

УДК 656.62.052.4

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi65.137>

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К НАТУРНЫМ МЕТОДАМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОСАДКИ СУДНА

**М.Ю. Чурин**

*Волжский государственный университет водного транспорта,  
г. Нижний Новгород, Россия*

**Ю.В. Бажанкин**

*Волжский государственный университет водного транспорта,  
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8720-218X>

*Аннотация. В данной статье определена необходимость учета просадки судна при определении запаса воды под килем, рассмотрены существующие отечественные и зарубежные методы определения просадки. Выполнен обзор натуральных методов определения просадки судна с помощью глобальных навигационных спутниковых систем, а также проанализированы источники возникновения погрешностей в таких методах и выполнена оценка величин этих погрешностей. Выполнено обоснование необходимости адаптации натуральных методик для условий внутренних водных путей на участке Городец – Кстово, с учетом возможностей глобальных навигационных спутниковых систем, а также гидрологических особенностей данного района плавания. Определены параметры, которые должны быть измерены в процессе натуральных испытаний с целью уточнения теоретических методов.*

*Ключевые слова: натурные испытания, теоретически метод определения, динамическая просадка, высота по спутниковым навигационным системам, точность определения высоты по спутниковым навигационным системам, точность определения глубин, точность определения скорости относительно воды*

### Введение

Учет динамической просадки судна имеет важное значение в обеспечении безопасности плавания. Это отражено в международных нормативных документах, регламентирующих процесс судовождения:

- Резолюция ИМО А.893(21) Руководство по планированию рейса от 25.11.1999;
- Международная конвенция ПДНВ 78/2010, глава VII, раздел А VIII/2.

Так же о необходимости учета динамической просадки свидетельствует статистика аварийности. Согласно источника [1] в период с 1987 по 2004 произошло 12 крупных инцидентов, связанных с неучетом или ошибками в учете явления динамической просадки судна. Причем со временем количество таких происшествий неуклонно растет. Так, по данным приведенным в [2] в 2007 году количество аварийных случаев достигло 82. Примечателен случай с круизным судном Queen Elizabeth II. В результате пренебрежения динамической просадкой судно село на мель, что повлекло за собой убытки в размере 12 миллионов долларов США на ремонт судна и 50 миллионов долларов из-за отзыва путевок пассажирами.

В настоящей статье рассмотрен эффект динамической просадки судна в условиях внутренних водных путей. Условия плавания судна на ВВП можно разделить на три случая: плавание на неограниченном мелководье, плавание в условиях прорези на перекате и плавание в условиях судоходных каналов. Схемы таких условий приведены на рис.1.

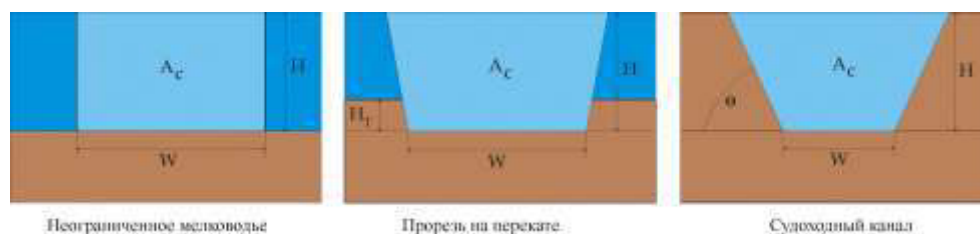


Рис.1. Условия плавания на ВВП.

На рис.1. обозначены:

$A_c$  - площадь сечения канала или ходовой полосы, м<sup>2</sup>;

$H$  - глубина ходовой полосы, м.;

$H_T$  - глубина прорези, м.;

$W$  - ширина донной части канала или ходовой полосы, м.;

$\Theta$  - угол наклона стенки канала, рад.

В настоящее время в отечественной практике приняты два подхода к нахождению условий начала влияния мелководья. Первый подход, согласно [3] заключается в определении глубины, на которой начинают действовать условия мелководья.

$$H_{\text{гл}} \leq 4T_{\text{ср}} + \frac{3v^2}{g}, \quad (1)$$

где  $H_{\text{гл}}$  - глубина, м;

$T_{\text{ср}}$  - средняя осадка судна, м;

$v$  - скорость судна, м/с;

$g$  - ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Другим подходом [4], является определение числа Фруда по глубине, как критерия мелководья.

$$Fr_H = \frac{v}{\sqrt{gH}} \quad (2)$$

Согласно источника [5] при значении  $Fr_H < 0,6$  влиянием мелководья можно пренебречь.

