

METHOD FOR ASSESSING THE COORDINATES OF THE GENERAL CENTER OF GRAVITY OF MASSES COMPOSING THE SHIP CONSTANT

S. V. Ermakov

Baltic Fishing Fleet State Academy FSBEI HE «KSTU»,
Kaliningrad, Russian Federation

The present work is devoted to the substantiation of the calculation method for determining the coordinates (abscissa and ordinate) of the general center of gravity of «the ships constant» — non-measurable load items whose total mass is determined by the difference between the actual (calculated from the draft) mass of the empty vessel and the mass of the empty vessel specified in the documentation, and is taken into account when determining the mass of the cargo according to the draft of the vessel (by draft survey method). To determine the coordinates of the center of gravity, it is proposed to use the software installed on the vessel for stability calculation (in terms of the International Code on Intact Stability, 2008 — part of the stability instrument). To determine the abscissa, one should use the draft of the vessel measured by the marks of the recesses, estimate the difference between the actual and calculated ship draft, by discrete change of the abscissa of the center of gravity, laid down in the program, and achieve equality of actual and estimated draft. As a result, the desired value will be the value of the abscissa at which the indicated equality of values of the vessel's draft is observed. To determine the ordinate, the actual value of the transverse metacentric height (i. e. obtained differently than using a computer program) must be available. The captain formula is proposed to use for this purpose. The further algorithm is similar to the algorithm for determining abscissas — the desired ordinate value will be observed in the program when the actual and obtained using the stability instrument transverse metacentric heights are equal.

The possibility of practical realization of substantiated method is demonstrated using real stability instrument applied in marine vessel (bulk carrier). During the computational experiment, it was found that the input of arbitrary or intuitively valid coordinates of the center of gravity of “dead load” can lead to significant errors in the calculation of the transverse metacentric height. In turn, these errors can become a source of error in assessing the vessel stability. Thus, the use of the substantiated method and the results of its application in calculating stability prevent the occurrence of such errors.

Keywords: ship constant, center of gravity, coordinates.

For citation:

Ermakov, Sergey V. “Method for assessing the coordinates of the general center of gravity of masses composing the ship constant.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiralа S. O. Makarova* 12.3 (2020): 492–503. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-492-503.

УДК 656.61.052

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ «МЕРТВОГО ЗАПАСА» (КОНСТАНТЫ)

С. В. Ермаков

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Российская Федерация

Выполнено обоснование расчетной методики для определения координат (абсциссы и аппликаты) центра тяжести «мертвого запаса» (судовой постоянной, судовой константы) — не подлежащих измерению статей нагрузки, общая масса которых определяется разностью между фактической (расчитываемой по осадкам) массой судна порожнем и массой судна порожнем, указанной в документации, и принимаемого во внимание при определении массы груза по осадкам судна (методом драфт-сюрвея). Для определения координат центра тяжести «мертвого запаса» предлагается использовать программное обеспечение, установленное на судне для расчета остойчивости (в терминах «Международного кодекса остойчивости судов в неповрежденном состоянии 2008 года» является частью ее инструмента). Под-

черкивается, что для определения абсциссы следует использовать снятые по маркам углублений (фактические) осадки судна, оценить разность между фактическими и рассчитанными программой значениями осадок, дискретным изменением абсциссы центра тяжести «мертвого запаса», заложенной в программе, а также добиться равенства фактических и расчетных осадок. Отмечается, что в итоге искомым будет являться то значение абсциссы, при котором наблюдается указанное равенство. Для определения ординаты необходимо иметь в распоряжении фактическое значение поперечной метацентрической высоты, т. е. полученное иначе, чем при помощи компьютерной программы. Для этой цели предлагается использовать капитанскую формулу. Исследован алгоритм, аналогичный алгоритму для определения абсциссы — искомое значение ординаты будет наблюдаться в программе при равенстве фактического и полученного при помощи инструмента остойчивости значений поперечной метацентрической высоты.

Возможность практической реализации обоснованной методики продемонстрирована при помощи реального инструмента остойчивости, используемого на морском судне (балкере). В процессе проведенного вычислительного эксперимента установлено, что ввод произвольных или интуитивно обоснованных значений координат центра тяжести «мертвого запаса» может привести к появлению значимых погрешностей в расчете поперечной метацентрической высоты. В свою очередь, эти погрешности могут явиться источником ошибки в оценке остойчивости судна. Таким образом, использование предложенной обоснованной методики и результатов ее применения при расчете остойчивости предупреждает возникновение подобных ошибок.

Ключевые слова: «мертвый запас», центр тяжести, координаты.

Для цитирования:

Ермаков С. В. Методика оценки координат центра тяжести «мертвого запаса» (константы) / С. В. Ермаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 492–503. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-492-503.

Введение (Introduction)

Главной задачей, реализуемой при помощи постоянного мониторинга окружающей обстановки и контроля элементов движения судна, его местоположения и мореходных качеств, решение которой является обязательным для судоводителя во время рейса, служит постоянное обеспечение безопасности судна и экипажа. К мореходным качествам судов и, в первую очередь, к остойчивости, международные и национальные нормативно-правовые акты предъявляют достаточно жесткие требования [1]–[4].

Обязанность выполнения расчетов остойчивости возникает у судоводителя перед каждым выходом в море и при любом изменении параметров загрузки судна. В современном мореплавании расчеты остойчивости производятся, как правило, с использованием специализированных программ для ЭВМ [5], что практически исключает возможность появления ошибок в вычислениях. В таком случае достоверность результата определяется точностью введенных данных и достигается только в том случае, если при расчете использовались значения, максимально приближенные к истинным. В частности, для вычисления аппликаты центра тяжести (ЦТ) судна и поперечной метацентрической высоты (МВ) необходимо иметь в распоряжении достаточно точные значения аппликат ЦТ и массы размещенных на судне грузов. В противном случае, т. е. при использовании в расчетах недопустимых приближений, полученное значение МВ может включать такие не оцененные погрешности, которые могут инициировать неверные решения по обеспечению безопасности судна.

