

Потужність, що її споживає насос, на неусталених режимах визначаємо за залежно від параметрів обертального руху

$$N_n = \omega M_{нуст} = N_{уст} + \omega \left[M_{уст} + (I_p + D) \frac{d\omega}{dt} + C \frac{dQ}{dt} \right]. \quad (9)$$

Рівняння (7) – (9) складають математичну модель насоса при його роботі на неусталених режимах.

Для насоса 1К80–50–200 виконано оцінку додаткових витрат потужності на подолання інерційних властивостей води при її перекачуванні (на прикладі систем подачі та розподілу води м. Суми). Робоче колесо насоса діаметром $d_2 = 210$ мм обертається на номінальному режимі з частотою $n_n = 2900$ об/хв, при номінальній потужності $N_n = 18,5$ кВт. Коефіцієнти формули (9) мають значення: $C = 11$, $D = 0,0007$. Середня зміна подачі насоса $\Delta Q/\Delta t = 0,3$ м³/год·с спричиняє додаткові витрати потужності $\Delta N = 1,05$ кВт.

Висновки. За результатами проведеними авторами досліджень запропоновано систему диференціальних рівнянь, яка описує зовнішні характеристики відцентрового насоса на неусталених режимах його роботи, що дозволяє більш детально скласти баланс енергії та визначати енергоспоживання відцентрових насосів при роботі в зазначених умовах. Виконано оцінку складових потужності насосу на неусталених режимах роботи, що становить біля 6%.

Список літератури: 1. Стрежелецкий М.Н. Работа быстроходных колес лопастных насосов в сплошном потоке и методика их расчета / Научные записки Харьковского механико-машиностроительного института. Т. VI. Труды конференции по гидромашиностроению 4 – 7 января 1939 года. – Харьков: НКМ–СССР, 1940. – С. 85 – 169. 2. Степанов Г.Ю. Основы теории лопаточных машин, комбинированных и газотурбинных двигателей. М.: ГНТИМЛ. – 1958. – 350 с. 3. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы / Изд. 2-е, перераб. и дополн. – М. – Л.: Машиностроение. – 1966. – 364 с. 4. Высокооборотные лопаточные насосы / Под ред. Б.В. Овсянникова и В.Ф. Чебаевского. – М.: Машиностроение, 1975 – 336 с. 5. Викторов Г.В. Общие основы теории. Учебн. пособие по курсу Теория лопастных гидромашин. – М.: МЭИ, 1978 – 90 с. 6. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. – М.: Машиностроение. – 1977. – 288 с. 7. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). – Изд. 4-е, доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.

Поступила в редколлегию 01.09.2010

УДК 621.436:621.74

Л. С. ЗОЛОТАРЬ, ст. преп., НТУ «ХПИ», г. Харьков

О. В. АКИМОВ, докт. техн. наук, зав. каф., НТУ «ХПИ», г. Харьков

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЛИТОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОМПОЗИЦИИ ЧУГУН-ТИТАНОВЫЙ СПЛАВ

Найбільш перспективним матеріалом для виготовлення поршнів двигунів з високою мірою форсування є лита чавун – титанова композиція. Запропонований спосіб отримання литої чавун – титанової композиції дає можливість змінювати в широких межах режими литва біметалічних композицій, виконувати якісний і кількісний металографічний аналіз дифузійної зони, а також визначати механічні властивості зони поєднання двох сплавів.

Наиболее перспективным материалом для изготовления поршней двигателей с высокой степенью форсирования является литая чугун – титановая композиция. Предложенный способ получения литой чугун – титановой композиции дает возможность изменять в широких пределах режимы литья биметаллических композиций, выполнять качественный и количественный металлографический анализ диффузионной зоны, а также определять механические свойства зоны сочетания двух сплавов.

Решение проблемы повышения мощности и экономичности двигателя за счет форсирования режима его работы неразрывно связано с повышением качества и долговечности деталей двигателя, в первую очередь поршней, рабочие характеристики которых существенно зависят от свойств материалов, используемых для их изготовления.

Использование чугуна для изготовления поршней является одним из резервов сохранения или увеличения их долговечности. Так, при эксплуатации дизеля с литровой мощностью 18,5 кВт/л при заданном ресурсе 10000 ч относительная долговечность тонкостенного чугунного поршня на два порядка превышает этот ресурс. В настоящее время двигатели с монолитными чугунными поршнями работают при средних эффективных давлениях от 1,6 МПа до 2,23 МПа [1].