### Расчетные методы определения динамической просадки судна

В настоящее время существует большое количество расчетных методов определения динамической просадки. Часть из них рассматривалась автором настоящей статьи в публикации [6]. Это метод В.Г. Павленко, метод А.М. Полунина, метод П.Н. Шанчурова, метод Г.И. Сухомела, метод С.Б. Барасса и метод ВГАВТ.

Кроме того, существуют другие методики определения динамической просадки судна, которые будут рассмотрены ниже.

#### 1. Модель Анкудинова

В соответствии с [2] модель была изначально разработана Анкудиновым и Якобсеном в 1996 году и была уточнена в 2000 году на основе полученных натуральных данных. Результаты были опубликованы в сборнике MARSIM 2000 [7]. Данный метод

внедрен для использования в математической модели судна в тренажере The Coastal and Hydraulics Laboratory's Ship Tow Simulator, Висксбург США.

Данный метод может использоваться при значениях числа Фруда по глубине  $Fr_H \geq 0,6$ . Максимальная просадка судна ( $S_{\max}$ ) является функцией коэффициента просадки по мидель-шпангоуту ( $S_m$ ) и дифферента судна и определяется по выражению:

$$S_{\max} = \begin{cases} S_b \\ S_s \end{cases} = \begin{cases} L_{pp} (S_m - 0,5 \cdot Tr) \\ L_{pp} (S_m + 0,5 \cdot Tr) \end{cases}, \quad (3)$$

где  $S_b$  – просадка носовой оконечности, м.;

$S_s$  – просадка кормовой оконечности;

$L_{pp}$  – конструктивная длина, м.;

$Tr$  – коэффициент дифферента.

Коэффициент просадки судна по мидель-шпангоуту может быть определена как:

$$S_m = (1 + K_P^S) \cdot P_{Hu} \cdot P_{Fr_H} \cdot P_{H/T} \cdot P_{+chl}, \quad (4)$$

где  $K_P^S$  – коэффициент влияния винта;

$P_{Hu}$  – коэффициент влияния корпуса на мелководье;

$P_{Fr_H}$  – коэффициент влияния скорости судна;

$P_{H/T}$  – коэффициент влияния глубины;

$P_{+chl}$  – коэффициент влияния канала.

Данные коэффициенты определяются по выражениям:

$$K_P^S = \begin{cases} 0,15 & \text{одновинтовое судно} \\ 0,13 & \text{двухвинтовое судно} \end{cases}. \quad (5)$$

$$P_{Hu} = 1,7 \cdot \delta \cdot \left( \frac{B \cdot T}{L_{pp}^2} \right) + 0,004 \cdot \delta^2, \quad (6)$$

где  $B$  – расчетная ширина судна, м.;

$T$  – осадка судна, м.;

$\delta$  – коэффициент полноты водоизмещения;

$$P_{Fr_H} = Fr_H^{(1,8+0,4 \cdot Fr_H)}. \quad (7)$$

$$P_{H/T} = 1,0 + \frac{0,35}{\left( \frac{H}{T} \right)^2}. \quad (8)$$

Коэффициент влияния канала используется при расчете просадки в условиях прорези на перекате, в условиях судоходного канала и определяется по формуле:

$$P_{+ch1} = 1,0 + 10 \cdot S_H - 1,5 \cdot (1,0 + S_H) \cdot \sqrt{S_H}, \quad (9)$$

где  $S_H$  – коэффициент влияния глубины канала.

Коэффициент влияния глубины канала определяется по выражению:

$$S_H = \delta \cdot \left( \frac{S}{H/T} \right) \cdot \left( \frac{H_T}{H} \right), \quad (10)$$

где  $S = \frac{A_s}{A_c}$  – коэффициент стеснения канала;

$A_s = \beta \cdot T \cdot B$  – площадь сечения мидель-шпангоута, м.;

$H_T$  – глубина прорези, м..

