,33	18,30	7,20	6297
15	Советская Якутия	Перевозка ген груза, Угля и леса	КМ★ЛП [1] I	117,00	15,00	4,50	4000
16	Герой Мехти Сормовский	Перевозка генеральных грузов, леса контейнеров	КМ★Л4 [1] ПСП	110,7	13,22	3,64	3135
17	Якутск Омский	Перевозка генеральных грузов, леса контейнеров	КМ★Л4 R2-RSN	105,0	15,0	3,26	3476

Таблица 6.

Результаты расчетов для определения характера динамической просадки судов

№	Название судна	Проект, место постройки	$\delta$	Метод Смирнова $C_n$	Метод Ремиша $C_{\delta_n}$	Brown's Nautical Almanac	Метод ВГАВТ $\bar{\sigma}$
1	Wolgastern	8189 Польша Гдыня	0,7577	1,57	1,5678	$\delta > 0,70$	0,9838 $\bar{\sigma} < 1,0$
2	Михаил Стрекаловский	743 ГДР «Варнов-верфт»	0,7495	1,08	1,1016	$\delta > 0,70$	0,9552 $\bar{\sigma} < 1,0$
3	Капитан Баканов	В-540/1 Польша Гданьск	0,7462	1,13	1,1276	$\delta > 0,70$	0,9084 $\bar{\sigma} < 1,0$
4	Капитан Сахаров	15903 ЦКБ «Балтсудо-проект» СССР	0,7719	1,15	1,1334	$\delta > 0,70$	1,0216 $\bar{\sigma} > 1,0$
5	Сестрорецк	1590К ЦКБ «Балтсудо-проект» СССР	0,8015	1,21	1,2220	$\delta > 0,70$	1,0453 $\bar{\sigma} > 1,0$
6	Капитан Панфилов	1592 СССР	0,7037	1,04	1,0460	$\delta > 0,70$	1,0199 $\bar{\sigma} > 1,0$

7	Николай Новиков	В-436 Польша Гданьск	0,8243	1,35	1,3761	$\delta > 0,70$	0,9456 $\bar{\sigma} < 1,0$
8	Сосновец	403/2А Румыния Констанца	0,8533	1,81	1,8431	$\delta > 0,70$	0,9645 $\bar{\sigma} < 1,0$
9	Советский воин	1574 ЦКБ Бавлтеудо -проект СССР	0,8180	1,65	1,6854	$\delta > 0,70$	0,9906 $\bar{\sigma} < 1,0$
10	Иван Черных Тип: Вытегралес	596 ЦКБ Балтсудо- проект СССР	0,8050	1,27	1,2740	$\delta > 0,70$	0,9613 $\bar{\sigma} < 1,0$
11	Хейнланд	235 ФРГ Папен бург	0,8363	2,08	2,0865	$\delta > 0,70$	0,9994 $\bar{\sigma} < 1,0$
12	Юный партизан	740 Румыния Турну- Северин	0,8205	1,59	1,5425	$\delta > 0,70$	1,0119 $\bar{\sigma} > 1,0$
13	Танкер Самотлор	П-1706 Финлянди я г. Раума	0,8276	1,57	1,5592	$\delta > 0,70$	0,9744 $\bar{\sigma} < 1,0$
14	Танкер Вентспилс	279 Финлянди я г.Раума	0,7039	1,33	1,3461	$\delta > 0,70$	0,8466 $\bar{\sigma} < 1,0$
15	Советская Якутия	1575 СССР	0,8076	0,93	0,9649	$\delta > 0,70$	1,0233 $\bar{\sigma} > 1,0$
16	Герой Мехти Сормовский	1557, з-д «Красное Сормово»	0,8420	0,86	0,8831	$\delta > 0,70$	1,0348 $\bar{\sigma} > 1,0$
17	Якутск Омский	1743 СССР	0,8270	1,21	1,2228	$\delta > 0,70$	1,0647 $\bar{\sigma} > 1,0$