Работы, проведенные на кафедре литейного производства НТУ «ХПИ» показали, что форма графита в чугуне играет существенную роль в термостойкости чугуна. В этой связи наиболее предпочтительной является вермикулярная форма. Действительно чугун с вермикулярным графитом (ЧВГ) обладает наиболее благоприятным сочетанием свойств, необходимых для поршня высокофорсированного двигателя. Это позволяет существенно расширить уровень форсирования ДВС.

Высокий нагрев иногда приводит к разрушению днища поршня (трещины, пригар, разъедание) и к преждевременному выходу двигателя из строя. Это обстоятельство стимулирует различные попытки решения проблемы повышения надежности и долговечности форсированных двигателей как путем конструкторских решений (применение местного охлаждения, введение местного усиления), так и использование армирующих вставок из износостойких материалов, например, аустенитного чугуна типа нирезист. Такие решения усложняют конструкцию и технологию изготовления деталей, повышают их стоимость.

Таким образом, можно утверждать что создание деталей цилиндропоршневой группы перспективных форсированных двигателей возможно лишь при условии применения принципиально новых конструкционных материалов. Чтобы эти материалы смогли обеспечить ранее недостижимые температурно-силовые параметры работы агрегата они должны обладать следующим комплексом свойств: иметь высокую жаропрочность и стойкость к высокотемпературной газовой коррозии, высокую трещиностойкость, малый удельный вес, низкие значения коэффициента теплопроводности и термического расширения. Этим требованиям наиболее удовлетворяют конструкционная керамика и металлокерамические сплавы.

В практике мирового двигателестроения известны разработки двигателей нового поколения с привлечением керамики на основе оксидов, карбидов, нитридов и более сложных композиций. Однако уровень механических свойств этих материалов является недостаточным [2]. Это обстоятельство, а также высокая стоимость изделий из керамических материалов сдерживает их широкое применение.

Известно, что в условиях резких теплосмен металлокерамические материалы обладают повышенной стойкостью к динамическим нагрузкам по сравнению с керамиками [2]. Однако большинство металлокерамических материалов имеет высокую теплопроводность и не могут обеспечить надежную теплоизоляцию камеры сгорания.

Наиболее близким к керамике по своим тепломеханическим свойствам является титановый сплав. Следовательно, существенного результата можно ожидать от применения в условиях высокой степени форсирования двигателя чугунного поршня с вставкой под камеру сгорания, выполненной из титанового сплава.

Наличие в поршне металлической связи между юбкой и головкой поршня гораздо предпочтительнее, чем механическая связь. Именно металлическая связь обеспечивает условия для получения отливки с комплексом заданных свойств, тогда как в отливках с механической связью составные части сохраняют свойства отдельных материалов.

Достижение требуемых уровней свойств литейных сплавов исключительно методами оптимизации химического состава и подбора режимов термической обработки весьма затруднительно, а в некоторых случаях вообще невозможно. Отдельным частям отливки можно придать те свойства, которые необходимы для конкретных условий работы, только используя биметаллические композиции.

В связи с этим чрезвычайно актуальной является задача создания литой биметаллической композиции чугуна - титановый сплав.

Из многообразия методов получения биметаллических и многослойных отливок можно выделить четыре группы процессов, характеризующихся общностью технологических приемов [3,4]:

- одновременная или последовательная заливка жидких сплавов в форму с разделительной перегородкой;
- последовательная заливка в форму двух или более жидких сплавов;
- намораживание жидкого металла на твердую заготовку;
- заливка жидкого металла на твердую заготовку, предварительно расположенную в литейной форме или изложнице.

Последовательная заливка жидких сплавов в форму осуществляется через самостоятельные литниковые системы. Особенностью этого процесса является то, что получение качественных отливок связано с необходимостью регулирования величины переходной зоны, т.е. степени взаимного проникновения заливаемых металлов в зоне их контакта.

Процесс намораживания жидкого металла на твердую заготовку широко распространен в Японии. Известна разработка, в которой предлагается следующий способ получения биметаллической детали: на поверхность стальной

заготовки наносится сплав с повышенной сплавляемостью в жидком состоянии с металлом заготовки. Затем деталь погружается в расплав.

