

УДК 629.12

А.В. Локтев, К.А. Куракин
ИМИТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ОБОРУДОВАНИЯ
СУДОВ НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Описаны конструкции имитационных средств для испытаний судового оборудования и устройств в стапельных условиях. Обоснована актуальность использования имитационных методов испытаний при серийной постройке судов. Описаны особенности применения имитационных устройств для испытаний. Проанализировано влияние совокупности определённых факторов на режим работы гребного винта. Проиллюстрирована зависимость коэффициента момента гребного винта от числа Фруда при различной глубине погружения. Сделаны выводы относительно испытаний и сдачи судов при их серийной постройке.

Ключевые слова: суда на подводных крыльях, имитационные средства, испытания.

Наметившееся развитие строительства скоростных судов нового поколения (СПК «Комета 120 М», «Валдай 45 Р» и другие) должно предусматривать применение перспективных технологий. В частности, при серийной постройке судов на внутренних заводах страны целесообразным является применение имитационных методов испытаний энергетических установок, устройств и систем.

Имитационные средства – это устройства, с достаточной точностью создающие или воспроизводящие нагрузки, соответствующие условиям ходовых испытаний судна. Применение средств имитации позволяет провести проверки не только ходовых, но и спецификационных режимов, что не всегда удается сделать в натурных условиях. Высокоточная стационарная аппаратура дает возможность более полно и точно оценить качество работы испытываемого оборудования и выявить дефекты, связанные с монтажными и регулировочно-наладочными работами. В результате снижаются количество отказов оборудования в период эксплуатации судна и расходы на их устранение.

Для СПК проведение испытаний энергетической установки и другого оборудования имитационными методами на стапеле может быть перспективным. Эффективность применения имитационных способов для проведения испытаний судового оборудования в стапельных условиях заключается в следующем. При серийной постройке небольших судов проверка ходовых качеств каждого из них может не проводиться, так как эти испытания проводятся на головном судне и периодически на серийных судах. На каждом серийном судне ходовые качества гарантируются проверкой двигательного комплекса, рулевого устройства, других устройств и систем судна и необходимым контролем параметров корпуса. Такая организация постройки особенно эффективна, если построенное и испытанное зимой судно может быть отправлено к месту эксплуатации железнодорожным транспортом. Проведение приёмо-сдаточных испытаний в стапельных (цеховых) условиях, кроме других преимуществ, обеспечивает ритмичность работы сдаточных подразделений верфи в течение года [1]. Проработка конструкции имитационных средств для испытаний СПК в стапельных условиях в свое время проводилась в отрасли и показала следующее. Испытания ГЭУ быстроходных судов в стапельных условиях имеют свои особенности. Эти особенности, например, для судов на подводных крыльях (СПК) связаны с большой мощностью ГЭУ, применением быстроходных кавитирующих винтов и большим наклоном валовых линий [2]. Выполненные исследования по созданию стенда для испытаний в цеховых условиях ГЭУ мощностью 900 л.с. СПК показывают следующее.

Стенд должен представлять собой стапель, оборудованный технологическими трубопроводами охлаждающей воды и топлива, а также газовыхлопным трубопроводом (рис. 1). Для загрузки ГД может быть применена потоконаправляющая камера (ПНК), устанавливаем-

мая в емкости, заполненной водой. Стенд обеспечивает испытание как ГД в ходовых режимах, так и валопровода с обеспечением упора, соответствующего ходовым нагрузкам.

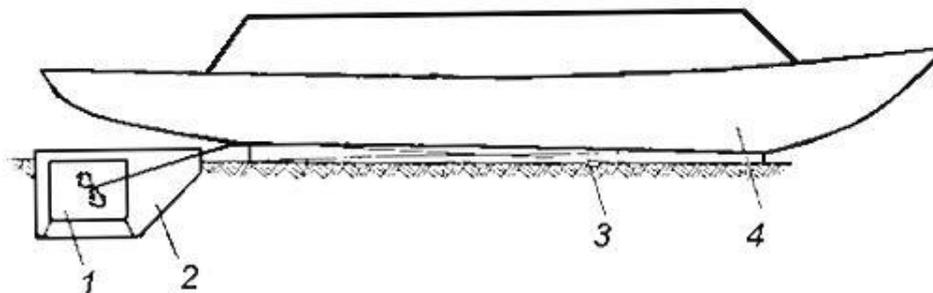


Рис. 1. Стенд для испытаний главных двигателей СПК в ходовых режимах:
1 – потоконаправляющая камера; 2 – емкость с водой; 3 – станель; 4 – корпус судна

