

## ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СПУСКА СТРОЯЩЕГОСЯ СУДНА С НАКЛОННОГО ПРОДОЛЬНОГО СТАПЕЛЯ

В.М. Антонов, Ю.А. Генрихсон, А.В. Догадин, А.Н. Невская, И.А. Соколова,  
В.А. Рогозин (Санкт-Петербург)

Неуправляемый спуск судна с наклонного продольного стапеля является сложной и ответственной стадией постройки судна. Разработка цифровой модели спуска судна позволит заранее оценить наиболее ответственные этапы в процессе движения судна по стапелю и разработать необходимые конструкторские и технологические решения, обеспечивающие безаварийный спуск судна. Наличие цифровой модели корпуса судна, стапеля, спускового устройства позволяют повысить как точность этих расчетов, так и сократить время их выполнения. На рис.1 показана общая схема используемых в процессе расчета спуска цифровых моделей.

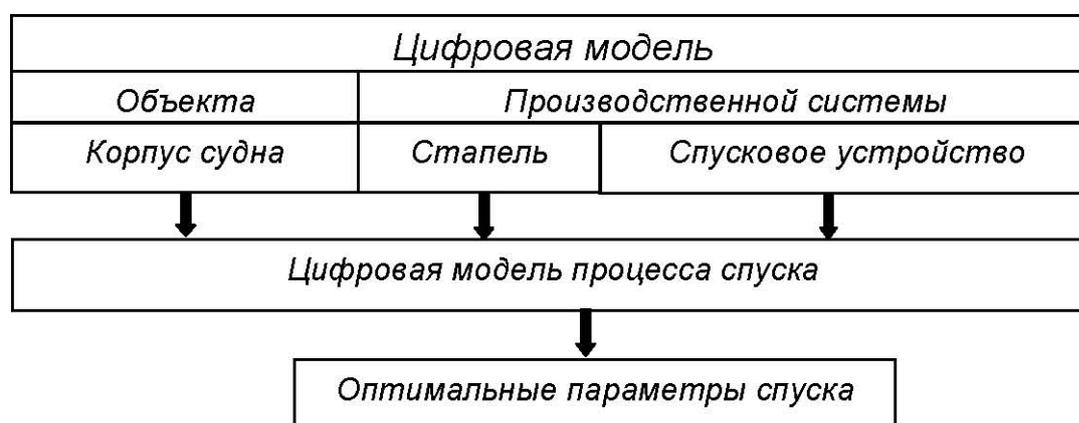


Рисунок 1 – Общая схема используемых в процессе расчета спуска цифровых моделей

К анализируемым этапам при спуске судна следует отнести:

- обеспечение начала движения судна за счет выбора состава насалки спусковых дорожек и проектирования спускового устройства (количества и расположения спусковых полозьев);
- обеспечение допустимого давления на спусковые дорожки и спусковые полозья, а также обеспечение несущей способности железобетонных конструкций стапеля (стапельных плит, шарнирных соединений и свайного основания), особенно в районе действия баксовых нагрузок;
- обеспечение прочности днищевых конструкций спускаемого судна, особенно в критическом положении на пороге стапеля;
- недопущение опрокидывания судна до всплытия его кормы;
- обеспечение отсутствия касания носовой части спускового устройства (баксового полоза) о дно акватории в районе порога после схода судна со стапеля;
- обеспечение безаварийного торможения судна после его схода со стапеля.

Для решения поставленных задач разрабатывается многопараметрическая цифровая модель процесса спуска судна со стапеля. Цифровая модель разработана с использованием различных алгоритмов, основанных на методах решений конструкторских и технологических задач, а также включает в себя алгоритм параметрической нелинейной оптимизации, позволяющего выбрать на каждом этапе наилучшее решение.

Параметры цифровой модели условно разделены на входные, внутренние и выходные.

**Входные параметры** – положение судна на стапеле относительно порога и спусковая нагрузка в зависимости от степени готовности судна к моменту его спуска со стапеля. Эти параметры могут оперативно меняться в зависимости от принятых в процессе постройки судна конструкторских и технологических решений.