Процесс заливки жидкого сплава на твердую заготовку, предварительно установленную в литейную форму – универсален. Технология его заключается в предварительной подготовке поверхности вставки и ее заливке жидким сплавом. Высокая прочность сцепления, близкая к прочности основного металла, достигается при нагреве вставки до температуры, близкой к оплавлению [5].

Существует способ получения биметаллической заготовки, в процессе которого нагрев твердой заготовки осуществляют в обогреваемом тигле с жидким металлом до температуры $(0,7-1,0) T_{\text{плавл.}}$, а затем заготовку переносят в изложницу, заполненную жидким металлом с температурой, равной $(1,0-1,5) T_{\text{плавл.}}$ жидкого металла [6].

Одной из разновидностей процесса заливки металла на твердую заготовку является заливка с подплавлением заготовки [7].

С целью повышения качества биметаллических отливок было предложено нагревать заготовку, нанося на ее поверхность непосредственно перед заливкой флюсо-экзотермическую смесь [3].

Весьма перспективным является способ изготовления биметаллических отливок по технологии, согласно которой нагрев производится под слоем синтетического шлака. Способ отличается тем, что с целью улучшения качества отливки, стабилизации температурного режима процесса, перенос нагретой заготовки от источника нагрева до литейной формы осуществляется в экранирующей кожухе [3].

Вызывает интерес способ изготовления композиционной детали, который заключается в следующем: на твердосплавную вставку наносят металлическое покрытие и изготавливают комбинированную модель из вставки и выплавляемого материала. После этого по технологии литья по выплавляемым моделям образуют оболочковую форму, нагревают ее до 650-700 °С и заливают в нее расплавленный металл. В процессе заливки металлическое покрытие твердосплавной модели улетучивается [5]. Однако, вызывает сомнение, что такой уровень нагрева оболочковой формы достаточен для ее технологически необходимой прокалики.

В последнее время за рубежом широкое применение получили процессы литья с кристаллизацией под давлением, при которых для изготовления биметаллических отливок используются вставки из керамики и обычные литейные сплавы. Этот процесс получил наименование Investment casting [8].

При изготовлении биметаллических поршней используются разные схемы прессования [9–11]:

– поршневое, при котором давление кристаллизующемуся расплаву передается пуансоном, воздействующим на верхний торец отливки, которая кристаллизуется;

– пуансонное, при котором незатвердевший расплав под воздействием выступающей части пуансона выдавливается вверх до полного заполнения рабочей полости пресс-формы;

–прессование с заполнением рабочей части пресс-формы из специального металлоприемника под воздействием пуансона и последующим воздействием этим же пуансоном на затвердевающую отливку.

В Японии процесс литья с кристаллизацией под давлением по схеме, когда расплав из металлоприемника прессующим пуансоном подается непосредственно в рабочую полость пресс-формы, получил название Ni-cast способ. Сопротивление усталости поршней из традиционных алюминиевых сплавов ниже, чем у поршней, изготовленных по данной схеме литья [9].

В настоящее время известно несколько основных способов получения биметаллических поршней из черных металлов и алюминиевых сплавов [10,11]:

1) соединение при помощи слоя промежуточного материала, наносимого на поверхность твердого металла гальваническим, химическим или каким-либо другим способом. Металл промежуточного покрытия не должен окисляться, по крайней мере, при предварительном нагреве вставки. Толщина слоя промежуточного покрытия от 0,025 мм до 0,3 мм. До нанесения промежуточного покрытия на поверхность вставки может быть нанесен (окунанием или гальванически) слой олова, что усиливает сцепление между вставкой и промежуточным покрытием;

2) диффузионное соединение, получаемое предварительным горячим алитированием без обработки поверхности твердого металла флюсами. Для того, чтобы повысить сцепляемость между вставкой и поршнем, а также снизить пористость в районе вставки предлагается указанную вставку подвергнуть перед алитированием иермической обработке;

3) диффузионное соединение, получаемое предварительным флюсованием в расплавленных солях с последующим горячим алитированием;

4) диффузионное соединение, получаемое предварительным одновременным флюсованием и алитированием стальной вставки под постоянным током;