Основные элементы ПНК приведены на рис. 2. Возникающий при работе винта поток воды циркулирует по двум кольцевым каналам камеры, натекая на винт со скоростью, равной аксиальной скорости воды в месте расположения винта при движении судна; при этом скорость потока зависит от величины перекрытия каналов регулирующими заслонками.

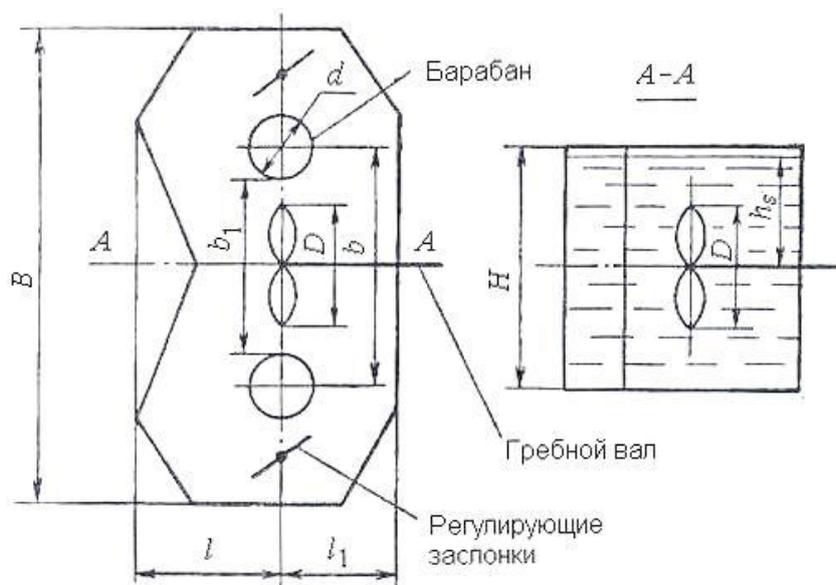


Рис. 2. Основные элементы ПНК

В связи со сложностью гидродинамических явлений, происходящих при работе винта в ПНК, проектирование ее проводится на основании результатов специальных исследований, целевым назначением которых являлось получение экспериментальных данных о влиянии свободных и твердых границ воды на коэффициенты упора и момента гребного винта, работающего в ПНК при различных значениях числа Фруда винта. Программой исследования предусматривалось определение влияния на коэффициенты момента и упора гребного винта (независимо друг от друга) следующих факторов: погружения модели гребного винта $\frac{h_s}{D}$, отстояния ее от задней стенки камеры $\frac{l}{D}$, формы задней стенки, осевого перемещения гребного винта относительно наименьшего сечения потока, перекрытия обратных каналов регулирующими заслонками.

Результаты исследований модели гребного винта, имеющего следующие геометрические характеристики: диаметр $D = 200$ мм, шаговое отношение $\frac{H}{D} = 1,2$, дисковое отношение $\frac{A}{A_d} = 0,8$, число лопастей $z = 3$, при значениях числа Фруда $n\sqrt{D} = 5 \div 24,5$ показали следующее. При малом погружении у модели гребного винта происходят прорывы воздуха с поверхности воды, при этом гидродинамические характеристики становятся зависящими от числа Фруда винта $n\sqrt{D}$ и перестают зависеть от давления над поверхностью воды. В этом случае с увеличением числа Фруда коэффициенты момента и упоры уменьшаются. Однако получение требуемой величины снижения нагрузки винта за счет влияния свободной поверхности воды невозможно при значениях числа Фруда ($n\sqrt{D} > 5 \div 7$) из-за резкого падения нагрузки (рис. 3).

