

УДК 629.5.081.22

**Л.С. Воленюк, аспирант**

*Национальный Университет Кораблестроения имени адмирала Макарова  
проспект Героев Сталинграда 11, к.106, г. Николаев, Украина, 54000*

*E-mail: Milen0601@mail.ru*

## **СТАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПУСКА СУДНА НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ БАЛЛОНАХ**

*Проведено статическое исследование спуска судна с наклонного продольного стапеля. Выполнен сравнительный анализ расчета спуска судна с наклонных стапелей на традиционных спусковых устройствах и с помощью пневматических баллонов. Построены диаграммы спуска судна.*

***Ключевые слова:** судно, спуск, наклонный продольный стапель, пневматические баллоны, опрокидывание.*

### **Постановка проблемы**

Применение пневматических баллонов для спуска судов применяется на ряде судостроительных заводов Китая, но на данный момент в литературе отсутствуют материалы по его разработке и расчету. В статье приведено статическое исследование спуска судна с наклонного продольного стапеля на пневматических баллонах.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

Спуск судна на воду является одним из ответственных и неотъемлемых технологических процессов в его постройке.

Под спуском понимается передвижение судна со стапеля в воду, основанное на принципе скольжения тяжелого тела по наклонной плоскости. Спуск называется продольным, если вектор скорости точек судна параллелен его диаметральной плоскости. Чтобы осуществить передвижение судна со стапеля в воду, его устанавливают на специальные спусковые устройства, имеющие один, два, а иногда и три полоза. Спусковые устройства закрепляют к корпусу судна и при его движении они скользят своими полозьями по гладким поверхностям спусковых дорожек. Для уменьшения трения, препятствующего движению судна, на трущиеся поверхности полозьев и спусковых дорожек наносят насадку. Поверхность спусковых дорожек имеет уклон по направлению к воде и продолжается в воду на некоторую глубину. Уклон спусковых дорожек зависит от спускового веса строящегося судна. Уклон дорожек определяется отношением высоты полного подъема спусковых путей к их длине. Величина уклона для различных стапелей зависит от размеров судов, для спуска которых они предназначены: для малых судов уклон равен от 1:8 до 1:12, для средних – от 1:14 до 1:16 и для больших – от 1:18 до 1:24 [1].

Спуск судна с наклонных продольных стапелей производится, как правило, кормой к воде. Такой вид спуска является наиболее сложным, трудоемким, и не управляемым [2]. Исходя из характера движения и природы сил, действующих на судно, процесс спуска разделяют на четыре периода.

Развитие судостроения основано на применении современных достижений в проектировании, технологии и организации постройки и спуска судов. Одним из таких достижений, является, метод спуска судов на пневматических баллонах, применение которого началось с 1982 года в Китае. В 2006 году новые технологии получили статус передовых и начали широко использоваться не только для спуска судов, но и для их подъема на стапель, для подъема и транспортирования затонувших судов и кораблей [4].

Применение такой технологии не требует больших затрат на оборудование, позволяет экономить время и инвестиции на строительство и ремонт спусковых площадок. Для спуска судов на пневматических баллонах необходимо создать плоскую наклонную поверхность, которая может быть выполнена из крупного песка, мелкого гравия, бетона, металла, дерева и других материалов [3].

*Цель статьи* – на основе изучения спуска судов с продольного наклонного стапеля провести сравнительный анализ технологического процесса при применении традиционных спусковых устройств и пневматических баллонов.

Самые сложные виды спуска судов – это продольный и поперечный спуск с наклонных стапелей.

Продольный спуск судов осуществляется с продольных наклонных стапелей длиной от 100 до 350 м, расположенных перпендикулярно к береговой линии или под некоторым углом к ней. Стапель представляет собой сложное инженерное сооружение, имеющее железобетонное основание для размещения спусковых дорожек. Он состоит из надводной и подводной частей.