5) диффузионное соединение, получаемое предварительным горячим алитированием и одновременным воздействием вибрационных (ультразвуковых) колебаний;]

6) соединение, получаемое в результате алюмотермической реакции. Способ заключается в том, что вставку, покрытую слоем окислов меди, свинца, железа или марганца, устанавливают в форму и заливают жидким алюминиевым сплавом. При этом на границе соприкосновения двух сплавов возникает алюмотермическая реакция, вызывающая их сплавление;

7) соединение с двойным промежуточным слоем. Слой алюминия, образовавшийся на поверхности стальных или чугунных вставок, при горячем алитировании, быстро окисляется. Чтобы предотвратить этот процесс, препятствующий образованию надежной биметаллической связи, рекомендуется алитированную вставку сразу же погрузить на короткое время в расплав олова, кадмия.

Чаще всего в промышленности используются биметаллические композиции типа серый чугун – высокопрочный чугун; чугун – сталь.

Такие биметаллы производятся различными способами литья, литейного плакирования, прокатки, сварки, наплавки; среди методов литья – наиболее

распространенные – методы последовательной заливки, центробежного литья, непрерывного литья заливкой двух жидких металлов в два кристаллизатора, способом электрошлакового переплава.

Для того, чтобы получить взаимное смачивание двух близких по составу сплавов, необходимо иметь только чистую поверхность твердого металла, свободную от посторонних загрязнений. Близость температур плавления этих сплавов обычно приводит к растворению поверхностных слоев твердого металла, дополнительной очистке поверхности.

Получение биметалла серый чугун – высокопрочный чугун заключается в следующем: поверхности литейной формы покрывают составом, содержащим ингибитор сфероидизации, например титан. В подготовленную форму заливают чугун, модифицированный магнием. В местах соприкосновения с покрытыми поверхностями формы образуется пластинчатый графит, а в остальных – шаровидный [10].

Для получения биметаллической композиции низкоуглеродистая сталь – высокохромистый чугун рекомендуется наносить на поверхность низкоуглеродистой стали слой никелевого сплава толщиной 0,5–1,0 мм. Температура плавления этого сплава не должна превышать температуру плавления заливаемого сплава – чугуна [10].

Немецкие специалисты разработали способ получения двухслойной отливки, предусматривающий нанесение на твердую вставку покрытия из легкоплавкого металла; введение вставки в литейную форму и заливку ее жидкотекучим сплавом. Причем покрытие содержит 87–94 % Mn и 6–13 % P, а один из составляющих компонентов биметалла содержит железо [10].

Таким образом, анализ литературных сведений о способах получения биметаллических композиций свидетельствует о том, что одним из наиболее известных способов получения биметаллических композиций является заливка жидкого металла на твердую заготовку. По всей вероятности наилучшего результата можно достигнуть литьем по выплавляемым моделям.

Данные об использовании титановых сплавов в литых композициях отсутствуют, тем более для такой композиции как чугун – титановый сплав.

Лабораторные исследования показали, что железо в титане растворяется очень слабо: при температуре 590 °С предел растворимости железа в титане составляет менее 0,2 %. Это свидетельствует о том, что взаимная смачиваемость этих металлов недостаточна для возникновения металлической связи в композиции. По мнению некоторых исследователей улучшения смачиваемости этих металлов можно достичь путем нанесения промежуточных покрытий различного состава.

При взаимодействии железа и титана на границе их раздела образуется переходный диффузионный слой, состоящий из интерметаллических хрупких соединений. Наличие этих хрупких соединений существенно снижает прочность связи в композиции. Вероятно, что введение в состав композиции третьего элемента в качестве промежуточного покрытия могло бы либо затормозить образование хрупких включений, либо предотвратить их образование вообще.

Улучшения смачивания расплавом можно достичь путем нанесения промежуточного покрытия на поверхность твердой вставки.

Считается, что особенно результативным является покрытие такими металлами, которые при выбранной температуре процесса получения композиции имеют более замкнутую γ – область в системе «твердый металл – железо», чем твердый металл [12].

Существует ряд рекомендаций по выбору металлических покрытий для титановых сплавов. Чаще других упоминаются ванадиевые, никелевые, алюминиевые покрытия [13].