Если какая-либо величина, необходимая для расчета остойчивости, не подлежит измерению, то следует иметь инструмент, позволяющий ее оценить косвенным способом. В том случае, когда для такой величины имеет место интервальная оценка, при расчете остойчивости следует принимать во внимание такое значение величины из интервала, которое при прочих равных условиях дает в результате наихудшее значение метацентрической высоты, т. е. необходимо придерживаться принципа «держаться ближе к опасности». Подобный подход использован, например, при установлении Российским морским регистром судоходства стандарта в отношении аппликаты ЦТ загруженного контейнера. В соответствии с этим стандартом следует принимать положение ЦТ в геометрическом центре контейнера, т. е. на половине его высоты. Как показано в работе [6], фактически центр тяжести контейнера при стандартной загрузке располагается,

как правило, ниже геометрического центра. Следовательно, фактическое значение поперечной МВ практически всегда больше расчетного. Таким образом, принимая при расчетах аппликату ЦТ такой, как установлено, Правилами классификации и постройки морских судов РМРС, поперечную метацентрическую высоту получают минимальной из всех значений, возможных при различных вариантах размещения грузов в контейнерах.

Косвенную оценку координат ЦТ необходимо выполнять не только для грузов, размещенных в контейнерах, но и в отношении других грузов. Настоящая работа имеет своей целью обоснование методики определения координат ЦТ так называемого «мертвого запаса» — груза, который не имеет коммерческого характера, явно выраженных массово-габаритных характеристик и конкретного размещения на судне. На практике «мертвый запас» строго принимают во внимание только при определении по осадкам массы принятого или сданного груза, т. е. при использовании метода драфт-сюрвея [7]–[11], когда имеет значение только его величина, но не координаты ЦТ. Большинство компьютерных программ для расчета остойчивости также требуют ввода информации о «мертвом запасе», однако при известной его массе абсцисса и аппликата для этого «груза» вводятся в большинстве случаев произвольно или установлены по умолчанию и каких-либо общепринятых методик оценки этих величин не существует.

На первый взгляд, масса, соответствующая «мертвому запасу», имеет на практике такие небольшие значения, что погрешности, вызванные незнанием координат его ЦТ, не могут привести при расчетах к критичным погрешностям метацентрической высоты. Однако любая методика, реализация которой приводит к уточнению критериев остойчивости с минимальными затратами вычислительных и иных ресурсов, играет положительную роль при выполнении процедуры оценки остойчивости. В случае наличия возможности избежать игнорирования каких-либо погрешностей необходимо ею воспользоваться. Кроме того, экипаж и груз, например, имея меньшую, чем «мертвый запас» массу, в программах по расчету остойчивости учитываются отдельными статьями нагрузки со своими координатами ЦТ.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В настоящее время на судах перевозят огромное количество таких грузов, массу которых невозможно определить визуально, также очень затруднительно подсчитать точное количество груза, которое может поместиться в трюм. Речь идет о перевозке зерна, бокситов, удобрений и многих других навалочных, насыпных и наливных грузов. Очень часто их количество определяется уже на борту судна, зная его осадку и значения постоянных составляющих нагрузки [7]–[11]. Подобный метод определения массы груза называется *драфт-сюрвей*. Суть его заключается в том, что по рассчитанной средней осадке определяют водоизмещение судна, находят поправки к нему и вычисляют истинное водоизмещение судна. Далее путем замеров определяют массу всех переменных запасов. Массу груза вычисляют как разность водоизмещений *до* и *после* погрузки / выгрузки с учетом изменения массы переменных запасов.

Понятие «мертвый запас» не принято к официальному употреблению в литературе, вместо него чаще употребляется понятие «судовая постоянная», или «константа» [11]. Однако в настоящей работе оно рассматривается в контексте оценки остойчивости судна, т. е. как некоторый груз со своими координатами ЦТ. Из приведенных ранее трех терминов: «мертвый запас», «судовая постоянная», «константа» понятию «груз» в большей степени соответствует термин «мертвый запас» («судовая постоянная», «константа» — это по определению только числа, характеризующие груз).

«Мертвый запас» — это разность между фактическим водоизмещением судна порожнем, определяемым путем замера осадки разгруженного судна за вычетом массы всех поддающихся измерению находящихся на борту грузов (запасов), и массой порожнего судна, указанной в судовых документах. Последняя, известная в результате процедуры кренования, сообщается судостроителем. Однако подобное определение не дает понимания состава «мертвого запаса».

В общем случае под «мертвым запасом» следует понимать любую неучтенную, вследствие неизмеряемости или других причин, нагрузку на борту судна, т. е. все то, что нельзя точно про-

считать и что находится на судне постоянно без изменения в течение всего времени проведения грузовых работ. В первую очередь, к «мертвому запасу» относятся остатки жидких грузов в опорожненных танках, цепных ящиках, цистернах, оставшиеся в них ил, грязь, ржавчина, краска на корпусе и надстройках судна и т. п. Причиной остатков жидкости в танках и цистернах может служить неправильная форма днища танка, которая подверглась разрушению от ржавчины или его деформация вследствие удара. Кроме того, из-за влияния ржавчины, может быть повреждена осушительная магистраль в трюме, вследствие чего невозможно полное удаление жидкого груза. Каждый сантиметр жидкости, который не удалось откачать, оказывает влияние на величину «мертвого запаса». Также к «мертвому запасу» можно отнести судовое оборудование, которое не было предусмотрено при начальной постройке судна, но в силу специфики перевозимых грузов и особенностей портов захода стало неотъемлемой его частью. К последнему можно отнести шифтингбордсы — съемные трюмные переборки, устанавливаемые при погрузке некоторых видов сыпучих грузов, а иногда также для того, чтобы разделить между собой некоторые насыпные грузы, что позволяет перевозить несколько разных видов сыпучих грузов одновременно, исключив их перемешивание. Вес одной такой переборки может достигать нескольких тонн. К «мертвому запасу» относятся также и другие механизмы для крепления груза, а именно: стойки для крепления некоторых грузов на крышках трюмов, твистлоки, талрепы и другие устройства для крепления контейнеров на палубе.