В формулу для расчета коэффициента дифферента кроме упомянутых выше коэффициентов влияния корпуса и скорости входят параметры, учитывающие влияние судовых винтов, наличия бульба и формы кормовой оконечности. Коэффициент дифферента судна определяется по выражению:

$$Tr = -1,7 \cdot P_{Hu} \cdot P_{FrH} \cdot P_{H/T} \cdot k_{Tr} \cdot P_{ch2}, \quad (11)$$

где  $P_{H/T}$  – коэффициент, учитывающий влияние винта на дифферент на мелководье;

$k_{Tr}$  – коэффициент дифферента;

$P_{ch2}$  – поправка дифферента из-за влияния канала.

Для расчета вышеприведённых параметров используются выражения (12), (13), (14).

$$P_{H/T} = 1 - e^{\left[ \frac{2,5 \cdot (1 - H/T)}{Fr_H} \right]}. \quad (12)$$

$$k_{Tr} = \delta^{n_{Tr}} - (0,15 \cdot k_p^S + k_p^T) - (k_B^T + k_{Tr}^T + k_{T1}^T). \quad (13)$$

Здесь:  $n_{Tr} = 2,0 + 0,8 \cdot \frac{P_{ch1}}{\delta}$ ;

$$k_p^T = \begin{cases} 0,15 & \text{одновинтовое судно} \\ 0,20 & \text{двухвинтовое судно} \end{cases};$$

$$k_B^T = \begin{cases} 0,1 & \text{судно с бульбом} \\ 0,0 & \text{судно без бульба} \end{cases};$$

$$k_{Tr}^T = \begin{cases} 0,04 & \text{транцевая кормовая оконечность;} \\ 0,0 & \text{обычная оконечность} \end{cases};$$

$$k_{T1}^T = \frac{(T_a - T_f)}{(T_a + T_f)};$$

где  $T_a, T_f$  - статические осадки соответственно кормой и носом;

$$P_{ch2} = 1,0 - 5 \cdot S_H.$$

Данный метод является довольно громоздким, так как авторы сделали попытку учесть максимальное количество параметров, влияющих на величину динамической просадки судна. Проверка данного метода на возможность применения к судам смешанного река – море плавания будет произведена в дальнейших исследованиях.

## 2. Метод Хууска - Гулиева

Данный метод был разработан Ю. Гулиевым и О. Хууска [8], [9] и имеет существенные ограничения в использовании: применим только для судоходных каналов; определяется только динамическая просадка носовой части судна. В основе лежит следующее выражение:

$$S_b = \frac{2,4 \cdot \delta \cdot B \cdot T}{L_{pp}} \cdot \frac{Fr_H^2}{\sqrt{1 - Fr_H^2}} \cdot k_S. \quad (14)$$

Поправочный коэффициент определяется по формуле:

$$k_S = \begin{cases} 7,45 \cdot S + 0,76 & \text{если } S > 0,03 \\ 1,0 & \text{если } S \leq 0,03 \end{cases}. \quad (15)$$

## 3. Метод Ерюзлу

Данная методика была разработана Н. Ерюзлу [10] и применяется для определения динамической просадки носовой части судна и применяется на неограниченном мелководье или прохождении прорезей на перекате. Методика используется Канадской береговой охраной для судов проходящих подходной канал реки Св. Лаврентия. Просадка определяется как:

$$S_b = 0,298 \cdot \frac{H^2}{T} \cdot \left( \frac{v}{\sqrt{g \cdot T}} \right)^{2,289} \cdot \left( \frac{H}{T} \right)^{-2,972} \cdot k_b \quad (15)$$

где  $k_b$  – поправочный коэффициент, учитывающий соотношение ширины ходовой полосы или прорези и ширины судна.

Коэффициент определяется по формуле:

$$k_b = \begin{cases} \frac{3,1}{\sqrt{W/B}} & \text{если } \frac{W}{B} < 9,61 \\ 1 & \text{если } \frac{W}{B} \geq 9,61 \end{cases}.$$