Перед спуском судно устанавливается на спусковое устройство, которое включает: спусковые полозья, подбрюшники, копылья, клинья, найтовы, полотенца, стяжки, распорные брусья, спусковые стрелы, задержники, сигнализацию и другие приспособления. Спусковые полозья устанавливаются на каждой спусковой дорожке. Выбор конструкции спускового устройства является одной из главных

проблем, так как при этом основные конструктивные решения, касающиеся спускового устройства, необходимо принять до разработки рабочих чертежей конструкций корпуса (расположение конструкций спускового устройства, характер воспринимаемых ими усилий, возникающих при спуске).

Основной задачей в исследовании спуска является определение движения спускаемого судна. Полное решение этой задачи требует: установить для каждого момента времени величину и точку приложения всех сил, действующих на судно; вычислить для каждого момента времени положение судна и скорость его поступательного и вращательного движений. Решение этой задачи в полном объеме невозможно в связи со сложностью процесса спуска и движения его спусковых устройств.

В связи с этим в исследовании спуска, согласованном с практическими потребностями, достаточно ограничиться определением скоростей и положений судна лишь в отдельные моменты. Поскольку в процессе спуска силы действующие на судно изменяются, процесс спуска разделяют на четыре периода: первый – от начала движения судна до момента, когда передние концы полозьев или корма коснутся воды; второй – от конца первого периода до начала вращения судна вокруг порога стапеля; третий – от конца второго периода до отделения полозьев от дорожек; четвертый – от конца третьего периода до момента остановки судна на воде.

При таком разделении можно выделить следующие наиболее опасные моменты спуска, которые необходимо учитывать в проведенном исследовании: опрокидывание, всплытие, соскок, удар судна о стапель или грунт.

*Опрокидыванием или вращением вокруг порога* называется вращательное движение судна около оси, перпендикулярной его диаметральной плоскости и проходящей через порог спусковых дорожек. На рисунке 1(а) изображен нормальный спуск судна, а на рисунке 1(б) – спуск с опрокидыванием. Опрокидывание может произойти во время второго периода, оно является крайне нежелательным и опасным явлением для судна. При опрокидывании давление судна на фундамент сосредотачивается на весьма малом участке возле порога, а так как величина его велика, то в результате могут произойти значительные повреждения корпуса судна.