Часто суда, которые имеют свои краны, перевозят на палубе грейферы, используемые для разгрузки / погрузки. Такая ситуация характерна для регионов, где местные порты не всегда могут предоставить свои грузозахватные приспособления. По этой же причине возможны перевозки различных спредеров и других устройств, предназначенных для подъема грузов. Новое оборудование на судне может появиться и при смене района плавания. Например, для того, чтобы судно могло зайти в некоторые порты Канады, на нем необходимо установить специальные стрелы, которые используют для подачи швартовных концов. Подобные требования для захода судна устанавливают портовые власти.

В судовой документации вес этого оборудования чаще всего не учитывается, так как оно появилось на судне уже после его постройки, зачастую спустя некоторое время после начала его эксплуатации. Суда продаются, экипажи сменяются и иногда вновь прибывший вахтенный помощник капитана уже не знает, внесены ли такие элементы в документацию и программы для расчета остойчивости или нет. Конечно, вес каждого отдельного приспособления и оборудования незначителен и не может оказать серьезного влияния на результаты драфт-сюрвея, однако их сумма, в совокупности с накопившейся на судне неоткачанной водой, грязью и ржавчиной, дает большую погрешность.

К «мертвому запасу» иногда относят также слой снега со льдом, которыми покрывается судно при работе в северных регионах [12]–[14]. Очевидно, что определить точное значение «мертвого запаса» в таких условиях является невыполнимой задачей. Также к «мертвому запасу» можно отнести и результаты обрастания корпуса, которое оказывает влияние на водоизмещение судна [15]. Наибольшему обрастанию подвержены судна, которые в течение длительного периода времени находятся у причала. Скорость обрастания корпуса судна зависит также от района плавания и времени года. В итоге масса судна может увеличиться на десятки тонн [16].

Наибольшей точности в определении величины «мертвого запаса» можно достичь, если вахтенные помощники будут фиксировать такие конструктивные изменения судна, которые оказывают влияние на значение этой величины (например, установка нового шифтингбордса или новой стрелы) и рассчитывать вес получаемого снабжения и различного оборудования. Желательно проводить работы по удалению грязи и воды из цепного ящика, очищать от ила балластные танки. Такие процедуры помогут избежать увеличения «мертвого запаса». Однако на многих судах, из-за интенсивной работы, возможность выполнения таких операций отсутствует. Из приведенного описания «мертвого запаса» следует, что несмотря на свое название, он не является величиной постоянной. В процессе эксплуатации судна значение «мертвого запаса» по объективным причинам (заиливание балластных танков, обрастание и др.) постепенно увеличивается. Например,

ежегодное уменьшение грузоподъемности танкеров, из-за накопления в корпусе судна ржавчины, составляет 0,2 % от массы перевозимого груза, причем ремонт и очистка не приводят к полному восстановлению грузоподъемности [12]. Масса «мертвого запаса» может изменяться на величину, измеряемую десятками тонн, достигая значений в сотни тонн.

Приведенное ранее определение «мертвого запаса» только как неучтенного груза является не совсем полным. Существует ряд причин расхождения фактической и «документальной» массы судна порожнем, не связанных с накоплением лишнего груза, которое возникает при длительной эксплуатации судна [12]. Именно эти причины могут приводить к появлению, на первый взгляд, парадоксальной ситуации, когда значение «мертвого запаса» принимается отрицательным. Так, некоторые суда используют калибровочные таблицы для балластных танков и данные по корпусу судна, разработанные для другого судна этого же типа, которое имеет некоторые отличия. Еще одна причина может заключаться в погрешностях грузовой шкалы, которая смещена выше или ниже своего реального положения. Часто причиной ошибок является дифферент судна, если его значение значительно больше допустимого [12].

Метод драфт-сюрвея выполняется только при перевозке сыпучих и навалочных грузов, т. е. когда перевозимые объекты нельзя подсчитать поштучно. При любых остальных видах грузоперевозок проведение процедуры определения количества принятого груза по осадкам не выполняется, так как количество перевозимых объектов нормируется конкретным числом и в определении масс принятого груза не возникает проблем. Таким образом, контейнеровозы, лесовозы, суда, перевозящие генеральные грузы, и прочие суда, не занимающиеся перевозкой сыпучего и навалочного материалов и поэтому не проводящие драфт-сюрвей, не имеют возможности уточнять значение массы «мертвого запаса».

Если рассматривать «мертвый запас» не только в контексте метода драфт-сюрвея, но и в целях его учета при оценке остойчивости, то следует указать еще одну его особенность. В отличие от большинства других грузов составляющие «мертвого запаса» располагаются в разных частях судна (в различных координатах), однако при расчете остойчивости во внимание принимается один (общий) центр тяжести «мертвого запаса».