#### 4. Метод Рёмиша

Метод [11] Рёмиша был разработан для определения просадки судна в судоходном канале. В данном случае просадка определяется как:

$$S_s = C_V \cdot C_F \cdot k_{\Delta T} \cdot T. \quad (16)$$

Коэффициенты в этом выражении являются поправочными коэффициентами, являющимися функцией скорости судна  $C_V$ , формы обводов корпуса  $C_F$  и просадки при критической скорости  $k_{\Delta T}$ . Данные величины определяются по следующим формулам:

$$C_V = 8 \cdot \left( \frac{v}{v_{cr}} \right)^2 \cdot \left[ \left( \frac{v}{v_{cr}} - 0,5 \right)^4 + 0,0625 \right];$$

$$C_F = \begin{cases} \left( \frac{10 \cdot B \cdot \delta}{L_{pp}} \right)^2 & \text{просадка носом;} \\ 1,0 & \text{просадка кормой.} \end{cases};$$

$$k_{\Delta T} = 0,155 \cdot \sqrt{\frac{H}{T}}$$

Критическая скорость судна в канале  $v_{cr}$  зависит от волновой скорости и формы сечения канала и определяется по выражению:

$$v_{cr} = \sqrt{g \cdot H_m} \cdot \left[ 2 \cdot \cos \cdot \left( \frac{\pi}{3} + \frac{\arccos(1-S)}{3} \right) \right]^{1,5},$$

где  $H_m$  – средняя глубина канала.

#### Натурные методы определения динамической просадки судна.

Все современные натурные методы определения динамической просадки судна основываются на использовании высокоточных спутниковых навигационных систем. Так как при использовании только космического сегмента СНС определение координат с достаточной для поставленной цели точностью невозможно, возникает потребность в корректирующих сигналах от наземных станций. Наиболее доступными способами получения поправок в районе Городец – Кстово являются:

- Широкозонная DGPS;
- Virtual Reference Station (VRS) (Network RTK);
- Real Time Kinematic (RTK)(Single-Base RTK).

Широкозонная DGPS позволяет получать поправки через спутниковые каналы связи и доступна практически по всему миру.

VRS и RTK используют схожие технологии и различаются каналами передачи поправок. В системе VRS поправки передаются с помощью сети Интернет, обычно по мобильным каналам передачи данных GSM и более поздних технологий. В качестве базовых станций используются установленные государственными органами или коммерческими организациями передатчики поправок в точках с координатами, определенными с высокой точностью.

В системе RTK поправки передаются по радио - каналу. В качестве базовой станции может использоваться DGPS приемоиндикатор, установленный в координатах, известных с высокой точностью. Такой приемоиндикатор называется «базовой стан-

цией». Приемники-потребители таких поправок называются «роверами» и выполняют непосредственные измерения. Роверы могут быть установлены на подвижных объектах

Первый способ обеспечивает точность измерения высоты 6-10 метров, второй и третий 0,015 метра [12] с вероятностью 95 %.

Очевидно, что достаточной точностью для измерения величины динамической просадки обладают VRS и RTK технологии.

Так, в 2018 году группой австралийских ученых были проведены натурные наблюдения в порту Фримантл [13]. Авторы использовали приемники GPS Javad GNSS Triumph-1 в качестве базовой станции и GPS Javad GNSS Triumph-2 в качестве роверов.

Базовая станция была установлена на пирсе лоцманской станции, в точке с координатами, известными с высокой точностью. Роверы размещены на носу и на правом и левом крыле мостика. Схема размещения роверов представлена на рис.2.

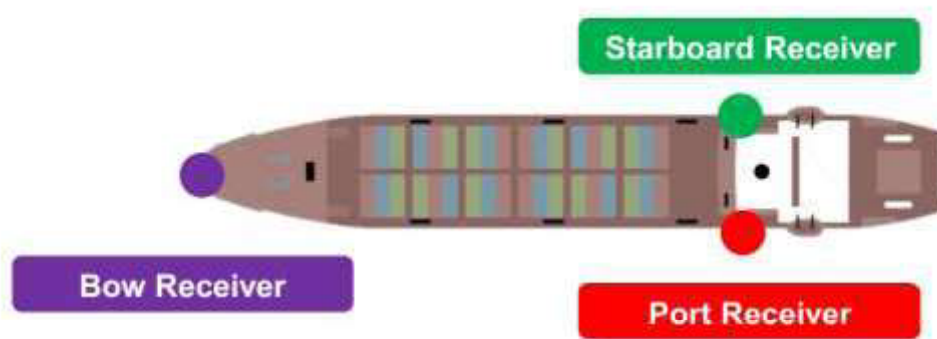


Рис.2. Схема размещения роверов.

Данная конфигурация позволяет с частотой 1 Гц фиксировать следующие параметры:

- просадку кормовой и носовой оконечностей;
- просадку на мидель-шпангоуте;
- динамическое изменение крена и дифферента судна.