**Внутренние параметры** – к ним следует отнести величины, характеризующие конструкцию корпуса судна (жесткостные и прочностные характеристики корпуса и его днищевой части), величины зависящие от технологии формирования корпуса из секций и блоков (сборочные и сварочные напряжения и деформации), расположение и характеристики стапельных строительных опор и спусковых полозьев, жесткостные и прочностные характеристики конструкций стапельного основания, обводы корпуса, а также расположение и размеры водоизмещающих элементов спускового устройства (кормовых и носовых понтонов, копыльев спусковых полозьев). При установке для спуска кормового крыла учитывают его характеристики – размеры, угол наклона, способ крепления к корпусу. Внутренние параметры связаны с используемыми в цифровой модели алгоритмами и требуют подготовки большого объема информации для их учета.

**Выходные параметры** – это результаты работы модели: скорость движения судна на всех этапах спуска, нагрузки и давления на спусковые дорожки и их насалку, напряженно-деформированное состояние корпусных конструкций и корпуса в целом, критические нагрузки на пороге стапеля, баксовое давление на стапель при всплытии кормы, траектория движения носового конца полоза при его сходе со стапеля, параметры движения судна в акватории при его торможении.

В качестве примера использования цифровой модели рассматривается спуск траулера проекта СТ-192 со стапеля АО «Адмиралтейские верфи». Судно имеет длину ~108 м, ширину ~21 м, высоту борта ~11,55 м. Водоизмещение порожнего судна  $D_{пор} \sim 6870$  т.

Спусковая масса принята по данным завода-строителя и составляет  $D_{спуск} \sim 4940$  т (~72% от массы порожнего судна). Распределение спусковой массы по длине судна принято в соответствии с разбивкой корпуса на сборочные единицы, а также в соответствии с массой и расположением установленных на момент спуска оборудования, механизмов, систем и т. п.

Рассматриваются два варианта спускового устройства. При варианте I судно расположено на восьми парах спусковых полозьев, в корме установлен понтон объемом ~600 м<sup>3</sup> (рис. 2а).

При варианте II судно расположено на семи парах спусковых полозьев, в корме установлено крыло, создающее при спуске подъемную силу (рис. 2б). Размеры крыла 7000x25000 мм, установлено крыло с углом атаки ~25°.

Среднее давление на насалку спусковых дорожек до начала движения судна составляет – для варианта I  $q_{cp} = 1,74$  кг/см<sup>2</sup>, для варианта II  $q_{cp} = 1,90$  кг/см<sup>2</sup>, т.е. начало движение судна обеспечивается, так как  $q_{cp} > q_{min} = 1,5$  кг/см<sup>2</sup>.