Результаты (Results)

Если методика нахождения величины «мертвого запаса» понятна даже из ее определения и успех ее определяется тем, насколько точно судоводитель учитывает изменение количества различных запасов, то рекомендации по определению координат центра тяжести «мертвого запаса» до сих пор нигде не представлены. Эту величину можно найти в информации об остойчивости, однако с течением времени, по понятным причинам, это значение все больше будет отличаться от действительного. Не зная точной величины составляющих «мертвого запаса» и того, как они распределены на судне, найти точные координаты его ЦТ не представляется возможным. Для решения этой проблемы предлагается описанная далее методика оценки координат, инструментальной основой которой является судовая программа для ЭВМ, предназначенная для расчета остойчивости.

Для оценки ординаты центра тяжести (ее координаты y) примем допущение о том, что элементы, составляющие «мертвый запас», относительно диаметральной плоскости распределены равномерно. Очевидно, что это допущение можно принять $y = 0$.

Главным признаком того, что принимаемая к расчету абсцисса центра тяжести МЗ не соответствует действительной ($x_{\text{МЗ}_{\text{расч}}} \neq x_{\text{МЗ}_{\text{факт}}}$), является различие расчетных осадок носом и кормой, полученных с помощью инструмента остойчивости (программы для ЭВМ), и осадок фактических ($d_{\text{н.расч}} \neq d_{\text{н.факт}}; d_{\text{к.расч}} \neq d_{\text{к.факт}}$). При появлении этого признака вахтенному помощнику капитана необходимо уточнить массы жидкостей во всех цистернах и танках, и затем еще раз проверить количество принятого груза. Если ошибок не обнаружено, то необходимо изменить значение абсциссы «мертвого запаса», это следует делать в соответствии со следующим алгоритмом.

Вначале необходимо оценить направление, по которому требуется «сместить» вдоль диаметральной плоскости «мертвый запас» (в нос или в корму), т. е. определить дальнейший порядок

действий с расчетным значением абсциссы: следует ли ее увеличивать или уменьшать. Правило оценки направления смещения по осадке носом можно сформулировать следующим образом: если расчетное значение осадки больше фактического (измеренного), то абсциссу необходимо уменьшать ($d_{н.расч} > d_{н.факт} \Rightarrow x_{МЗрасч} \searrow$), и наоборот, абсциссу следует увеличивать, если судно заглублено носом больше, чем это получено при расчете программным способом ($d_{н.расч} < d_{н.факт} \Rightarrow x_{МЗрасч} \nearrow$).

Далее необходимо изменять (увеличивать или уменьшать — в зависимости от того как определено) значение абсциссы в соответствующей ячейке программы до того момента, пока расчетные значения осадок не совпадут с фактическими ($d_{н.расч} = d_{н.факт}$; $d_{к.расч} = d_{к.факт}$). Зафиксированное в этот момент значение абсциссы и будет являться фактическим (или, точнее, вероятнейшим) для «мертвого запаса» ($x_{МЗрасч} = x_{МЗфакт}$). В итоге для определения абсциссы ЦТ «мертвого запаса» необходимо, варьируя в программе по расчету остойчивости значение x , получить значения снятых (измеренных) осадок.

Аналогичным образом определяется и аппликата центра тяжести: ее изменением необходимо добиться, чтобы аналитически рассчитанное значение поперечной метацентрической высоты совпало с ее значением, полученным опытным путем. Однако альтернативные программному экспериментальные методы определения h не настолько просты и очевидны, как алгоритм снятия осадок. Так, для опытной оценки поперечной метацентрической высоты можно использовать известную «капитанскую» формулу [17]–[19]:

$$\tau_0 = CB/\sqrt{h}, \quad (1)$$

где τ_0 — период бортовой качки судна на тихой воде; B — ширина судна; C — эмпирический коэффициент, зависящий от форму судна, наличия и размеров скуловых и килей и других выступающих частей.

Из «капитанской» формулы следует выражение

$$h = (CB/\tau_0)^2. \quad (2)$$

Недостаток использования формулы (2) заключается в том, что при расчете довольно затруднительно обеспечить достаточную точность определения h . Иные экспериментальные методы (например, кренование) являются очень трудоемкими. На практике можно использовать *упрощенный эвристический метод*, заключающийся в формулировании и использовании следующей системы правил:

– если есть основание предполагать, что массу «мертвого запаса» составляют только остатки жидких грузов в танках и цистернах, то аппликату его центра тяжести следует принимать исходя из того, что вся масса находится в самом «высоком» танке или цистерне;

– если есть основание предполагать, что по вертикали «мертвый запас» распределен равномерно до верхней палубы (например, вместе с неоткачанными жидкостями частью «мертвого запаса» являются размещенные на палубе, равные этим жидкостям по массе малогабаритные устройства и приспособления), то за аппликату «мертвого запаса» следует принимать половину высоты надводного борта;

– если есть основание предполагать, что по вертикали «мертвый запас» распределен равномерно по всей высоте судна (например, вместе с неоткачанными жидкостями частью «мертвого запаса» являются размещенные на палубе, равные этим жидкостям по массе, «высокие» приспособления), то за аппликату «мертвого запаса» следует принимать высоту надводного борта.

Очевидно, что представленные правила являются:

- гипотетическими;
- допускающими множество промежуточных правил;
- основанными на принципе «держаться ближе к опасности»;
- требующими конкретизации для каждого судна;
- зависящими от грамотности лица, их формулирующих и применяющих, и от его внутреннего восприятия потенциальной опасности, которая может появиться из-за погрешности принятой к расчету аппликаты.

