

УДК 621.431.3

М. Р. ТКАЧ, Б. Г. ТИМОШЕВСКИЙ, С. М. ДОЦЕНКО, Ю. Н. ГАЛЫНКИН

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕГО ТЕЛА МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ УТИЛИЗАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Дано устройство экспериментального стенда и конструкция металлгидридных реакторов активного типа для металлгидридной утилизационной установки непрерывного действия. Приведены данные прямых замеров и результаты обработки экспериментальных исследований параметров рабочего тела металлгидридной утилизационной установки непрерывного действия – суспензии металлгидрида $MmNi_{4,5}Al_{0,5}$ в керосине КС 25. Установлено, что в диапазоне давлений $5...15 \text{ кг/см}^2$ увеличение частоты вращения ротора с 480 до 680 мин^{-1} ведет к сокращению времени адсорбции на $21...27 \%$. Экспериментально подтверждена работоспособность гидридной суспензии.

Ключевые слова: рабочее тело, эксперимент, суспензия, водород, металлгидрид.

Обзор публикаций. Современные малооборотные ДВС являются надёжными, экономичными, совершенными машинами с высоким значением ($48...51 \%$) эффективного КПД. Тем не менее, значительная часть энергии топлива отводится в окружающую среду вместе с теплом вторичных энергетических ресурсов: теплом выхлопных газов, надвального воздуха, охлаждающей воды и масла [1-3].

Одним из наиболее эффективных способов преобразования такого тепла в механическую или электрическую энергию является использование утилизационных металлгидридных установок непрерывного действия [4]. В таких установках утилизируемое тепло используется для выделения и перегрева водорода в первом реакторе – десорбере. Затем водород расширяется в расширительной машине, выполняя полезную работу. После расширительной машины водород поглощается металлгидридным соединением, находящимся во втором реакторе – адсорбере, при этом давление и температура водорода относительно низкие. Таким образом, тепловая энергия вторичных энергетических ресурсов малооборотного ДВС преобразуется сначала в потенциальную энергию водорода, затем в полезную механическую работу. Остаточная энергия выделяется в виде тепла реакции абсорбции водорода и отводится в окружающую среду охлаждающим теплоносителем.

Непрерывность работы утилизационной металлгидридной установки достигается путем одновременного перемещения обогащённого водородом металлгидридного соединения из адсорбера в десорбер, а обеднённого соединения наоборот – из десорбера в адсорбер. Для циркуляции металлгидридного соединения, металлгидридный материал

(порошок), помещают в инертную к реакции поглощения/выделения жидкость, получая, таким образом, гидридную суспензию.

Изложение основного материала.

Таким образом, рабочим телом утилизационных металлгидридных установок непрерывного действия является гидридная суспензия, состоящая из металлгидридного материала, погруженного в инертную к реакции поглощения выделения жидкость. Именно применение гидридных суспензий позволяет отказаться от циклических схем и обеспечить непрерывный рабочий цикл [5, 6, 7].

Высокое значение КПД утилизационных металлгидридных установок непрерывного действия достигается применением металлгидридных материалов с $\Delta H=20...25 \text{ кДж/(мольH}_2)$ и $T^*=270...275 \text{ К}$, например $MmNi_{4,5}Al_{0,5}$ [4]. В качестве носителя необходимо использовать жидкости, обладающие высокой термической устойчивостью и химической устойчивостью во всем температурном диапазоне работы, имеющих невысокую стоимость, например полиметилсилоксан, жидкости семейства терминол, н-декан, керосин и другие.

В данных исследованиях рассмотрен один из возможных вариантов рабочего тела - суспензия $MmNi_{4,5}Al_{0,5}$ в керосине КС 25, которая по комплексу свойств может быть использована в утилизационных металлгидридных установках непрерывного действия.

Целью экспериментального исследования является изучение технологических особенностей получения и применения рабочего тела металлгидридной установки непрерывного действия.

Испытания проводятся на специальном экспериментальном стенде, состоящем из ряда систем:

водородной, вакуумной, нагрева, охлаждения, управления и контроля.

Водородная система предназначена для обеспечения водородом элементов стандам и состоит из гидридного аккумулятора-компрессора 1, малой измерительной ёмкости объёмом 1 л 6 (баллон для водорода 1–150У ГОСТ 949-73), большой измерительной ёмкости объёмом 10 л 5 (баллон для водорода 10–150У ГОСТ 949-73), реторты для испытуемого материала 7 (изготовлена из стали 12Х18Н9Т ГОСТ 1133-71), предохранительной мембраны 2 и водородных фильтров тонкой очистки 13.

Внешний вид экспериментального станда показан на рисунке 2.

Предусмотрена возможность подключения двух баллонов при необходимости. Указанные элементы системы соединены между собой через общий ресивер 10 при помощи медных труб диаметром 6 мм ГОСТ 11383-75, подключение и отключение обеспечивается при помощи ряда запорных вентилей №1...№9 (созданы на базе мембранных вентилей ВВ 88 по ТУ 26-05-89-87).

Вакуумная система предназначена для очистки контуров станда от атмосферного воздуха и загрязнённого водорода и система состоит из вакуумного компрессора 9, вакуумметра Р4, специального вакуумного трубопровода, изготовленного по ТУ 38-105881-85, подключённого к ресиверу 10.

Система нагрева служит для обеспечения требуемой температуры гидридного аккумулятора-компрессора и нагрева испытуемого образца металлогидрида и включает в себя электрический нагреватель гидридного аккумулятора-компрессора 3 и специализированную нагревательную печь 11 (нагреватели нихром Х20Н80 ГОСТ 10994–74).