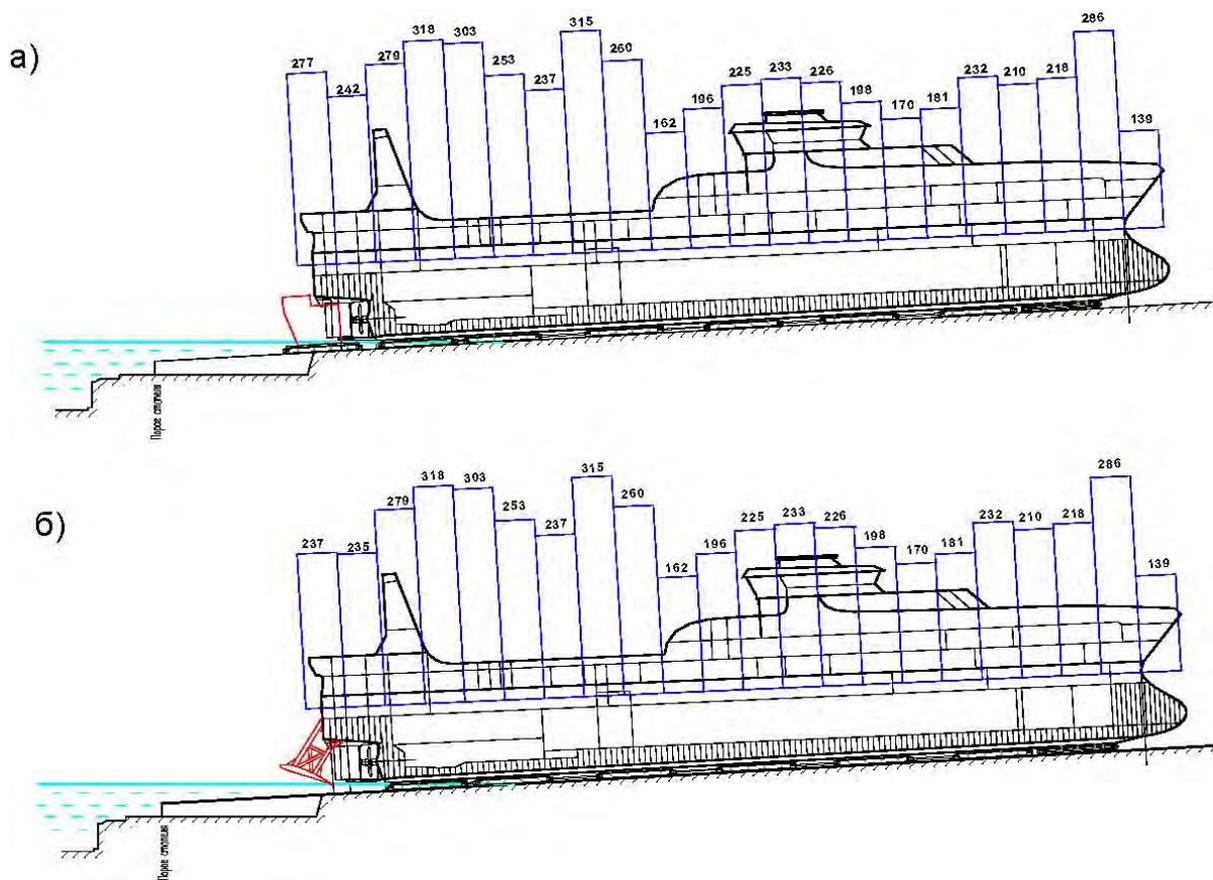


Рисунок 2 – Варианты спускового устройства:

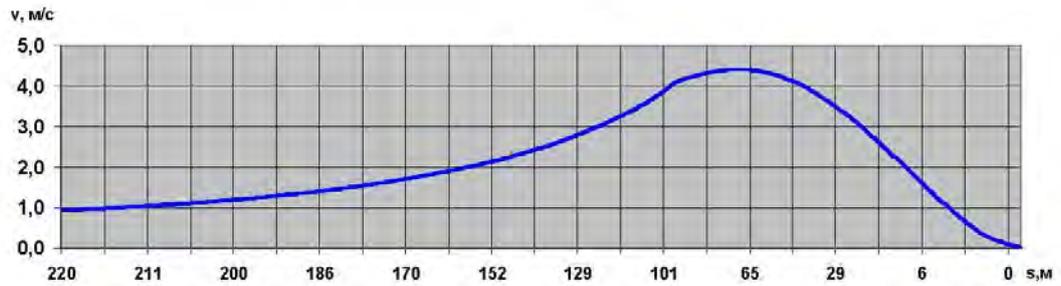
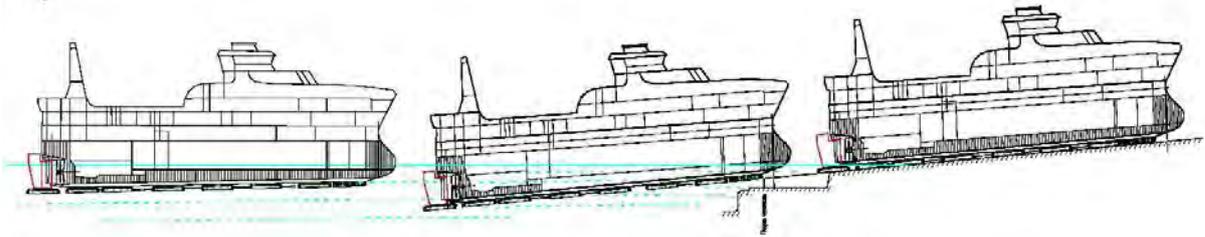
- а) судно с кормовым понтоном;
- б) судно с кормовым крылом

Изменение скорости движения судна от начала движения до его торможения в акватории приведено на рисунке 3. Для варианта II дополнительно приводились экспериментальные замеры скорости движения судна, выполненные сотрудниками компании ООО «Бум Техно».