С целью оценки смачиваемости титановой вставки металлическими покрытиями и их сплавляемости с чугуном была проведена серия экспериментов по ее жидкофазной металлизации различными составами. Нагрев производился в атмосфере аргона. Технологические параметры каждого процесса приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры жидкофазной металлизации

Состав покрытия	Температура поверхности вставки, °С	Температура расплава покрытия, °С	Время выдержки вставки в расплаве покрытия, с	Температура расплава чугуна, °С	Время выдержки вставки в расплаве чугуна, с
Никель	900	1500	10	1350	10
Алюминий	900	500	10	1350	10
Бронза	900	800	10	1350	10
Медь	900	1100	10	1350	10
Монель	900	1300	10	1350	10

В случае погружения титановой вставки с никелевым покрытием в расплав чугуна вследствие того, что никель образует с железом непрерывный твердый раствор, процесс массопереноса идет настолько интенсивно, что в течение выдержки длительностью 10 сек произошло полное растворение образца в чугуне. Поэтому возникает необходимость тем или иным образом затормозить процесс растворения. Изменение длительности выдержки не привело к желаемым результатам.

Алюминий образует с титаном блок перитектического типа с малым значением предельной растворимости. При таком превращении происходит образование металлидов Ti_3Al , $TiAl$. Ближайший к титану металлрид Ti_3Al образуется при температуре 1250 °С по перитектоидной реакции $\beta + \gamma \rightarrow \alpha^2$, α^2 – твердый раствор на основе Ti_3Al . При температуре 1080 °С происходит еще одно превращение: $\beta + \alpha^2 \rightarrow \alpha$, где α – твердый раствор алюминия в алюминия в $\alpha - Ti$ с предельной растворимостью 11,6 % Al. С понижением температуры растворимость уменьшается до 6 % при 550 °С и происходит выделение избыточных кристаллов интерметаллидной фазы Ti_3Al , в результате чего пластичность титанового сплава резко падает. Эти положения подтверждаются тем, что в зоне титана с алюминием на исследуемых образцах имеется множество трещин, развивающихся внутрь титана, что делает невозможным использование алюминия в качестве покрытия титановой вставки.

Не оправдало себя и покрытие титановой вставки бронзой, а именно сплавом АЖНМ 9-4-4-1. Анализ макроструктуры показал наличие переходного слоя, но вся приповерхностная зона подвержена хрупкому разрушению, так как состоит из смеси интерметаллидных фаз Ti_3Cu_4 , $TiCu$ и титана. Повышение количества хрупкой интерметаллидных фаз приводит к снижению прочности и расслоению в зоне контакта титан – бронза. По краю переходной зоны – белый кант, который, вероятно, и затрудняет пластическую деформацию металла. При внедрении атомов меди в титан происходит перенос титана к примесному атому меди и наоборот. Параллельно с ослаблением связи между ячейками основной компоненты в зоне соединения возрастает роль взаимодействия между разнородными атомами. С одной стороны, это взаимодействие металлического типа, с другой – ионная компонента связи, вызванная электронным обменом, где донором всегда выступает титан, а акцептором – медь. За хрупкие свойства зоны соединения отвечает ионная связь. Очевидно, что прочность кристаллической решетки меди снижается присутствием большого количества примесных ячеек. Следовательно, управление прочностью зоны соединения титан – бронза должно заключаться в уменьшении примесных ячеек, т.е. в ослаблении диффузионных процессов в зоне соединения.

Учитывая эти предпосылки, в качестве промежуточного покрытия титановой вставки была применена медь. Она образует с титаном твердый раствор замещения, который обеспечивает упрочнение поверхности титана. При 1000°C образуется на границе медь – титан зона, состоящая из интерметаллида Ti_2Cu и включений твердого раствора меди в α – титане. Обогащение зерен β -фазы медью и создание слоя из интерметаллида Ti_2Cu определяет образование ровного фронта диффузионной зоны α -твердого раствора. Слои, состоящие из интерметаллида, Ti_2Cu становятся барьером для диффузии железа из чугуна вглубь титановой вставки. За счет протекания диффузионных процессов на границе медь- титан прочность сцепления покрытия с поверхностью возрастает и отслаивание не происходит.