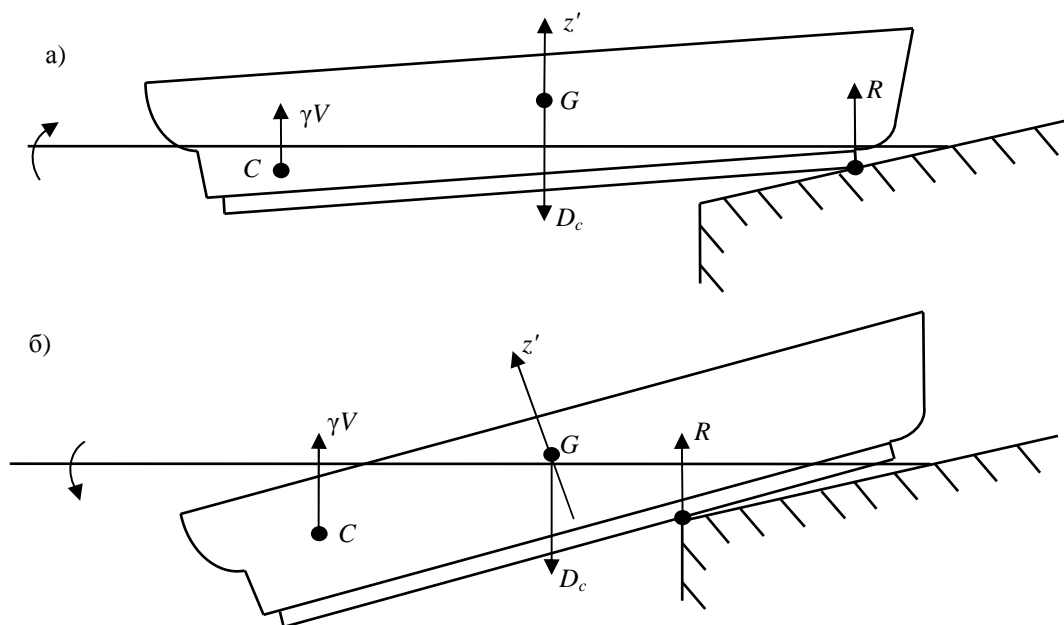


Рисунок 1 – Сход судна с порога: а) нормальный; б) с опрокидыванием

Помимо этого, под влиянием большого сосредоточенного давления насадка между полозьями и дорожками может быть выдавлена, полозья и дорожки деформированы, а сила сопротивления движению повысится до такой степени, что судно остановится на стапеле, не сойдя в воду. На большинстве судов машинно-котельное отделение с механизмами и надстройка располагаются в корме. Поэтому при опрокидывании часто наступает такой момент, когда силы поддержания, стремящиеся вращать судно около порога в направлении часовой стрелки, меньше сил, стремящихся его опрокинуть. Благодаря этому, судно, повернувшись на некоторый угол начнет с возрастающей угловой скоростью поворачиваться около порога в обратном направлении до тех пор, пока не ударится о фундамент своей носовой частью. В результате такого удара корпус судна может также получить серьезные повреждения. Наконец, связи, соединяющие судно с салазками, при происходящем во время опрокидывания подъеме носовой части полозьев над дорожками, могут разрушиться (носовые копылья могут выскочить со своих

мест), вследствие чего при обратном, после опрокидывания, вращении носовая часть судна не найдет уже должной опоры и ударится о стапель.

*Всплытием* называется вращательное движение судна около оси, перпендикулярной диаметральной плоскости и проходящей через носовые оконечности полозьев спусковых салазок. Вращение это может происходить лишь в направлении, при котором корма судна будет подниматься вверх.

Давление судна на дорожки, будучи до начала всплытия распределенным на довольно значительную поверхность, к моменту наступления этого явления сосредоточится на весьма малой площади у носовых оконечностей полозьев. При дальнейшем движении судна величина этого сосредоточенного давления постепенно уменьшается, поэтому для расчета прочности судна и спускового устройства весьма важно знать величину давления на дорожки в момент начала всплытия. Давление судна на фундамент в момент начала всплытия принято называть баксовым давлением. Величина баксового давления может достигать до  $1/3$  от спускового веса судна. Поэтому появление столь большой сосредоточенной силы обычно требует установки специальных подкреплений в носовой части корпуса.

*Удар кормы о грунт.* Под этим явлением понимается удар кормовой оконечности судна или полозьев о грунт при недостаточной глубине воды за порогом. В целях выявления возможности такого удара, необходимо путем предварительного расчета найти величину наибольшего погружения кормы во время спуска и положение судна на стапеле в этот момент.

*Касание носа судна со стапелем.* Под этим явлением понимается удар носовой оконечности судна о стапель в результате вращения судна в третьем периоде около носовых полозьев. Удар такого рода может произойти в том случае, когда носовая оконечность судна на значительной длине свешивается за полозья, когда нос судна мало поднят над стапелем и когда совместно с этими двумя обстоятельствами угол вращения судна при всплытии значителен.

*Соскакиванием* называется внезапное опускание носа судна в воду, происходящее после схода с дорожек носовых полозьев. Соскакивание представляет собой обычное явление при спуске и само по себе не может оказать какого-либо неблагоприятного эффекта, если только не будет сопровождаться ударом носа о порог или грунт.

*Остановка судна на стапеле* после его перемещения на некоторую величину от начального положения. Стаскивание в воду застрявшего на стапеле судна требует больших затрат времени и средств, из чего следует, что работы по подготовке стапеля к спуску судна и спускового устройства должны выполняться самым тщательным образом, насалка должна быть соответствовать по качеству условиям спуска, а скорость движения судна по дорожкам должна быть рассчитана с определенным запасом.

Из вышеизложенного следует, что спуск судна с наклонных продольных стапелей, является очень сложным и неуправляемым процессом, зависящим от многих факторов. К его недостаткам также следует отнести: сложность расчета, изготовления и установки спусковых устройств; высокую трудоемкость изготовления и нанесения компонентов насалки на спусковые дорожки и устройства; необходимость в демонтаже спусковых устройств и сбору их на акватории после спуска судна; загрязнение акватории завода компонентами насалки.