Запись параметров спуска выполнялась с помощью спутниковой геодезической аппаратуры EFT M2 GNS. Общая схема записи параметров спуска (рис.4) заключалась в объединении в единый массив измерений положения порога стапеля и уреза воды, построочной системы баз на теле стапеля, фиксации положения двух GNSS приемников, расположенных на открытых частях носовой и кормовой оконечностей, а также стационарного приемника.

В процессе спуска положение кормового и носового приемников GNSS проводились синхронно, в единой системе координат с момента начала спуска судна до его остановки с частотой записи 5 Hz.

а)



б)

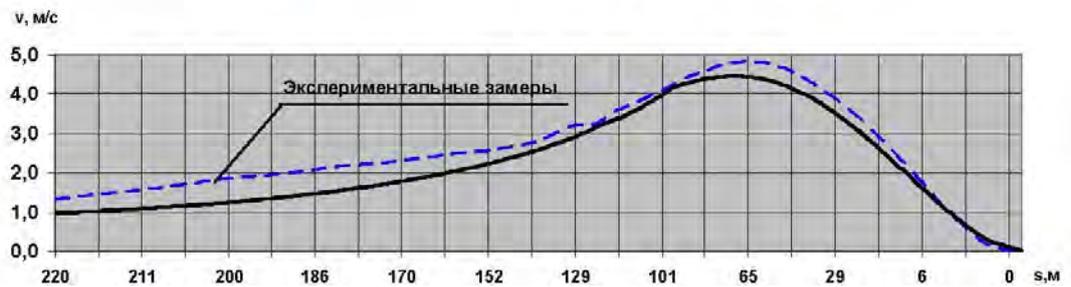
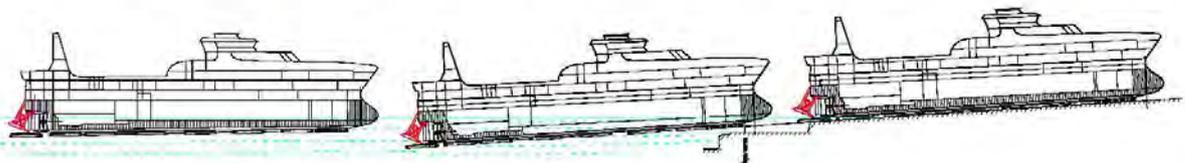


Рисунок 3 – Изменение скорости судна при спуске:

а) судно с кормовым понтоном;

б) судно с кормовым крылом

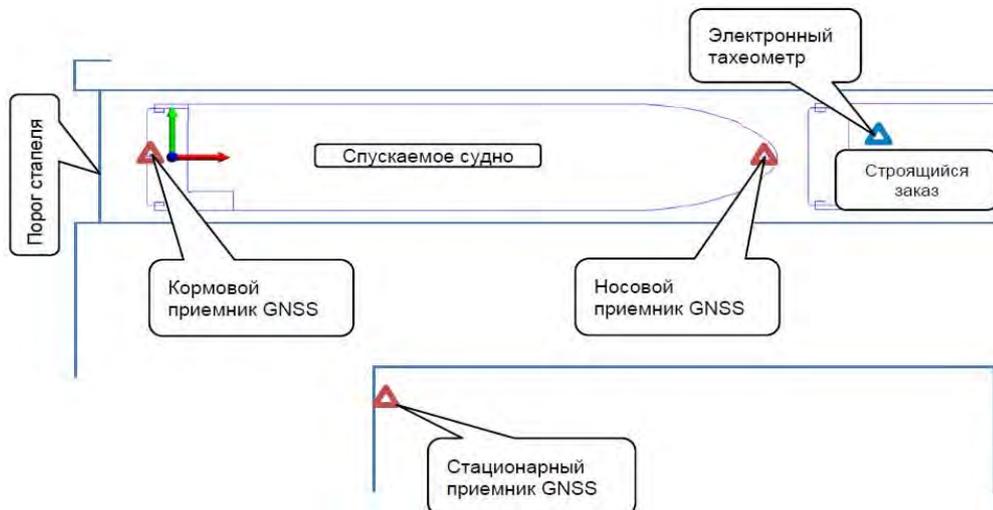


Рисунок 4 – Общая схема записи параметров спуска

Сопоставление теоретических и экспериментальных скоростей движения судна при спуске показали их хорошее совпадение. Максимальная скорость движения судна составляет для варианта I  $v_{max} = 4,3$  м/с, для варианта II  $v_{max} = 4,5$  м/с.