Обсуждение (Discussion)

Демонстрацию практического применения описанной ранее методики проведем с использованием программного обеспечения для расчета остойчивости, используемого на реальном судне — балкере валовой вместимостью 5629 и длиной 108,2 м, находящемся в балласте. Первоначально принималось, что «мертвый запас» массой 95 т размещался в координатах $x_1 = LCG = 10$ м и $z_1 = VCG = 2,21$ м и создавал моменты $M_{x1} = 950$ т·м и $M_{z1} = 209,95$ т·м. При этом расчетная осадка оказалась равной: носом — $d_{н.расч1} = T_{fcorr1} = 2,99$ м, кормой — $d_{к.расч1} = T_{acor1} = 4,90$ м (рис. 1).

	W	LCG	Mx	VCG	Mz	
Container	0	18	0,00	12,5	0,00	
Constanta	95	10	950,00	2,21	209,95	
	95	10,00	950,00	2,21	209,95	

	W	LCG	Mx	VCG	Mz	FSM
Light Ship	3029,2	-5,826	-17648,12	7,772	23542,94	
Cargo	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
DWT	2708,43	5,60	15158,79	2,51	6808,80	804,40
Displacement	5737,63	-0,43	-2489,33	5,29	30351,75	804,40

LCG	-0,43	GM'	0,14	Density	1,025	Propeller	143%
LCB	2,78	KG=VCG	5,29	TRIM	-1,91	FW corr	0,00
BG	-3,21	TKM	8,73	Tmean	3,90		
LCF	1,93	GM	3,30	TF	2,97	Tf corr	2,99
MTC	96,25	KG'	5,43	TA	4,89	Ta corr	4,90

Рис. 1. Осадки судна и поперечная метацентрическая высота, полученные при исходных значениях координат центра тяжести «мертвого запаса»

Фактические осадки оказались следующие: $d_{н.факт1} = 3,04$ м, кормой — $d_{к.факт1} = 4,84$ м. Поскольку имеет место неравенство $d_{н.расч1} < d_{н.факт1}$, значение абсциссы центра тяжести «мертвого запаса» следует увеличивать.



Рис. 2. Процесс изменения значений осадки судна носом при увеличении абсциссы центра тяжести «мертвого запаса»

В процессе вычислительного эксперимента увеличение массы производили с дискретностью в 1 м (рис. 2). В итоге при значении аппликаты «мертвого запаса» $x_2 = 21$ м расчетная и фактическая осадки носом оказались равны (рис. 3).

	W	LCG	Mx	VCG	Mz	
Container	0	18	0,00	12,5	0,00	
Constanta	95	21	1995,00	7,88	748,60	
	95	21,00	1995,00	7,88	748,60	

	W	LCG	Mx	VCG	Mz	FSM
Light Ship	3029,2	-5,826	-17648,12	7,772	23542,94	
Cargo	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
DWT	2708,43	5,98	16203,79	2,71	7347,45	804,40
Displacement	5737,63	-0,25	-1444,33	5,38	30890,40	804,40

LCG	-0,25	GM'	0,14	Density	1,025	Propeller	141%
LCB	2,78	KG=VCG	5,38	TRIM	-1,81	FW corr	0,00
BG	-3,03	TKM	8,73	Tmean	3,90		
LCF	1,93	GM	3,21	TF	3,03	Tf corr	3,04
MTC	96,25	KG'	5,52	TA	4,83	Ta corr	4,84

Рис. 3. Осадки судна и поперечная метацентрическая высота, полученные при измененных (откорректированных) значениях координат центра тяжести «мертвого запаса»

Для оценки аппликаты ЦТ «мертвого запаса» первоначально рассчитаем эмпирический коэффициент C «капитанской» формулы (1), используя следующее его представление, данное в публикации [17]:

$$C = 0,7487 + 0,0456B/d_{cp} - 0,000864L. \quad (3)$$

В этом случае $C = 0,7487 + 0,0456 \cdot 18,2/3,94 - 0,000864 \cdot 108,2 = 0,866$.

Таким образом, формулу (2) можно переписать следующим образом (для рассматриваемого судна):

$$h = (0,866 \cdot 18,2/\tau_0)^2 = 248,3/\tau_0^2, \quad (4)$$

и представить для наглядности графически (рис. 4).

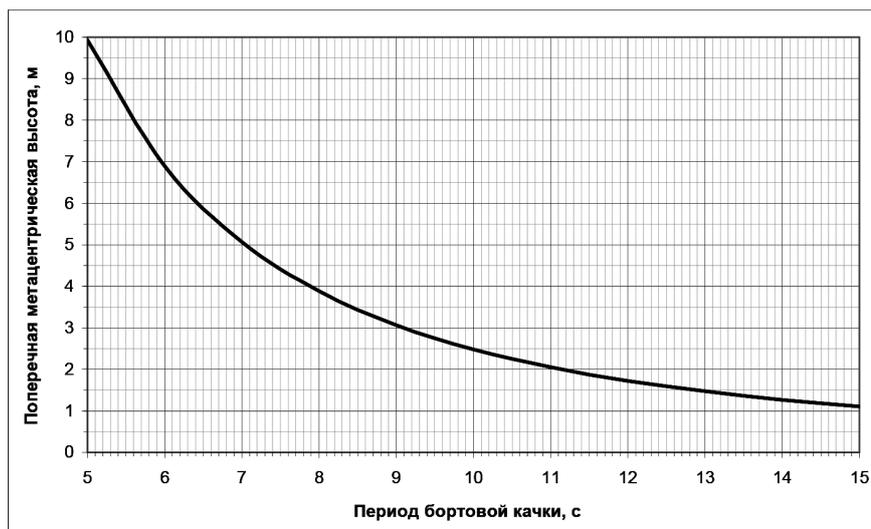


Рис. 4. Зависимость поперечной метацентрической высоты от периода бортовой качки для рассматриваемого варианта посадки судна (капитанская формула)