Расчет спуска судна с продольных наклонных стапелей требует применения сложных расчетных схем, поэтому при проектировании спуска, условия которого не вызывают опасений за благополучный исход, обычно ограничиваются статическим расчетом.

При статическом исследовании спуска гидродинамические силы считают пренебрежимо малыми, так как судно перемещается по спусковым дорожкам с бесконечно малой скоростью. Основная задача статического исследования – установить положение судна, при котором возникает угловое перемещение – опрокидывание или всплытие. Представляет интерес возникающие при этом сосредоточенные силы, а также положение судна в любой точке пути при его движении по стапелю.

Результаты такого расчета, выполняемые с помощью масштаба Бонжана, можно представить графически в виде двух типов диаграмм – английской и французской. Построенные диаграммы спуска иллюстрируются численными примерами, исходные данные которых взяты для судна длиной 65 м со спусковым весом 860 т. Уклон спусковых дорожек принят  $\beta = 1/14$  или 0,07.

*Английской диаграммой* называется совокупность графиков, изображающих зависимость следующих величин от пути  $S$ , пройденного во втором периоде: силы веса  $D_C$ , силы плавучести  $\gamma V$ , момента силы веса относительно заднего конца полоза  $M_D$ , момента силы плавучести относительно заднего конца полоза  $M_V$ , момента силы веса относительно порога  $M'_D$ , момента силы плавучести относительно порога  $M'_V$ . Английская диаграмма изображена на рисунке 2.

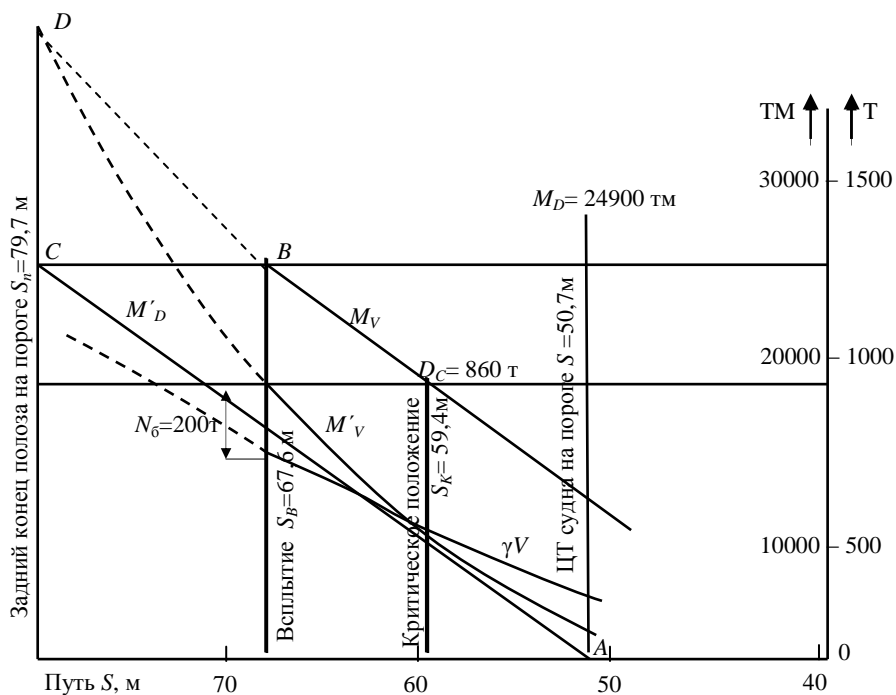


Рисунок 2 – Построенная английская диаграмма спуска судна

Французская диаграмма построена в предположении, что судно неподвижно, а уровень воды вместе с дорожками перемещается относительно судна. На рисунке 3 изображена французская диаграмма спуска, на которой графически представлена зависимость от углубления переднего конца полоза  $T_1$  следующих величин: спускового веса  $D_c$ ; силы плавучести  $\gamma V$ ; расстояния  $\alpha$  от порога до линии центра тяжести спускового веса; абсциссы 1 равнодействующей  $N$ .