Нагрузки на спусковые полозья в виде огибающих эпюр показаны на рисунке 5.

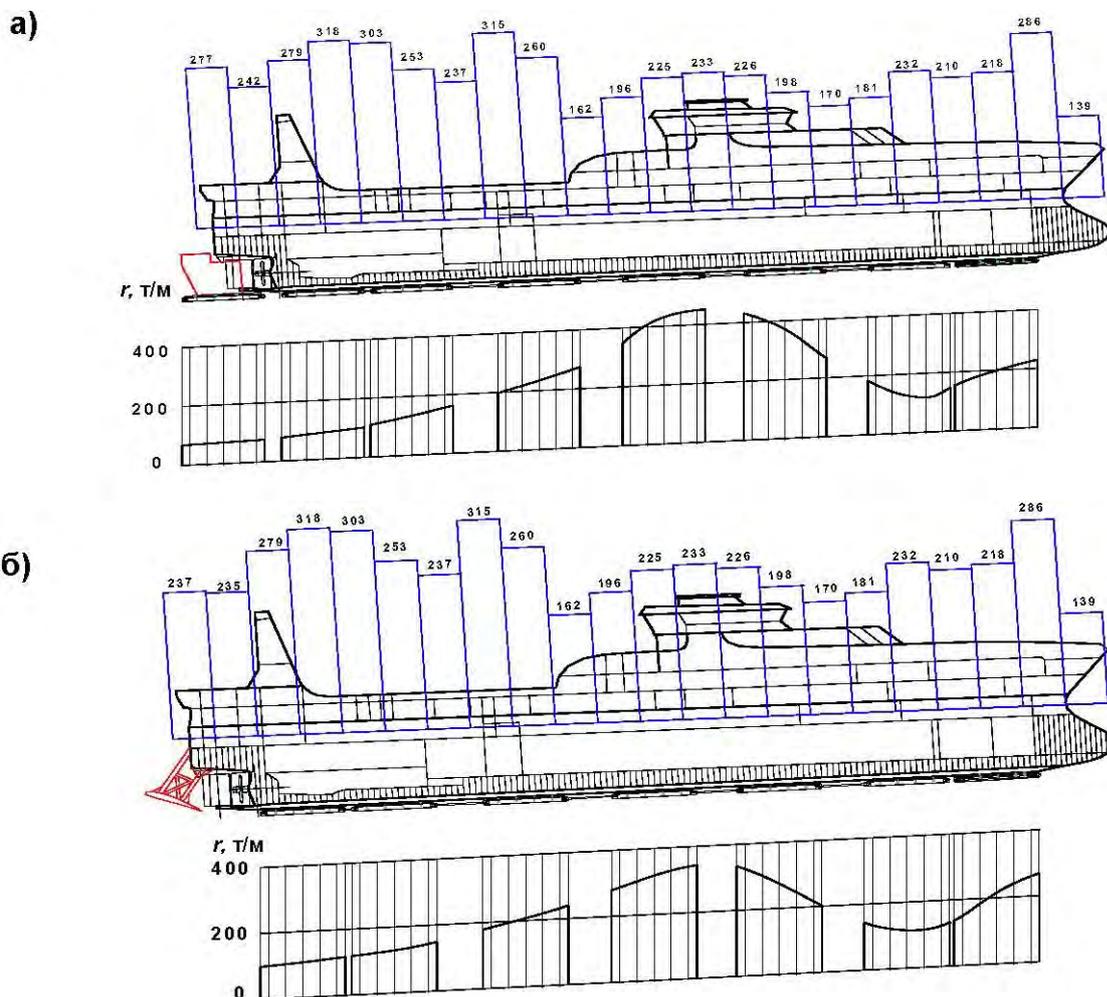
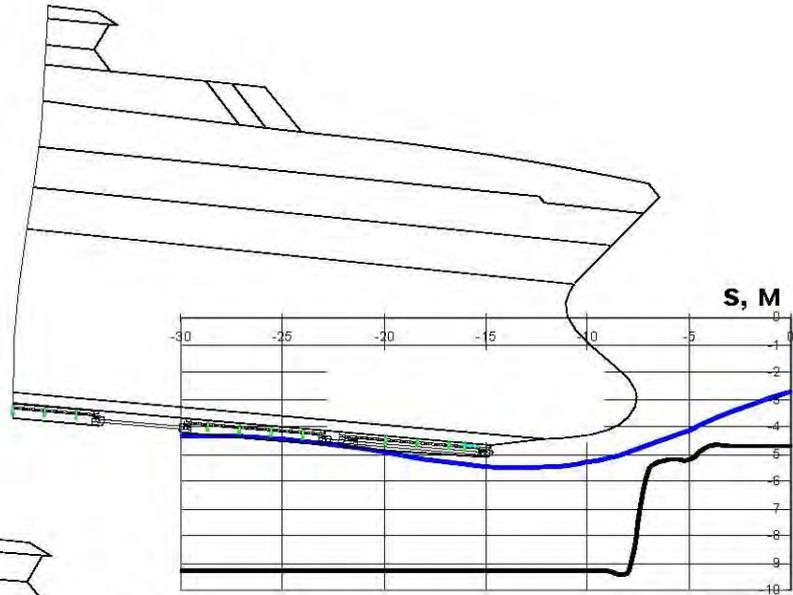