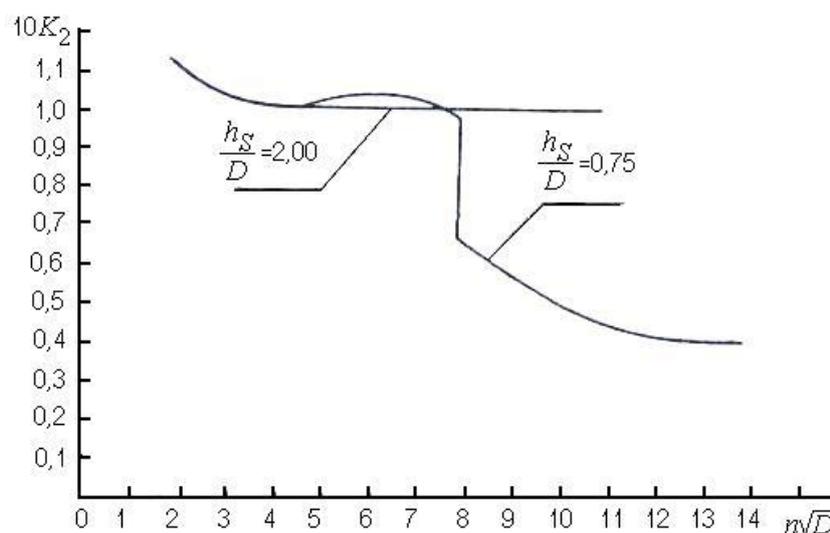


Рис. 3. Зависимость коэффициента момента модели гребного винта от числа Фруда при различной глубине погружения

Влияние задней стенки на гидродинамические характеристики модели гребного винта исследовалось при достаточно большом отстоянии винта от дна, боковых и передней стенок цистерны. По сравнению с влиянием свободной поверхности воды влияние задней стенки несущественно при частичном погружении гребного винта. При полном и достаточно большом погружении коэффициенты упора и момента модели гребного винта увеличиваются на 5–10% из-за наличия стенки, которая благоприятно влияет на характер течения, создаваемого гребным винтом, работающим вблизи свободной поверхности воды. При работе винта на малом расстоянии от стенки ($\frac{l}{D} = 0,7 \div 1,0$) вблизи него образуется стационарное течение в зо-

не с размерами порядка нескольких диаметров винта. При $\frac{l}{D} = 3 \div 15$ вода приводится гребным винтом в неупорядоченное движение образованием больших вихрей, перемещающихся по близлежащей области водоема. При прохождении этих вихрей около гребного винта в образующуюся над ними воронку периодически прорывается воздух, при этом гидродинамический момент и упор винта снижаются на значительную величину.

Таким образом, при наличии стенки за гребным винтом, работающим в швартовом режиме вблизи свободной поверхности воды, следует стремиться к наименьшему зазору между винтом и стенкой.

Влияние формы стенки (плоская, вогнутая, выпуклая) на коэффициенты упора и момента гребного винта при заглоблении $\frac{h_s}{D} = 2,0$ незначительно и практически отсутствует при $\frac{h_s}{D} = 0,5$. Характер же течения в струе гребного винта у стенки изменяется. При вогнутой стенке бурун, возникающий на ней от набегающей струи от гребного винта, имеет большие размеры и разбрызгивается. При выпуклой стенке поток формируется в ограниченной области вблизи винта без образования буруна на выступе стенки. Таким образом, подтверждается благоприятное влияние потокоразделителя, и это обстоятельство необходимо учитывать при выборе геометрических характеристик ПНК.

Была исследована работа гребного винта также в полностью заполненной водой модели камеры при отсутствии свободной поверхности воды. Влияние осевого перемещения модели гребного винта в камере, полностью заполненной водой, сказывается таким образом, что вблизи передней стенки достигается нагрузка, соответствующая швартовному режиму работы модели гребного винта в свободной воде. С перемещением модели винта к наименьшему сечению потока между барабанами коэффициенты момента и упора плавно снижаются до наименьшей величины, достигаемой в данной камере (рис. 4). Влияние числа Фруда на эту зависимость не обнаруживается [3].

