
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

УДК 623.5

А. В. КРАСИЛЬНИКОВ

ПОВОРОТНЫЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕНД И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЕГО ГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Представлено схемотехническое решение гидродинамического стенда для опытной отработки пусковых устройств необитаемых малогабаритных подводных аппаратов в условиях производственных помещений, обеспечивающего возможность имитации глубоководного пуска подводного аппарата под углом к горизонту. Рассматривается проектная методика оценки габаритных характеристик стенда.

Ключевые слова: автономные необитаемые подводные аппараты, динамический пуск, испытания, гидродинамический стенд, габаритные характеристики.

Опыт создания современной подводной техники показывает, что из-за трудностей с получением корректного теоретического описания иногда до 40 % возникающих проблем решаются с помощью испытаний. Это позволяет говорить о том, что организация испытаний опытных и серийных образцов техники является одной из ключевых технологических задач при создании технически сложной продукции. Проведение, в частности, испытаний пусковых устройств подводных аппаратов (ПА) в натуральных условиях действующих подводных и надводных кораблей требует, помимо привлечения значительных финансовых и кадровых ресурсов, учета постоянно изменяющихся внешних факторов, из-за чего своевременное планирование исследований во многих случаях невозможно (подробнее о задачах испытаний необитаемых ПА см. работу [1]). Поэтому для решения указанных проблем разрабатываются специализированные гидродинамические стенды (ГДС), которые по завершении проектных исследований используются как технологические при сдаче пусковых систем подводных аппаратов заказчику.

При участии автора был разработан [2] вариант схемотехнического оформления такого стенда, обеспечивающего возможность имитации пуска подводного аппарата под углом к горизонту. Схема продольного сечения стенда приведена на рис. 1.

Стенд содержит прочный резервуар-имитатор 1, включающий обечайку 2, замыкаемую днищами 3 и 4, стянутыми при помощи штанг 5. Резервуар заполнен жидкостью 6, так что в верхней его части образуется демпфирующая полость 7. На днище 3 герметично установлены шлюзовая камера 8 с откидывающейся крышкой 9 и пусковой блок 10, обеспечивающий пуск макета 11 подводного аппарата. На штангах 5 неподвижно закреплены рамочные кронштейны 12 с направляющими элементами, а также тормозное устройство 13, задняя часть которого размещена в установленной в днище 4 технологической камере 14, обеспечивающей доступ к задней крышке устройства 13. Объем демпфирующей полости 7 частично оформлен в виде

баллона-ресивера 15, который через невозвратный клапан 16 соединен с полостью стенда. Днище 3 снабжено опорной тележкой 17 с возможностью ее перемещения относительно обечайки 2 резервуара по неподвижно установленным направляющим 18. К обечайке 2 приварены оси, шарнирно закрепленные в основаниях 19, что позволяет осуществить поворот стенда на угол от 0 до 90° в вертикальной плоскости. Поворот стенда обеспечивается работой гидравлического привода 20. Для работы стенда в вертикальной плоскости под углом к горизонту предусмотрена технологическая щель 21, крышка 22 которой с помощью оси 23 выполнена поворотной, что позволяет разместить в щели 21 пусковое устройство 10. На схеме показаны также датчики 24 положения макета 11, снабженного кольцевой магнитной меткой 25, относительно переднего среза пускового блока 10; кабель 26 связи датчиков 24 с измерительно-регистрирующей и управляющей аппаратурой 27; узел 28 герметизации кабеля 26. Тормозное устройство 13 имеет направляющий блок 29, обтюрирующие переборки 30, буфер 31 и прочную крышку 32, доступ к которой осуществляется через горловину 33 технологической камеры 14.