В дальнейшем принимаем к анализу измеренное значение периода собственных колебаний судна $\tau_0 = 8,8$ с и используя формулу (4) или рис. 4, получим $h_{\text{факт}} = 3,21$ м. Очевидно, что рассчитанная поперечная метацентрическая высота отличается в меньшую сторону от полученной

программным способом при $z_1 = VCG = 2,21$ м и $h_{np} = GM = 3,30$ м (см. рис. 1). Следовательно, к расчету в программе принимается заниженное значение аппликаты центра тяжести и ее необходимо увеличивать. На рис. 5 представлена полученная в результате расчета в программе зависимость поперечной метацентрической высоты от аппликаты центра тяжести «мертвого запаса». По этому графику определяем, что при $h = 3,21$ м будет иметь место и устанавливаем последнее значение в соответствующую ячейку (см. рис. 3). Аналогичный результат можно получить, используя кривую зависимости аппликаты ЦТ «мертвого запаса» от периода бортовой качки судна (рис. 5).

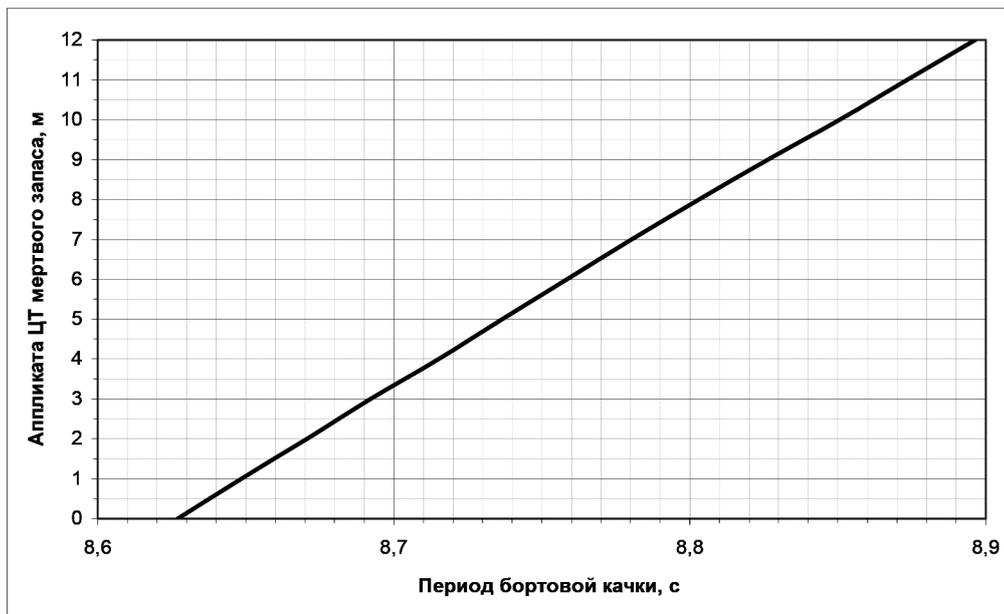


Рис. 5. Зависимость аппликаты центра тяжести «мертвого запаса» от периода бортовой качки для рассматриваемого варианта посадки судна

Таким образом, имеем, что погрешность аппликаты ЦТ «мертвого запаса», равная 5,57 м, привела к погрешности поперечной метацентрической высоты, равной 9 см.

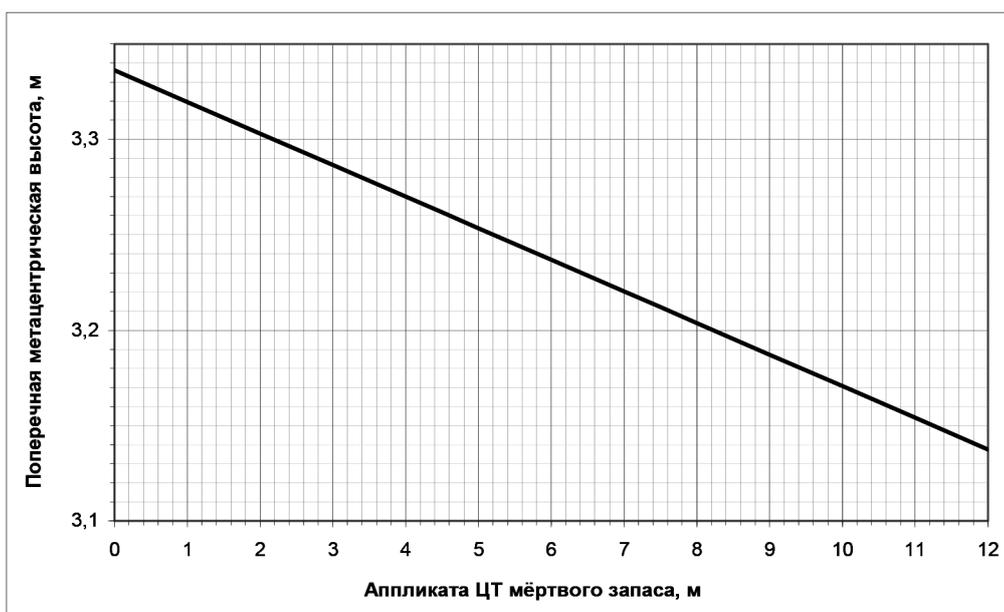


Рис. 6. Зависимость расчетного значения поперечной метацентрической высоты судна от вводимой аппликаты центра тяжести «мертвого запаса» для рассматриваемого варианта посадки судна

В целях более полного анализа такой погрешности был построен график (рис. 6), на основе которого можно сделать вывод о том, что погрешность поперечной метацентрической высоты, обусловленная некорректным вводом аппликаты ЦТ «мертвого запаса», может достигать 20 см.