Французская и английская диаграммы представляют интерес в пределах между ватерлинией, проходящей через точку E, и ватерлинией всплытия.

При проектировании спуска нередко приходится вносить изменения в исходные данные расчета. Чаще всего это касается элементов весовой нагрузки  $D_c$  и положения центра тяжести  $x_G$  и глубины на пороге  $T_0$ .

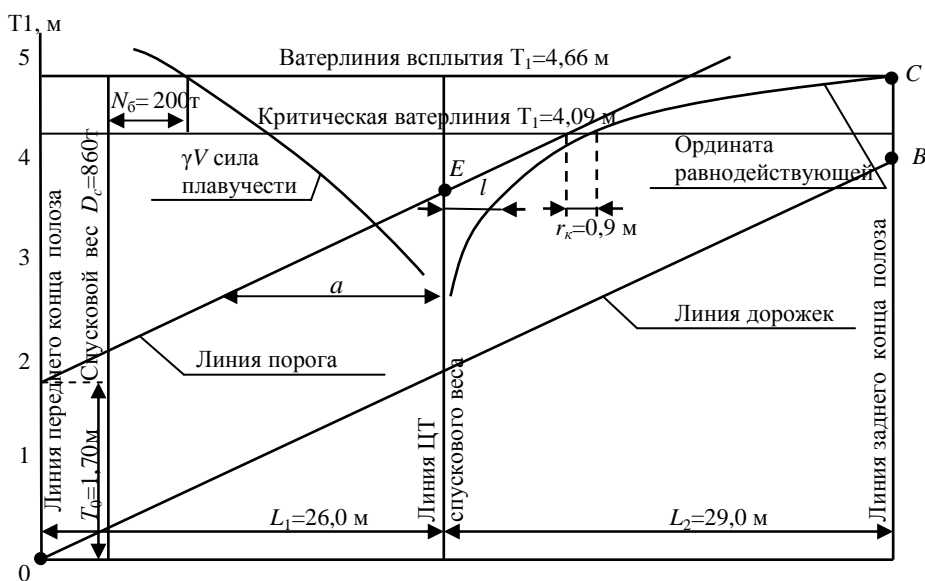


Рисунок 3 – Построенная французская диаграмма спуска судна

При изменении элементов весовой нагрузки на английской диаграмме изменяется положение горизонтальной прямой  $D_c$  и заново вычисляются положения горизонтальной прямой  $M_D$  и наклонной прямой  $M'_D$ . На французской диаграмме изменяется положение вертикальной прямой  $D_c$  и заново вычисляется кривая  $I$ .

При изменении глубины на пороге на английской диаграмме заново вычисляются кривые  $M'_D$  и  $M'_V$ , а на французской диаграмме переносится линия порога.

В рассмотренных случаях, особенно при изменении глубины на пороге, перестроить французскую диаграмму проще, чем английскую. Это относится и к случаю изменения длины носовой части полоза. Достоинством английской диаграммы является ее большая наглядность.

Кроме спуска судна на традиционных спусковых устройствах возможно применение пневматических баллонов предназначенных для спуска и подъема судов. Они широко используются для подъема и перемещения затонувших объектов и съема судов с мели. Надувные баллоны, изображенные на рисунке 4, имеют преимущество не только в трудозатратах и экономии времени, но и в финансовых затратах. При правильной эксплуатации они гибки, портативны и надежны. Технология спуска-подъема судов при помощи пневматических баллонов обеспечивает технико-экономичную альтернативу дорогим традиционным спусковым устройствам.