Рисунок 5 – Огибающие эпюры нагрузок на спусковые полозья:  
а) судно с кормовым понтоном; б) судно с кормовым крылом

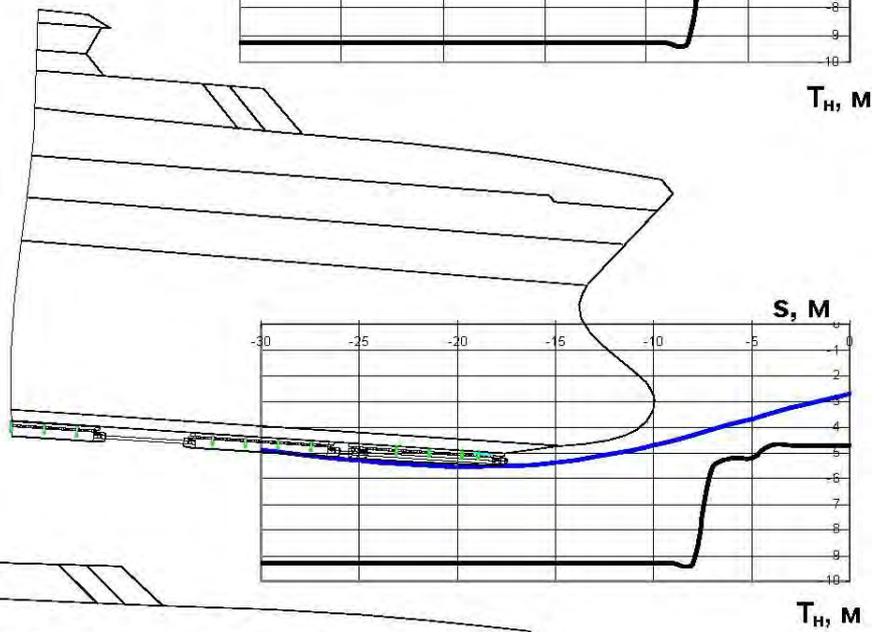
Наибольшие нагрузки возникают в критическом положении для варианта I  $r_{max} = 450$  т/м, для варианта II  $r_{max} = 320$  т/м. При всплытии кормы баксовая нагрузка составляет для варианта I  $R_{бакс} = 1220$  т ( $r_{max} = 205$  т/м), для варианта II  $R_{бакс} = 1340$  т ( $r_{max} = 225$  т/м). Нагрузки на спусковое устройство и насалку спусковых дорожек не превышает допускаемых величин.