С другой стороны, растворимость железа в меди и меди в железе очень мала, следовательно, ничтожно мала и диффузионная зона. Металлографический анализ и измерение микротвердости по глубине полученного слоя не выявили каких-либо оксидов, пор, трещин. Однако, медь является по отношению к железу поверхностно – активным веществом, что приводит в процессе даже непродолжительного диффузионного отжига, необходимого для получения биметаллической отливки, к резкому повышению плотности дислокаций в поверхностном слое чугуна и к его охрупчиванию. Это явление делает потенциально возможным отслаивание всего покрытия.

Опыты показали, что жидкофазная металлизация титановой вставки сплавом меди и никеля (монелью) является наиболее целесообразной. Слой никеля на границе с чугуном имеет зубцы, вклинивающиеся вглубь по границам зерен на различную глубину в зависимости от длительности отжига образца, что обусловлено различной скоростью диффузии никеля через кристаллическую решетку и по границам зерен.

Известно, что процессы образования интерметаллической фазы и растворения твердого металла в расплаве идут одновременно, поэтому конечная структура зависит от соотношения скоростей этих процессов. Так как растворение никеля в железе происходит чрезвычайно интенсивно, то этот процесс тормозит рост слоя хрупких интерметаллических соединений в промежуточной зоне.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан способ получения биметаллической композиции чугуна-титановый сплав, который заключается в заливке предварительно подвергнутой жидкофазной металлизации титановой вставки, полученной литьем по выплавляемым моделям, расплавом чугуна под давлением. Режимные параметры литья предварительно рассчитываются методом многопараметрической оптимизации.

Разработанный способ дает возможность изменять в широких пределах режимы литья биметаллических композиций, выполнять качественный и количественный металлографический анализ диффузионной зоны, а также определять механические свойства зоны сочетания двух сплавов.

Список литературы: 1. Абрамчук Ф. И. Основы повышения термоусталостной и длительной прочности поршней быстроходных форсированных двигателей: автореф. дис. на соискание науч. степени докт. техн. наук: / Ф. И. Абрамчук. - Харьков, 1992. - 20с. 2. Таран Ю. Н., Мазур В. И., Капустникова С. В. и др. Новые металлокерамические материалы на основе титана //Металл и литье Украины. К.: Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, - 1999.-№11-12.- с. 42-46. 3. Теория и практика процессов получения биметаллических и многослойных отливок. - К.: Наукова думка, 1987. - 115 с. 4. Производство биметаллов /[Голованенко С. А. и др.].-М.: Металлургия, 1986. - 225 с. 5. Композиционное литье –экономичный метод формообразования деталей / [Оболенцев Ф. Д. и др.] - М. : Металлургия, 1992. - 250 с. 6. Чарухина К. Е. Биметаллические соединения. - М. : Металлургия, 1986. - 145 с. 7. Основы технологии производства многослойных металлов/ [Король В.Н. и др.]. - М. : Металлургия, 1986. - 205 с.8. Coddard D. M. Investment cast composites //Foundry Trade Journal. - 1986. - V.9.№ 29.9. Nagata S., Sakamoto M. Development and application of metal matrix composites from pressure casting // Material and Design. - 1989. - V.10. № 3. 10. Лакедемонский А. В. Биметаллические отливки. - М.: Машиностроение, 1984. - 158 с. 11. Ginilio A. D. Aluminium coating of steel//Modern Casting. - 1988. - V. 92. № 5. 12. Технология диффузионных покрытий /Мельник П. И. - К.:Наукова думка, 1978.- с. 45, 54, 62. 13. Шипко А. А. Перспективные способы поверхностного упрочнения титановых сплавов и сталей при скоростном нагреве//Металловедение и термическая обработка металлов. - 1987. № 10.

Поступила в редколлегию 26.09.2010

УДК 662.75

С.М. РУСАЛИН, канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «УГХТУ»; Днепропетровск
В.Л. ЮШКО, докт. техн. наук, проф., ГВУЗ «УГХТУ»; г. Днепропетровск
В.В. КУЗЬМИНА, аспирант, ГВУЗ «УГХТУ», г. Днепропетровск

СОДЕРЖАТЕЛЬНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОБЫТИЙ В ГИДРАЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С КАВИТАТОМ И РЕЗОНАТОРОМ

Досліджена гідравлічна система, яка складається з кавітуючої трубки Вентурі та пластинчастого випромінювача. Явища, що відбуваються у системі, яка досліджується,