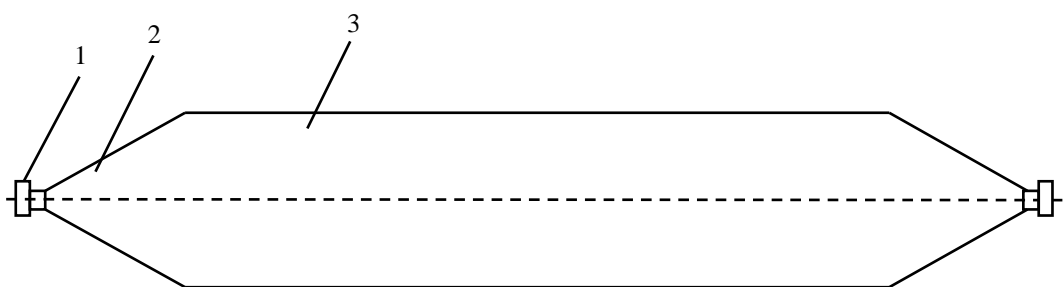


Рисунок 4 – Пневматический баллон: 1 – устье; 2 – головка; 3 – тело

Исследование спуска судна на пневматических баллонах может быть выполнено с помощью английской диаграммы. По сравнению с традиционными спусковыми устройствами пневматические баллоны во время спуска изменяют рабочую высоту. Следовательно, расчетные линии на масштабе Бонжана будут располагаться по отношению к основной линии под переменным углом.

Для определения параметров расчетных ватерлиний  $\alpha$  и  $T_k$  предполагаем, что эти ватерлинии примыкают к основной линии в точках пересечения ее с теоретическими шпангоутами. Такое допущение правомерно и позволяет упростить расчет. Траектория движения судна на баллонах представляет собой окружность большого радиуса, поэтому замена ее на дугу параболы не вносит в расчет заметной погрешности. Далее расчет производится аналогично расчету спуска по прямым наклонным дорожкам. Результаты так же могут быть представлены в графическом виде, как показано на рисунке 2.

#### Выводы

1. Изучен технологический процесс спуска судов с продольного наклонного стапеля. Выполнен сравнительный анализ применения традиционных спусковых устройств и пневматических баллонов.

2. Пневматические баллоны по сравнению с традиционными спусковыми устройствами обладают высокой плавучестью, что при спуске дает дополнительный восстанавливающий момент и придает плавучесть судну с самого начала второго периода, что позволяет исключить опрокидывание судна. Вместе с тем, гибкость оболочки спускового баллона уменьшает риск повреждения корпуса судна и дорожек стапеля при спуске.

Перспективным направлением дальнейших исследований является динамическое исследование спуска судна на пневматических баллонах, которое позволит более детально изучить процесс спуска.

#### Библиографический список использованной литературы

1. Курдюмов А. Спуск судов / А.А. Курдюмов [и др.]. — Л.: Судостроение, 1969. — 416 с.
2. Рашковський О. Удосконалення спуску суден зі стапеля «0» ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод» / О.С. Рашковський, Л.С. Смирнова // Електронне видання "Вісник Національного університету кораблебудування". — Миколаїв: НУК, 2012. — № 5. — С. 11–14.
3. Смирнова Л. Совершенствование спуска судов на воду с наклонных продольных стапелей на судостроительных заводах г. Николаева / Л.С. Смирнова // Матеріали II міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». — Миколаїв: Вид-во НУК, 2011. — С. 50–51.

4. Marine Air Bags [Электронный ресурс]. — Электрон. текстовые. данные (47 262 bytes). — Новосибирск: Аквалайт, 2012. — Режим доступа: <http://marineairbag.ru/> Monday, 14 May 2012 14:07:02.

*Поступила в редакцию 16.01.2014 г.*

**Воленюк Л.С. Статичне дослідження спуску судна на пневматичних балонним**

Проведено статичне дослідження спуску судна з похилого поздовжнього стапеля. Виконано порівняльний аналіз розрахунку спуску судна з похилих стапелів на традиційних спускових пристроях і за допомогою пневматичних балонів. Побудовано діаграми спуску судна

**Ключові слова:** судно, спуск, похилий поздовжній стапель, пневматичні балони, перекидання

**Volenyuk L.S. Static treatise air bags ship launching technology**

Static treatise ship launching technology from longitudinal inclined launching slipways was conducted. Comparative analysis of calculating traditional ship launching technology and air bags ship launching technology was performed. Diagrams of ship launching were constructed.

**Keywords:** ship, launching, longitudinal inclined launching slipway, air bags, tipping.