При анализе результатов авторы определили источники и величины средних квадратических погрешностей измерений, которые приведены в табл..

Таблица

**Источники и величины средних квадратических погрешностей измерений 1**

Источники погрешностей	Величина СКП при 95 % вероятности, м.
Погрешности GPS приёмников	0,012
Ошибки в используемом геоиде (AUSGeoid09)	0,030
Погрешности установки базовой станции	0,016
Погрешности датчика высоты прилива	0,010
Погрешности в интерполяции приливного уровня на определенный момент времени	0,010
Погрешности в определении приливного уровня из-за наклона поверхности моря на приливной волне	0,010
Суммарная	0,040

В ходе испытаний были выполнены измерения при прохождении подходного канала порта трех судов контейнеровозов водоизмещением около 90000 тонн. Как показывают авторы исследования, натурные измерения дают хорошую сходимость с теоретическими методами, в частности Хууска – Гулиева.

Следует отметить, что суда, используемые на ВВП РФ, отличаются от крупных морских судов как обводами корпуса, так и конфигурацией ДРК, что ставит вопрос о применимости существующих расчетных методов к таким судам. Результаты проверочных расчетов могут быть оценены только с позиции судоводительского опыта, и результаты такой оценки являются весьма субъективными. Исходя из этого, проведение натурных испытаний по определению динамической просадки судов является необходимым компонентом исследований в области количественного и качественного теоретического предсказания такого явления.

#### **Адаптация натурных методов определения динамической просадки судна к условиям ВВП.**

Очевидно, что для обеспечения достаточной точности измерения высот необходимо применять VRS или RTK системы получения дифференциальных поправок. На участке р. Волга от Городца до Кстово доступны оба метода. Рассмотрим варианты применения обеих систем.

##### **Система VRS.**

В настоящее время на территории Нижегородской области действует коммерческая система NIVE [14] с обширным покрытием зон действия базовых станций. На рис.3. приведена карта зон покрытия в этом регионе. Более темным цветом обозначены зоны доступности дифференциальных поправок. Передача поправок потребителю осуществляется по каналам сотовой связи. В Нижнем Новгороде находятся три базовых станции и одна базовая станция в Кстово. Стоимость услуги 350 руб./день. Поскольку приемники СНС подобного класса точности имеют высокую стоимость (например стоимость Javad GNSS Triumph-1 составляет около 190000 тысяч рублей), более выгодно было бы рассматривать вопрос аренды подобного оборудования. Стоимость аренды одного комплекта (СНС приемник и периферийное оборудование) составляет 4000 руб./день [15]. В соответствии со схемой на рис.2. необходимо наличие трех комплектов.

##### **Система RTK.**

Для использования подобной конфигурации не требуется платной подписки для передачи дифференциальных поправок, в качестве базовой станции может выступать преоиндикатор соответствующей конструкции, установленный в точке с координатами, измеренными с высокой точностью. Так как для большинства гидросооружений была проведена высокоточная геодезическая съёмка, такие сооружения могут использоваться для установки базовой станции. В этом случае необходима установка трех комплектов роверов на судне и установка базовой станции. Использование данной системы убирает зависимость от наличия сотовой сети передачи данных, однако накладывает ограничения по удалению роверов от базовой станции. Так удаление на 12 километров ухудшает точность с 0,015 м. до 0,027 м.

##### **Источники погрешностей**

При адаптации методики к условиям ВВП путем отказа от выполнения измерений относительно абсолютного ноля высот возможно избавиться от ряда источников погрешностей. Так, если за ноль высот брать текущее положение преоиндикатора СНС в момент начала опыта, а затем при обработке использовать изменения высот, а не



сами высоты, то можно не принимать во внимание погрешности от используемого геоида, погрешности установки базовой станции, погрешности гидрологических датчиков измерения уровня воды. Однако погрешности в определении уклона уровня воды в реке останутся.



Рис.3. Карта покрытия сервиса NIVE.

### Регистрация дополнительных параметров

Для построения адекватной математической модели динамической просадки судна по результатам натурных наблюдений необходима запись дополнительных параметров. Важнейшими из них являются значения мгновенной глубины и скорости судна, синхронизированные с записями высот с приемников СНС.