Заключение (Conclusion)

Научно-технический прогресс и сопровождаемое его развитие технологий (в том числе вычислительных) позволили автоматизировать большую часть процесса расчета остойчивости судна и повысить точность вычислений. Однако вследствие различных причин, связанных, в первую очередь, с приближениями и допущениями в отношении исходных для расчета данных, погрешности вычислений еще нельзя однозначно и без отрицательных последствий считать «практически нулевыми», допустимыми и не оказывающими влияния на решения по обеспечению остойчивости. Одна из таких причин, которая является предметом рассмотрения в настоящей статье, заключается в некорректном учете при расчете остойчивости «мертвого запаса» и координат его центра тяжести, значения которых определяются (уточняются по отношению к предустановленным) интуитивно, без какого-либо научного обоснования, несмотря на то, что масса «мертвого запаса» имеет, как правило, небольшие значения как в абсолютном, так и в процентном отношении. Некорректное указание координат его ЦТ приводит к появлению погрешностей в расчете поперечной метацентрической высоты, которые при небольшом запасе остойчивости судна могут вызвать ошибки в ее оценке. Предложенная в статье методика определения (оценки) координат центра тяжести «мертвого запаса», основанная на использовании «штатного» судового программного обеспечения, позволяет свести эти погрешности к возможному минимуму.

Для оценки координат необходимо с помощью изменений их значений, указанных в соответствующих ячейках программы для ЭВМ, привести значения осадок судна и поперечной метацентрической высоты к фактическим, полученным иным (опытным) способом. Полученные однократно значения координат ЦТ можно использовать в дальнейшем при расчетах в течение длительного периода времени до того, как появятся основания считать, что «мертвый запас» принципиально изменил свое содержание и местоположение. Кроме того, значения координат, полученные при помощи представленной методики, в отдельных случаях позволят оценить или переоценить характер «мертвого запаса» (его содержание), выявить конкретные элементы, составляющие его массу и учесть их (если это возможно) при расчете остойчивости вне «мертвого запаса». Следует отметить, что исходя из содержания метода расчетного определения осадок судна и поперечной метацентрической высоты и вследствие присутствующей некоторой неопределенности природы «мертвого запаса», представленная в данной работе методика оценки координат, по сути, является методикой оценки моментов M_x и M_z , вызываемых «мертвым запасом», однако это не оказывает влияния на алгоритм ее практического применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов А. Н. Система оперативной оценки остойчивости судна / А. Н. Суслов, В. Ю. Семёнова, М. А. Кутейников // Морской вестник. — 2016. — № 2 (58). — С. 111.
2. Бугаев В. Г. Обеспечение вместимости, посадки и начальной остойчивости в задачах оптимизации судов / В. Г. Бугаев, Т. М. До, В. Т. Дам // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. — 2019. — № 4 (41). — С. 55–63. DOI: 10.24866/2227-6858/2019-4-5.
3. Великанов Н. Л. Остойчивость рыболовных судов на промысле / Н. Л. Великанов, С. И. Корягин, В. В. Ярисов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2014. — № 37. — С. 23–28.
4. Болгарчук В. С. Некоторые несоответствия требований обязательных инструментов ИМО в нормировании остойчивости судна, перевозящего зерно навалом с учетом действия сильного ветра и волнения (критерий погоды) / В. С. Болгарчук // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова. — 2012. — № 1 (1). — С. 24–27.

5. Якута И. В. К вопросу определения погрешностей, возникающих при расчетах остойчивости судна в судовых компьютерных программах / И. В. Якута, Б. С. Гуральник // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 3. — С. 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-7-15.

6. Царик Р. С. Оценка влияния положения центра тяжести контейнера на метацентрическую высоту контейнеровоза / Р. С. Царик, Д. А. Акмайкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 58–70. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-58-70.

7. Якута И. В. Оценка расхождения масс принятого и сданного грузов при определении массы по осадкам (методом драфт-сюрвея) / И. В. Якута, С. В. Ермаков // Вестник Мурманского государственного технического университета. — 2016. — Т. 19. — № 4. — С. 822–829. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-4-822-829.

8. Ермаков С. В. К вопросу определения погрешностей водоизмещения при снятии осадок методом драфт-сюрвея / С. В. Ермаков, И. В. Якута // Морские интеллектуальные технологии. — 2018. — № 4-3 (42). — С. 103–108.

9. Телегин А. Н. Проблема определения массы навалочных грузов по осадке судна / А. Н. Телегин, А. О. Ничипорук, В. Н. Шабров // Речной транспорт (XXI век). — 2013. — № 4 (63). — С. 83–86.

10. Тимченко Т. Н. Актуальные проблемы определения массы насыпных грузов методом «драфт-сюрвей» / Т. Н. Тимченко, М. В. Бухтенко // Научное обозрение. — 2017. — № 19. — С. 104–108.

11. Письменный М. Н. Определение количества груза по осадкам судна / М.Н. Письменный. — 2-е изд. — Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2006. — 45 с.

12. Донцов С. В. Методика проведения драфт-сюрвея / С. В. Донцов. — Одесса: ОНМА, 2014. — 34 с.

13. Монинец С. Ю. Роль прогнозирования рисков в обеспечении безопасности судоходства в сложных климатических условиях / С. Ю. Монинец, А. И. Баженова // Вестник Мурманского государственного технического университета. — 2018. — Т. 21. — № 4. — С. 558–565. DOI: 10.21443/1560-9278-2018-21-4-558-565.

14. Ершов А. А. Рекомендации по действиям в чрезвычайных ситуациях в ледовых условиях плавания / А. А. Ершов, П. И. Петухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 17–26. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-17-26.