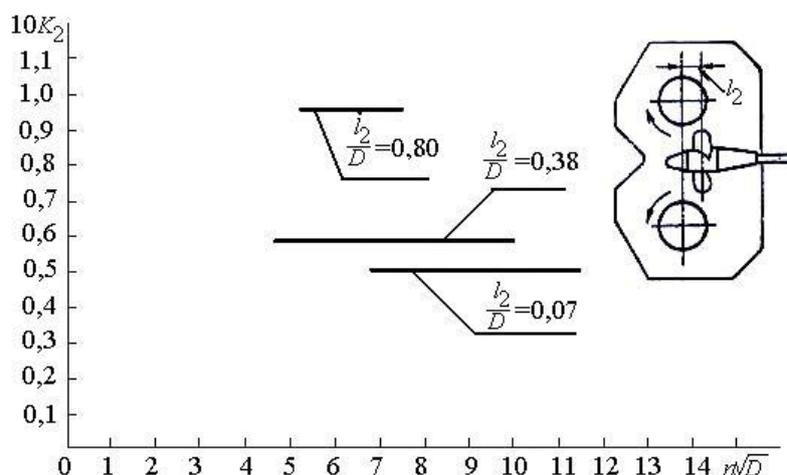


Рис. 4. Зависимость коэффициента момента модели от числа Фруда при различной величине осевого перемещения модели гребного винта относительно наименьшего сечения

На основании результатов проведенного экспериментального исследования были выбраны основные геометрические параметры потоконаправляющей камеры и изготовлена ее модель (рис. 5). Исследования показали, что такая конструкция потоконаправляющей камеры обеспечивает получение ходовых режимов работы ГЭУ. Для испытания рулевых устройств СПК может быть применен нагрузатель, схема которого приведена на рис. 6, или гидромеханический нагрузатель, приведенный на рис. 7.

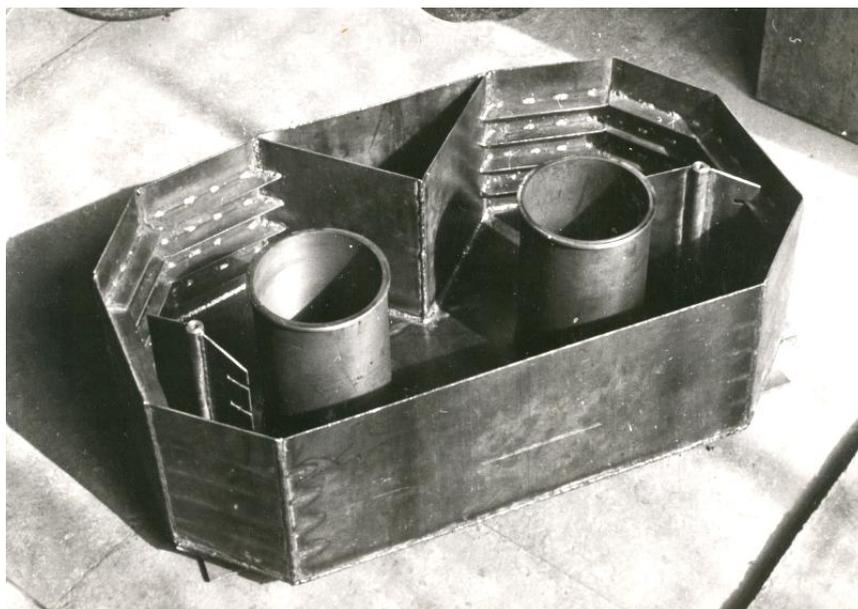
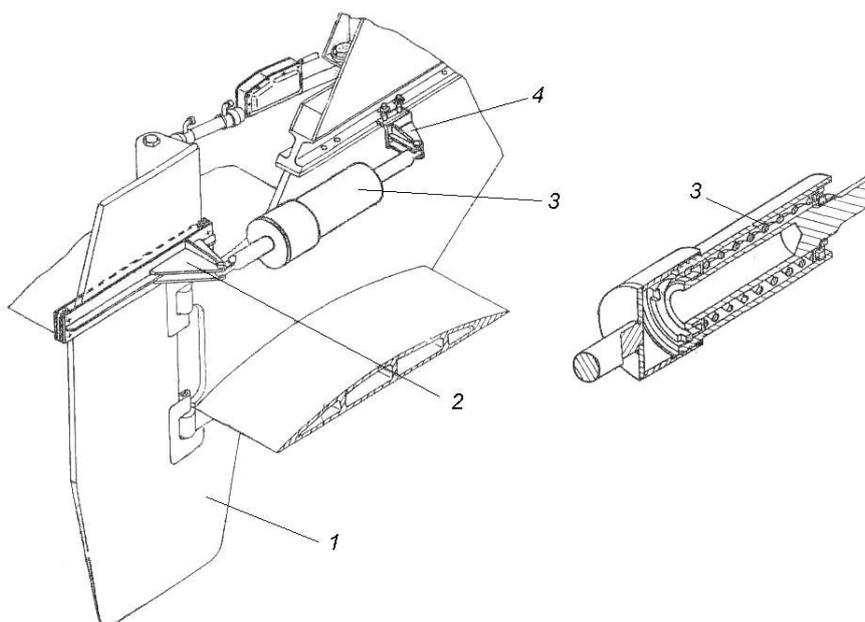