Результаты выполненных расчетов говорят о том, что ранее разработанный подход для определения характера динамической просадки при следовании на мелководье судов речного флота работает и для определения характера просадки морских судов. Сходимость результатов по определению характера просадки предложенного метода с методами К. Ремиша и В.П. Смирнова составляет 75 % случаев. Для судов под номерами 4,5,6 и 12 результаты расчетов, выполненные с использованием предложенного автором метода, противоречат результатам, выполненные по методам К.Ремиша и Смирнова. Но необходимо отметить, что выполненные ранее исследования по определению характера динамической просадки судов речного флота, для некоторых проектов показывают, что результаты расчетов с использованием метода К. Ремиша и предложенного метода могут также не совпадать. При этом было выявлено, что результаты расчетов по методу К. Ремиша не соответствуют реальному характеру просадки судов на мелководье, в то время как предложенный метод дает корректные результаты. Подтверждающим сказанное, является в таблице 6 информация по т/х «Омский», внесенная как пример. Методы К. Ремиша и В.П. Смирнова говорят о том, что судно должно просаживаться носом, хотя наблюдения показывают, что судно садится кормой. Результаты расчетов по методу ВГАВТ также показывают, что судно должно просаживаться кормой. В то же время можно отметить, что суда № 4,5,6 и 12 – это суда по своим габаритам близкие к судам смешанного «река-море» плавания. Для оценки корректности предложенного метода в отношении судов № 4,5,6 и 12 необходима дополнительная информация по фактическому проявлению динамической просадки этих судов на мелководье. Решение этого вопроса



даст возможность оценить и корректность подхода по оценке характера просадки судов, содержащейся в «Brown's Nautical Almanac». В свою очередь графический метод NPL разрабатывался для крупнотоннажных морских судов и определяет просадку этих судов на нос. Метод имеет существенные ограничения, не позволяющие его применение для целого ряда морских судов. Другими словами, вопрос пригодности метода ВГАВТ для морских судов по определению характера динамической просадки требует дальнейшего исследования.

#### **Список литературы:**

- [1] Резолюция ИМО А.893 (21) «Руководство по планированию рейса» [Электронный ресурс] от 25 ноября 1999 г. Режим доступа: [http://www.gfi/chat.ru/imo/A893\(21\).htm](http://www.gfi/chat.ru/imo/A893(21).htm).
- [2] Vessel Inspection Questionnaires for Oil Tankers, Combination Carriers, Shuttle Tankers, Chemical Tankers and Gas Tankers (VIQ 5) 2012 Edition [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ocimf.com/SIRE/Sire-Document/>
- [3] Наставление по штурманской службе на судах Минречфлота РСФСР. Ч.3 /МРФ РСФСР.– Л.: Транспорт, 1987. – 144 с.
- [4] Рекомендации по организации штурманской службы на судах (РШС –89).– М.: Мортехинфорреклама, 1990.–69с.
- [5] Brown's Nautical Almanac, Brown, Son and Ferguson. Ltd, Glasgow.G 41 2SD, 2011.
- [6] Третьяк А.Г. Практика управления морским судном / А.Г. Третьяк, Л.А.Коваль.– М.: Транспорт, 1988.– 112 с.
- [7] Сборник задач по управлению судами: учеб. пособие для морских высших учеб. заведений / Н.А. Кубачев [и др.]. – М.: Транспорт, 1984. – 139с.
- [8] Чурин М.Ю. Метод определения динамической просадки судов смешанного «река-море» плавания при движении на мелководье /М.Ю.Чурин/ Современные проблемы науки и образования Выпуск 5, 2013. URL: [www.science-education.ru/111-10228](http://www.science-education.ru/111-10228).
- [9] Снопков В.И. Управление судном. Учебник для ВУЗов. 3-е издание переработанное и дополненное. – Санкт-Петербург: АНО НПО «Профессионал», 2004 г., 536 с.

#### DEFINITION OF SEA GOING SHIP'S SQUAT CHARACTER WITH USE OF VGAVT'S METHOD

*M. Y. Churin*

*The article made a brief analysis of methods for definition of ship's squat character, including method of VGAVT, working out for river going ships. The article have fundamental characteristics and results of calculations for 15 sea going ships and 2 'sea-river going' ships with have traditional form of hull without bulb. The calculations were carried out with using 4 methods. It's lead results of analysis of receiving data for possibility using method VGAVT for definition of character dynamical squat of sea going ships.*

Keywords : dynamic squat, it's character, method calculation, definition of character, , method of VGAVT, bulb, application.