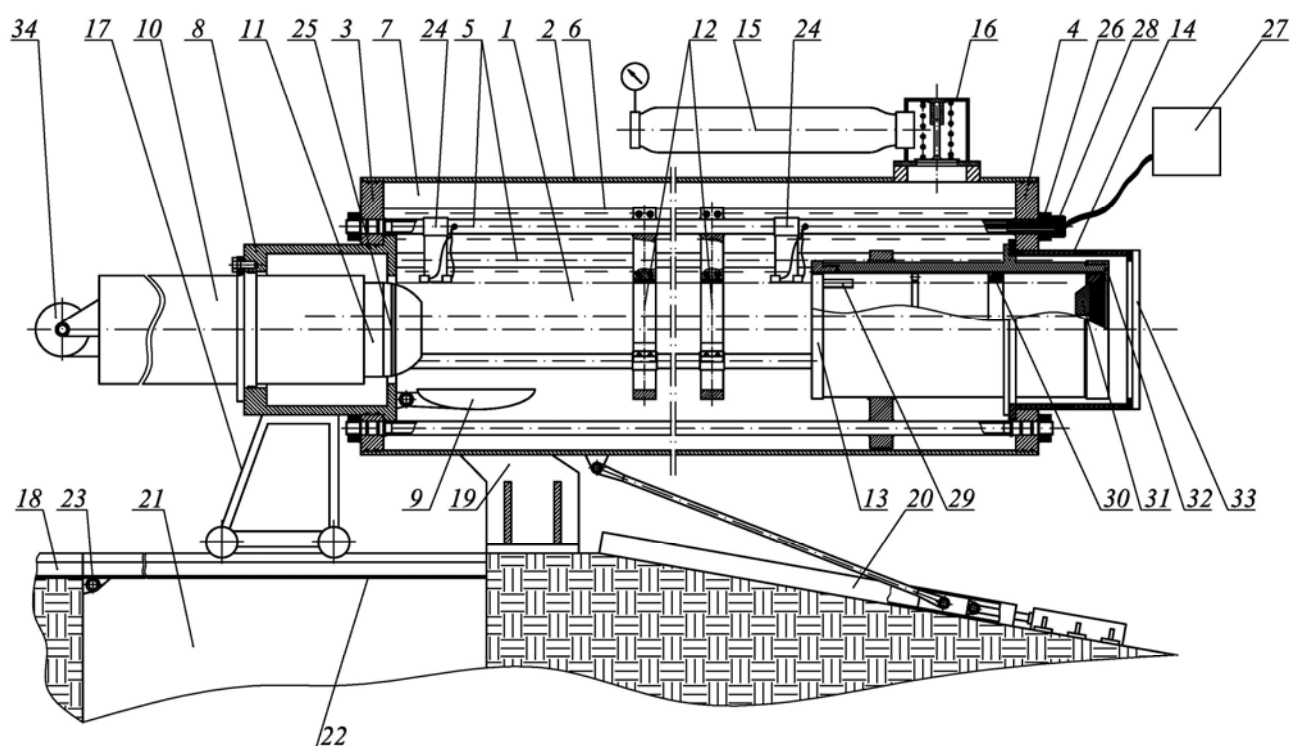


Рис. 1

Установка и настройка аппаратуры стенда под параметры исследуемого конкретного образца пускового устройства осуществляются при его подготовке к работе. Для этого днище 3 совместно с элементами 8, 5, 12, 24 и 13 с помощью тележки 17 выдвигается из обечайки 2 и перемещается по направляющим 18 до положения, обеспечивающего свободный доступ ко всем перечисленным узлам стенда. После этого к шлюзовой камере 8 с помощью крепежного устройства, например болтов, подсоединяется испытываемое пусковое устройство с обеспечением соосности с ним направляющих элементов кронштейнов 12 и обтюрирующих колец 30 тормозного устройства 13. Датчики 24 устанавливаются по месту для регистрации динамических выходных характеристик макета подводного аппарата. По окончании монтажа собранная конструкция перемещается внутрь обечайки до упора тормозного устройства 13 его бортиком в технологическую камеру 14. При этом концы штанг 5 входят в отверстия днища 4 и закрепляются гайками.

Перед началом испытаний все полости стенда находятся под атмосферным давлением. С помощью заливного устройства и системы вентиляции (на схеме не показаны) внутренняя полость резервуара-имитатора заполняется жидкостью (используемым в пусковом блоке ингибитором или водой). Посредством клапанов системы воздуха среднего давления (не обозначены на схеме) в демпфирующую полость подается воздух (также может использоваться инертный газ, например азот) до достижения установочного давления, имитирующего внешние условия работы пускового блока на глубине. Стенд подготовлен к работе.