Рис. 5. Модель потоконаправляющей камеры



**Рис. 6. Механический пружинный нагружатель для рулевого устройства СПК:
1 – перо руля; 2,4 – кронштейн крепления нагружателя; 3 – пружина**

Нагружатель содержит два рабочих органа для взаимодействия с пером руля, которые состоят из роликовых опор 10 и 12, гидроцилиндров 17 и 22, поршней 18 и 21, штоков 9 и 13. Запорные полости 7 и 15 гидроцилиндров соединены между собой основным трубопроводом 5 через регулируемое сопротивление 3, по обе стороны которого подключены гидроаккумуляторы 1 и 6 и манометры 2 и 4, а также дополнительным трубопроводом 19 с клапанами 16 и 23. Предпоршневые полости 8 и 14 соединены между собой трубопроводом 20. Трубопроводы 19 и 20 связаны с гидронасосом 25 через золотниковый трехпозиционный клапан 24.

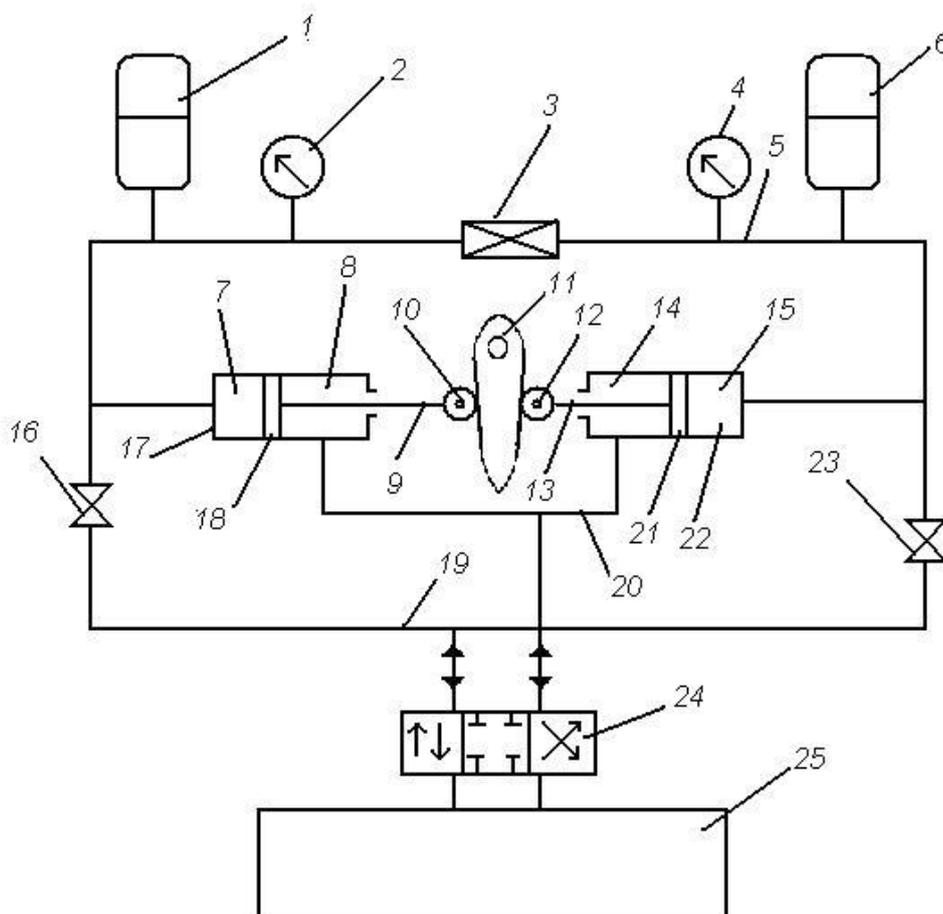


Рис. 7. Принципиальная схема гидромеханического нагружателя для испытаний рулевых устройств:

1,6 – гидроаккумуляторы; 2,4 – манометры; 3 – дроссель; 5,19,20 – трубопроводы; 7,8,14,15 – полости гидроцилиндров; 9,13 – штоки цилиндров; 10,12 – роликовые опоры; 16,23 – клапаны; 17,22 – гидроцилиндры; 18,21 – поршни; 24 – клапан; 25 – насосный блок

Нагружатель работает следующим образом. Перед началом испытаний открывают клапаны 16 и 23, а клапан 24 устанавливают в крайнее левое положение. Рабочая жидкость из гидронасоса через трубопровод 20 поступает в предпоршневые полости гидроцилиндров и раздвигает рабочие органы, обеспечивая свободный проход руля 11 при заводке понтона (платформы) нагружателя под корму судна. Нагружатель центрируют так, чтобы роликовые опоры рабочих органов совместились с ЦГД пера руля, после чего его раскрепляют к судну. Клапан 24 переводят в крайнее правое положение, рабочую