На рисунке 6 показана траектория движения носового конца баксового полоза при его сходе со стапеля для обоих вариантов спускового устройства.

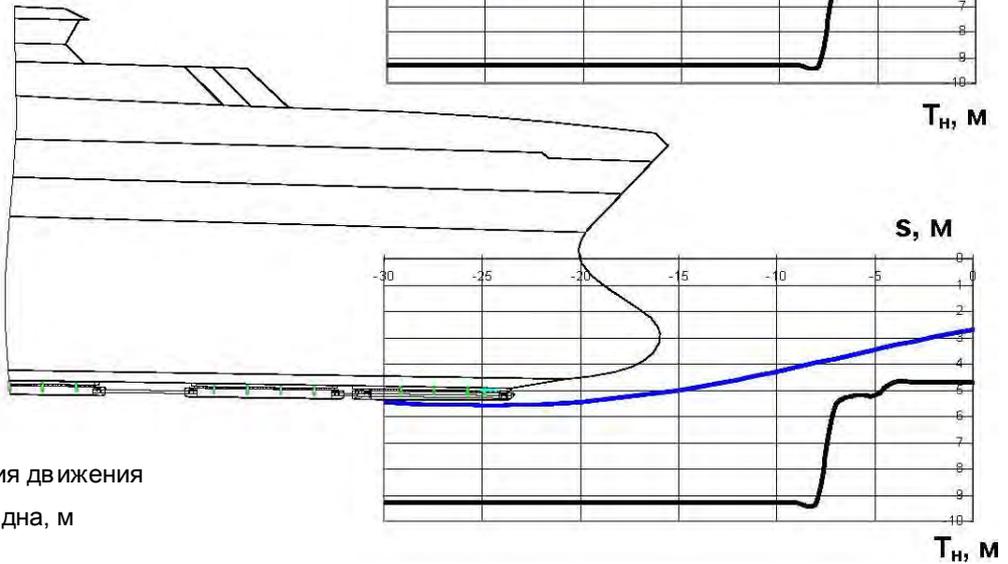
а)



б)



в)



— Траектория движения  
 — Профиль дна, м

движения носового конца бакового полза при сходе судна со  
 :: а)  $v_{сход} = 2$  м/с; б)  $v_{сход} = 3$  м/с; в)  $v_{сход} = 4$  м/с

учитаны для нескольких скоростей движения судна, ность отклонения скорости от расчетной величины, анта I  $v_{сход} = 3,19$  м/с, для варианта II  $v_{сход} = 3,28$  м/с. Как

0  
 -1  
 -2  
 -3  
 -4  
 -5  
 -6  
 -7

следует из рис.6 касание баксового полоза о грунт в районе порога стапеля не возникает.

В целом использование цифровой модели процесса спуска судна совместно с цифровыми моделями корпуса, стапеля и спускового устройства позволило обоснованно принять необходимые конструкторские и технологические решения при подготовке к спуску морозильного рыболовного траулера проекта СТ-192.

Также следует отметить, что рассмотренная цифровая модель процесса спуска судна является частным случаем универсальной модели, которая используется для решения других задач, связанных постройкой и спуском судов на других типах построечных мест (горизонтальные стапеля, продольные и поперечные слипы, сухие и плавучие доки), а также задач, связанных с последующей эксплуатацией судов (постановка в ремонтный док, модернизация и переоборудование судна, изменение класса судна и т. п.).

### **Литература**

1. **Антонов В.М., Лейзерман В.Ю., Локшин А.З.** Расчет напряженно-деформированного состояния стапеля, опорно-транспортного устройства и корпуса судна // Журнал «Судостроение», № 6, 1984.
2. **Антонов В.М., Лейзерман В.Ю.** Исследование несущей способности продольного стапеля под действием спусковой массы крупнотоннажного танкера // Журнал «Морской вестник», сентябрь 2006 г., вып.1/2, т.2.
3. **Антонов В.М., Лейзерман В.Ю.** Проблемы спуска крупнотоннажного танкера с продольного стапеля «Адмиралтейских верфей» // Журнал «Морской вестник», июнь 2009 г., вып.2(30).