По команде от аппаратуры 27 срабатывает пусковой блок 10, макет 11 выталкивается в резервуар, что сопровождается увеличением давления в демпфирующей полости 7. Под действием разности давлений в резервуаре-имитаторе 1 и в ресивере 15 открывается невозвратный клапан 16, в результате чего давление в одной части демпфирующей полости (внутри резервуара) уравнивается с давлением в другой ее части (внутри ресивера). После этого клапан закрывается, разъединяя две части демпфирующей полости, что позволяет в случае снятия давления в резервуаре сохранять давление в ресивере и тем самым способствовать экономии сжатого газа. Перемещение макета фиксируется аппаратурой 27 с помощью датчиков 24.

После полного выхода макета подводного аппарата из пускового блока его носовая часть входит в тормозное устройство 13. За счет обтюрации макета в переборках 30 давление в полости тормозного устройства возрастает, что обуславливает торможение макета (подробнее см. работу [3]). После обеспечиваемого катушкой 34 возврата подводного аппарата в пусковое устройство и восполнения энергетического запаса последнего в демпфирующей полости заново формируется требуемое давление. Стенд готов к следующему срабатыванию.

В случае необходимости имитации пуска макета подводного аппарата под углом к горизонтальной плоскости опорная тележка 17 отсоединяется от шлюзовой камеры 8 и перемещается по направляющим 18 в крайнее левое (см. рис. 1) по отношению к стенду положение. Затем часть направляющих убирается внутрь технологической щели 21 за счет поворота вокруг оси 23. После этого с помощью гидравлического привода 20 готовый к срабатыванию стенд разворачивается на требуемый угол и фиксируется относительно горизонта, при этом пусковое устройство 10 может частично или полностью входить в технологическую щель 21.

Для проведения диагностики пускового блока 10 или его замены аналогичным по массогабаритным характеристикам пусковым устройством шлюзовая камера закрывается крышкой, затем давление в шлюзовой камере снимается и находящаяся в ней жидкость удаляется с помощью системы заполнения/осушения (на схеме не показана). После этого пусковой блок может быть демонтирован.

При замене пускового блока 10, требующей корректировки состава и расположения внутренних элементов стенда, снимается давление в демпфирующей полости и производится слив жидкости из резервуара 1. После этого на стенде может быть смонтировано новое пусковое устройство в соответствии с описанной выше последовательностью работ.

Рассмотрим методику проектной оценки габаритных размеров такого стенда. Исходя из габаритных размеров подводных аппаратов, предполагаемых к испытаниям, оценим значения основных конструктивных параметров ГДС (рис. 2).

Объем воздушной демпфирующей полости ГДС вычисляется как

$$V_{в.п} = V_1 + V_2,$$

где V_1 — объем воздушной демпфирующей полости камеры-имитатора, m^3 ; V_2 — дополнительный объем демпфирующей полости, m^3 .

При этом исходя из полученных автором эмпирических данных площадь f_1 поперечного сечения воздушной подушки камеры-имитатора должна составлять от двух до трех площадей поперечного сечения подводного аппарата ($f_{ПА}$), т.е.

$$f_1 \geq (2,0 \dots 3,0) f_{ПА}.$$

Расстояния a_2 и a_3 (см. рис. 2) должны быть приблизительно, как минимум, равны диаметру подводного аппарата:

$$a_2 \cong a_3 \cong d_{\text{ПА}}.$$

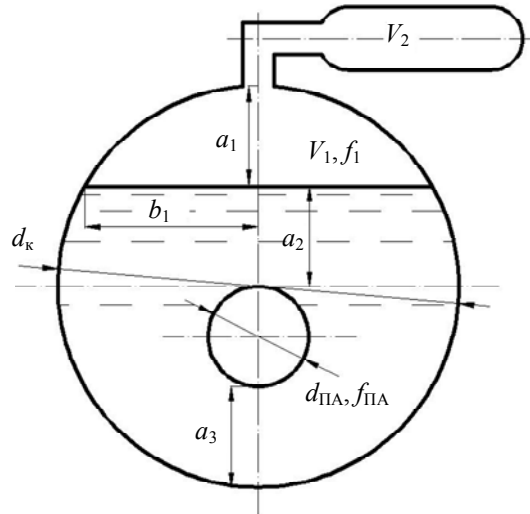


Рис. 2

Основываясь на диаметре ПА, можно произвести оценку высоты a_1 воздушной демпфирующей полости и диаметра d_k камеры-имитатора. Для этого систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} f_1 &\cong \frac{2}{3} a_1 2b_1, \\ b_1^2 &= a_1 3d_{\text{ПА}} \end{aligned} \right\}$$