15. Абачараев М. М. Перспективные разработки по борьбе с морским обрастанием / М. М. Абачараев, И. М. Абачараев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2011. — № 3. — С. 7–9.

16. Карпов В. А. Комплексный подход к защите от морского обрастания и коррозии / В. А. Карпов [и др.]; Под ред. И. Н. Ильина. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. — 155 с.

17. Шарлай Г. Н. Обеспечение остойчивости, прочности корпуса и непотопляемости морского судна: учеб. пособие / Г. Н. Шарлай. — М., 2007. — 188 с.

18. Антоненко С. В. Практическая оценка остойчивости в открытом море по капитанской формуле / С.В. Антоненко // Интернет-журнал СахГУ: Наука, образование, общество. — 2009. — № 1. — С. 12.

19. Лупина Т. О. Задача о собственных колебаниях судов / Т. О. Лупина // Водный транспорт. — 2015. — № 2 (23). — С. 251–255.

REFERENCES

1. Suslov, A. N., V. Yu. Semenova, and M. A. Kuteinikov. “Sistema operativnoi otsenki ostoichivosti sudna.” *Morskoi vestnik* 2(58) (2016): 111.

2. Bugaev, Victor, Tat Manh Do, and Van Tung Dam. “Trim and draft, capacity and initial stability optimization solutions for the vessels.” *The Far Eastern Federal University: School of Engineering Bulletin* 4(41) (2019): 55–63. DOI: 10.24866/2227-6858/2019-4-5.

3. Velikanov, N. L., S. I. Koryagin, and V. V. Yarisov. “Ostoichivost’ rybolovnykh sudov na promysle.” *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva* 37 (2014): 23–28.

4. Bolgarchuk, V. S. “Some differences in IMO requirements regarding the Mandatory instruments in the regulation of ship stability carrying grain in bulk, considering severe wind and rolling conditions (weather criterion).” *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova* 1(1) (2012): 24–27.

5. Yakuta, Irina Vladimirovna, and Boris Samuilovich Guralnik. “To the question of defining errors arising in the analysis of ship stability in ship computer software.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 3 (2019): 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-7-15.

6. Tsarik, Ruslan Stanislavovich, and Denis Aleksandrovich Akmaykin. "Evaluation of influence of container's center of gravity position on container ship's metacentric height." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(40) (2016): 58–70. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-58-70.
7. Yakuta, I. V., and S. V. Ermakov. "Evaluation difference between mass of received cargo and mass of handed over the cargo in the determination of the masses by draft survey." *Vestnik of MSTU* 19.4 (2016): 822–829. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-4-822-829.
8. Ermakov, Sergey V., and Irina V. Yakuta. "Error estimation of water displacement when counting drafts by the draft-survey method." *Marine Intelligent Technologies* 4-3 (42) (2018): 103–108.
9. Telegin, A. N., A. O. Nichiporuk, and V. N. Shabrov. "Problema opredeleniya massy navalochnykh грузов по осадке судна." *River transport (XXIst century)* 4(63) (2013): 83–86.
10. Timchenko, Tat'yana Nikolaevna, and Mikhail Vladimirovich Bukhtenko. "Relevant problems of determining the mass of bulk cargo by the draft survey method." *Nauchnoe obozrenie* 19 (2017): 104–108.
11. Pis'mennyi, M. N. *Opredelenie kolichestva gruzа po osadkam sudna*. Vladivostok: MGU im. adm. G. I. Nevel'skogo, 2006.
12. Dontsov, S. V. *Metodika provedeniya draft-syurveya*. Odessa: ONMA, 2014.
13. Moninets, S. Yu., and A. I. Bazhenova. "The safety of navigation in difficult climatic conditions: Forecasting of risks." *Vestnik of MSTU* 21.4 (2018): 558–565. DOI: 10.21443/1560-9278-2018-21-4-558-565.
14. Ershov, Andrey A., and Pavel I. Petuhov. "Recommendations for emergency response in ice conditions of navigation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.1 (2017): 17–26. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-17-26.
15. Abacharaev, Musa Magomedovich, and Ibragim Musaevich Abacharaev. "Perspective developments on marine fouling control." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 3 (2011): 7–9.
16. Karpov, V. A. [et al]. *Kompleksnyi podkhod k zashchite ot morskogo obrastaniya i korrozii*. Edited by Il'in, I.N. M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2007.
17. Sharlai, G. N. *Obespechenie ostoichivosti, prochnosti korpusа i nepotoplyaemosti morskogo sudna. Uchebnoe posobie prednaznachenno dlya kursantov i studentov morskikh uchebnykh zavedenii*. M., 2007.
18. Antonenko, Sergey V. "Practical Stability of the Ship Estimation by Using the Captain's Formula on the Open Sea." *Internet-zhurnal SakhGU: Nauka, obrazovanie, obshchestvo* 1 (2009): 12.
19. Lupina, T. "The tasks of the natural oscillations of the ships." *Vodnyi transport* 2(23) (2015): 251–255.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ермаков Сергей Владимирович —
 кандидат технических наук
 Балтийская государственная академия
 рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО
 «Калининградский государственный технический
 университет»
 236035, Российская Федерация, г. Калининград,
 ул. Молодежная, 6
 e-mail: esv.klgd@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ermakov, Sergey V. —
 PhD
 Baltic Fishing Fleet State
 Academy FSBEI HE
 «Kaliningrad State Technical University»
 6 Molodezhnaya Str.,
 Kaliningrad, 236035,
 Russian Federation
 e-mail: esv.klgd@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13 апреля 2020 г.
 Received: April 13, 2020.