Глубина с достаточной точностью может определяться с помощью штатного навигационного эхолота. Погрешность измерений современных приборов составляет 2,5 % от используемой шкалы. Для настоящих целей такая точность является достаточной. Частота записи значений равная 0,2 Гц позволит интерполировать значения глубин на частоту 1 Гц без потери точности. Частота 0,2 Гц выбрана из соображений возможности регистрации глубины вручную оператором, с фиксированием моментов времени по секундомеру относительно оперативного нуля времени, то есть точки начала опыта.

Фиксация значений мгновенной скорости с помощью приемоиндикаторов СНС не даст необходимой точности измерений, из за того, что скорость полученная таким методом измерена относительно грунта, а для составления математической модели просадки судна необходима скорость относительно обтекающего судна потока воды, а в предполагаемом районе наблюдений скорости течения могут достигать значительных величин. Современные относительные лаги имеют максимальную погрешность показаний не более 3%, что вполне приемлемо для целей данного исследования.

## **Выводы**

Очевидно, что оценка применимости существующих теоретических способов определения просадки судна к условиям плавания на ВВП необходима. Такая оценка должна основываться на результатах натуральных наблюдений. Проведение таких наблюдений без выезда в отдаленные регионы осуществимо с технической точки зрения. Однако с финансовой точки зрения выполнение испытаний требует денежных затрат.

## **Список литературы:**

1. C. V. Barrass, Thirty-Two Years of Research into Ship Squat, 2nd Squat Workshop 2004, Elsfleth, Germany, 3–4 March 2004.
2. Briggs, Michael & Vantorre, Marc & Uliczka, Klemens & Debailion, Pierre. (2010). Prediction of Squat for Underkeel Clearance. 10.1142/9789812819307\_0026
3. Управление судном и его техническая эксплуатация: Учебник для учащихся судоводит. спец. высш. инж. мор. училищ / Е.И Жуков [и др.]; под ред. А. И. Щетининой. – М.: Транспорт, 1983. – 655с.
4. Гофман, А.Д. Теория и расчет поворотливости судов внутреннего плавания / А.Д. Гофман. – Л.: «Судостроение», 1971.– 256 с.
5. Шанчуров, П.Н. Управление судами и составами на внутренних водных путях: учебник для ин-тов водн. трансп. / П.Н. Шанчуров. М.: Транспорт, 1966.– 272 с.
6. Чури́н, М.Ю. Динамическая просадка толкаемых составов и особенности её определения / М.Ю. Чури́н, А.Н. Клементьев, Е.В. Зубкова //Судовождение и безопасность плавания, водные пути, гидротехнические сооружения и экологическая безопасность судоходства: сб. науч. тр./ ВГАВТ. – Н.Новгород: ФГОУ ВПР ВГАВТ, 2020. – с.28-33.
7. Ankudinov, V., Dagett, L.L., HEWLETT, J. C., AND JAKOBSEN, B. K. 2000 Prototype measurement of ship sinkage in confined water, Proceedings, International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability(MARSIM '00), May 8 –12, Orlando, FL.
8. Guliev, U. M. 1971 On squat calculations for vessels going in shallow water and through channels, PIANC Bulletin, 1, 7, 17–20
9. Huuska, O. 1976 On the evaluation of underkeel clearances in Finnish waterways. Report No. 9, Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics laboratory, Finland
10. Eryzlu, N. E., Cao, Y. L., AND D'Agno, F. 1994 Underkeel requirements for large vessels in shallow waterways, Proceedings, 28th International Navigation Congress, PIANC, Paper S II-2, May 22–27, Sevilla, Spain, pp. 17–25
11. Romisch, K. 1989 Empfehlungen zur Bemessung von Hafeneinfahrten, Wasserbauliche Mitteilungen der Technischen Universität Dresden, 1, 39–63.
12. <http://gnss.spb.ru/zabluzhdeniya/o-zapadnykh-sistemakh-differentsialnoy-korreksii/>
13. Ha, J.H., and Gourlay, T.P. (2018). “Validation of Container Ship Squat Modeling Using FullScale Trials at the Port of Fremantle.” Journal of Waterway, Port, Coastal, and OceanEngineering, 144(1), DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000425.
14. Система HIVE. Режим доступа: <https://hive.geosystems.aero>
15. <http://geopribory.com/uslugi/arenda/aprenda-dvухчастотного-gps-glonass-комплекта-rtk-detail>