следует решить относительно a_1 :

$$a_1 \cong \sqrt[3]{\frac{3f_1^2}{16d_{\text{ПА}}}},$$

тогда

$$d_k = a_1 + 3d_{\text{ПА}} \cong \sqrt[3]{\frac{3f_1^2}{16d_{\text{ПА}}}} + 3d_{\text{ПА}}.$$

Для оценки объема демпфирующей полости ГДС необходимо оценить длину L_k камеры-имитатора. Основные размеры стенда, используемые для такой оценки, показаны на рис. 3, где 1 — подводный аппарат, 2 — пусковое устройство, 3 — камера-имитатор, 4 — тормозное устройство.

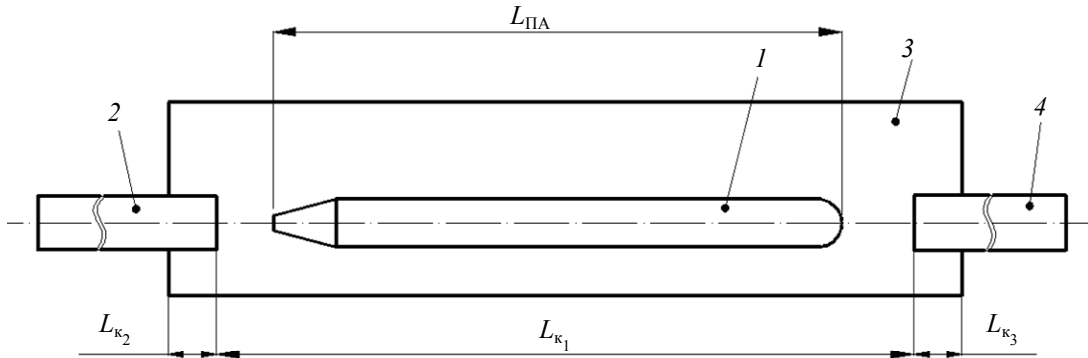


Рис. 3

Длина L_k камеры-имитатора определяется как (см. рис. 3)

$$L_k = L_{k1} + L_{k2} + L_{k3},$$

при этом длина $L_{к1}$ может быть определена из соотношения $L_{к1} \geq L_{ПА} + 3d_{ПА}$, а длины $L_{к2}$ и $L_{к3}$ оцениваются из конструктивных соображений: $L_{к2} \geq d_{ПА}$, $L_{к3} \geq d_{ПА}$. Таким образом, общая длина камеры-имитатора ориентировочно составляет

$$L_{к} \geq L_{ПА} + 5d_{ПА}.$$

Объем воздушной демпфирующей полости камеры-имитатора определяется как $V_1 = f_1 L_{к}$, а дополнительный объем формируется путем включения в состав демпфирующей полости стандартного баллона, выпускаемого промышленностью, и может быть оценен как $V_2 > V_1$. Тогда объем камеры-имитатора

$$V_{к} = \frac{\pi}{4} d_{к}^2 L_{к} + V_2.$$

Использование предложенной конструкции гидродинамического стенда позволяет повысить производительность опытных работ, качественно сократить финансовые, трудовые и временные затраты и расширить сферу исследовательских возможностей гидродинамических стендов. Представленные аналитические зависимости позволяют, при наличии данных о характеристиках предполагаемых к испытаниям подводных аппаратов, определить основные габаритные размеры гидродинамического стенда рассмотренной конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красильников А. В. Разработка методик и аппаратуры для технической диагностики и прогнозирования работоспособности пусковых устройств подводных аппаратов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010.
2. Гидродинамический стенд / О. И. Ефимов, А. В. Красильников, Р. В. Красильников. Заявка на изобретение № 2011120959, 2011.
3. Пат. 87510 РФ. Устройство торможения движущегося в жидкости тела. Полезная модель / О. И. Ефимов, А. В. Красильников, Р. В. Красильников. 2009.

Сведения об авторе

Антон Валентинович Красильников

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения;
E-mail: a.v.krasilnikov@mail.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
03.10.11 г.