жидкость из гидронасоса по трубопроводу 19 подают в запоршневые полости, штоки сдвигают и роликовые опоры входят в контакт с пером руля. Клапан 24 устанавливают в среднее положение, отключая тем самым насос от трубопроводов 19 и 20. При перекладке руля, например, на правый борт он воздействует на роликовую опору 12, которая толкает шток 13 и перемещает поршень 21, вытесняя рабочую жидкость из запоршневой полости гидроцилиндра. По трубопроводу 5 жидкость поступает через гидросопротивление в запоршневую полость 7 гидроцилиндра 17 под давлением, заданным соответствующим регулированием гидросопротивления. Одновременно под таким же давлением сжимается газовая подушка гидроаккумулятора 1. В момент установки пера руля в крайнее правое положение при последующем изменении направления движения передавливание жидкости прекращается. За счет сжатия газовой подушки гидроаккумулято-

ра 1 сохраняется давление жидкости в запоршневой полости 7 гидроцилиндра 17. Процесс перекладки руля на левый борт аналогичен.

Применение приведенных имитационных средств при серийной постройке судов позволит большую часть работ по испытаниям проводить в цеховых условиях. Это означает возможность сдавать суда заказчику в более короткий срок при наступлении навигации, особенно те, которые были построены зимой.

Библиографический список

1. Локтев, А.В. Технология приемо-сдаточных испытаний судового оборудования [Текст] / А.В. Локтев. – Н. Новгород: НГТУ, 2016. – 185с.
2. Химич, В.Л. Энергетические установки высокоскоростных судов [Текст] / В.Л. Химич, Ю.П. Чернигин. – Н.Новгород: НГТУ, 2002. – 320 с.
3. Локтев, А.В. Приемо-сдаточные испытания судового оборудования имитационными способами [Текст] / А.В. Локтев. – Н. Новгород: НГТУ, 2011. – 185с.