## **PRESENT-DAY APPROACHES TO FULL-SCALE TRIAL METHODS FOR DYNAMIC SHIP SQUAT DETERMINATION**

**Mikhail Y. Churin**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Yuri V. Bazhankin**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

*Abstract. The article defines necessity to use ship squat when computing underkeel clearance. Review of full-scale trials methods for squat with the use of global navigational satellite systems was made. Sources of method's errors were analyzed and its values were evaluated. Justification of necessity to adjust trial methods has been given, based on inland*

*waterways environment conditions of Gorodets – Kstovo route and performance of GNSS in this area. The authors defined parameters to be measured during full-scale trials for the purpose of numerical methods improvement.*

*Keywords: full-scale trials, numerical method, squat, global navigational satellite system altitude, accuracy of allitude measure, accuracy of soundings, accuracy of speed towards water*

#### References:

1. C. B. Barrass, Thirty-Two Years of Research into Ship Squat, 2nd Squat Workshop 2004, Eilsfleth, Germany, 3–4 March 2004.
2. Briggs, Michael & Vantorre, Marc & Uliczka, Klemens & Debaillon, Pierre. (2010). Prediction of Squat for Underkeel Clearance. 10.1142/9789812819307\_0026
3. Управление судном и его техническая эксплуатация: Учебник для учащихся судоводит. спец. высш. инж. мор. училищ / Е.И. Жуков [и др.]; под ред. А. И. Шхетининой. – М.: Транспорт, 1983. – 655 с.
4. Gofman, A.D. Теория и расчёт поворотливости судов внутреннего плавания / А.Д. Говман. – Л.: «Судостроение», 1971. – 256 с.
5. Shanchurov, P.N. Управление судами и составами на внутренних водных путях: учебник для ин-тов водн. трансп. / P.N. Shanchurov. М.: Транспорт, 1966. – 272 с.
6. Churin, M.Ju. Динамическая посадка толкаемых составов и особенности его определения / М.Ю. Чурин, А.Н. Клемент'ев, Е.В. Зубкова // Судовозждение и безопасность плавания, водные пути, гидротехнические сооружения и экологическая безопасность судоходства: сб. науч. тр. / VГАВТ. – N. Novgorod: FGOU VPR VГАВТ, 2020. – с.28-33.
7. Ankudinov, V., Daggett, L.L., HEWLETT, J. C., AND JAKOBSEN, B. K. 2000 Prototype measurement of ship sinkage in confined water, Proceedings, International Conference on Marine Simulation and Ship Maneuverability (MARSIM '00), May 8–12, Orlando, FL.
8. Guliev, U. M. 1971 On squat calculations for vessels going in shallow water and through channels, PIANC Bulletin, 1, 7, 17–20
9. Huuska, O. 1976 On the evaluation of underkeel clearances in Finnish waterways. Report No. 9, Helsinki University of Technology, Ship Hydrodynamics laboratory, Finland
10. Eryzlu, N. E., Cao, Y. L., AND D'Agno, F. 1994 Underkeel requirements for large vessels in shallow waterways, Proceedings, 28th International Navigation Congress, PIANC, Paper S II-2, May 22–27, Sevilla, Spain, pp. 17–25
11. Romisch, K. 1989 Empfehlungen zur Bemessung von Hafeneinfahrten, Wasserbauliche Mitteilungen der Technischen Universität Dresden, 1, 39–63.
12. <http://gnss.spb.ru/zabluzhdeniya/o-zapadnykh-sistemakh-differentsialnoy-korreksii/>
13. Ha, J.H., and Gourlay, T.P. (2018). “Validation of Container Ship Squat Modeling Using Full Scale Trials at the Port of Fremantle.” Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 144(1), DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000425.
14. Sistema HIVE. Rezhim dostupa: <https://hive.geosystems.aero>
15. <http://geopribory.com/uslugi/arenda/arenda-dvuhchastotnogo-gps-glonass-komplekta-rtk-detail>

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Михаил Юрьевич Чурин**, к.т.н., доцент, доцент кафедры Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [dek\\_fso@vsuwt.ru](mailto:dek_fso@vsuwt.ru)

**Юрий Владимирович Бажанкин**, к.т.н., доцент кафедры Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),

**Mikhail Y. Churin**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Ship Handling and Navigation Safety Department, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

**Yuri V. Bazhankin**, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the