Система охлаждения предназначена для отвода тепловой энергии, выделяющейся при сорбции водорода в металлогидриде аккумулятора-компрессора и в испытуемом материале. Состоит из охладителя гидридного аккумулятора-компрессора, выполненного в виде теплообменника типа «труба в трубе», вентилей подключения Valtec 227, трубопроводов подвода и отвода воды. Испытуемый материал охлаждается погружением реторты во внешнюю охлаждающую ёмкость.

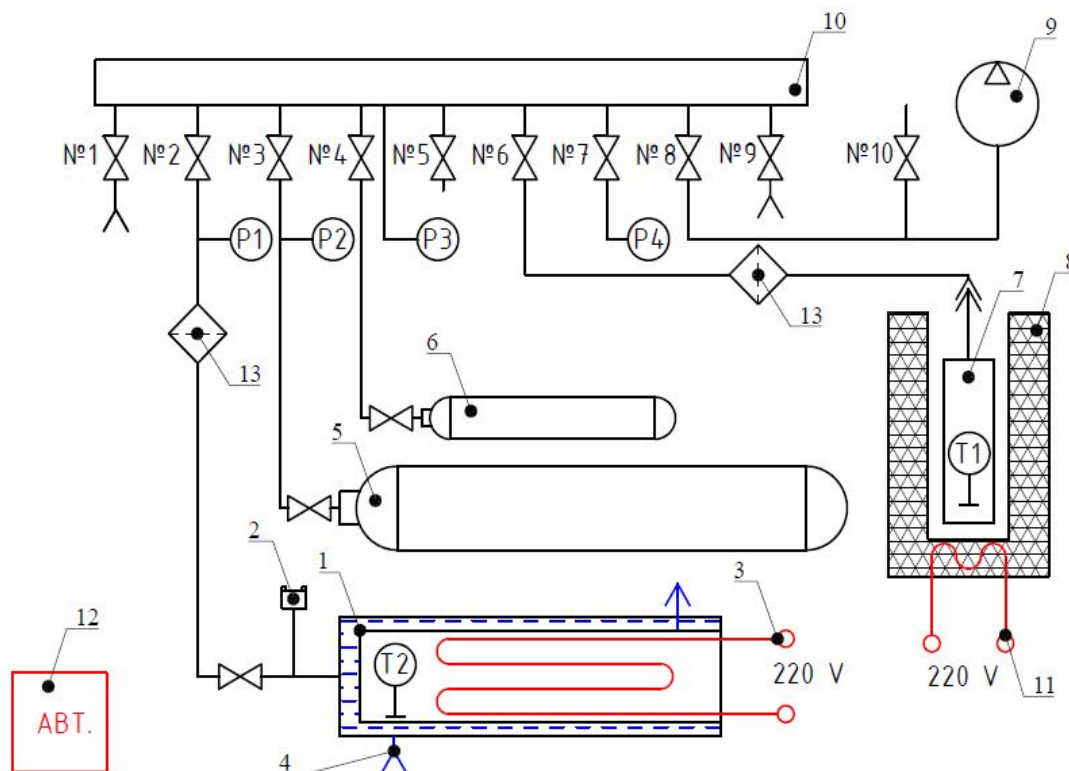


Рис. 1. Схема экспериментального станда:

- 1 – металлогидридный аккумулятор-компрессор, 2 – предохранительная мембрана,
 3 – нагреватель металлогидридного аккумулятора-компрессора, 4 – контур охлаждения металлогидридного аккумулятора-компрессора, 5 – баллон 10–150У ГОСТ 949-73, 6 – баллон 1–150У ГОСТ 949-73,
 9 – десорбер, 7 – ёмкость с испытуемым материалом, 8 – печь, 9 – вакуумный насос,
 10 – водородный ресивер, 11 – нагреватель печи
 12 – блок автоматики, 13- фильтр тонкой очистки водородный

Система контроля и автоматики обеспечивает поддержание параметров водорода в установленных пределах, необходима для безопасной эксплуатации оборудования. Система включает в себя два температурных датчика T1 и T2, размещенных в гидридном аккумуляторе-компрессоре и нагревательной печи, электроконтактный манометр P1, двухканальный регулятор температуры фирмы «Овен» 2TRM1 и силовые реле, размещенные в блоке автоматики 12.



Рис. 2. Внешний вид экспериментального стенда

Гидридный реактор активного типа. Поглощение и выделение водорода гидридообразующим материалом происходит в специально спроектированных реакторах (рис. 3).

Конструкция реактора активного типа предполагает наличие механического активатора – мешалки – гидридной суспензии, находящегося в герметичном объеме. В созданной конструкции электро-механическая часть представляет собой специально разработанный асинхронный электродвигатель с «сухим ротором» и располагается в верхней части реактора. Подключение реактора к водородному контуру экспериментального стенда осуществляется при помощи штуцерно-торцевого соединения, находящегося в его верхней части. Система электропитания и управления находится в отдельном корпусе и соединяется с обмотками статора экранированным электропроводом, рис. 3.

Измерение частоты вращения реализовано при помощи магнитного датчика, установленного на валу ротора. При этом приемник сигнала находится вне герметичного контура, что упрощает его подключение к измерительному оборудованию. Изменение частоты вращения ротора двигателя и мешалки осуществляется путем управления напряжением и частотой тока питания электродвигателя.

Измерение параметров работы осуществляется компьютеризированной системой измерений. Дат-

чик давления установлен на экспериментальном стенде, датчик температуры устанавливается на боковую поверхность реактора.

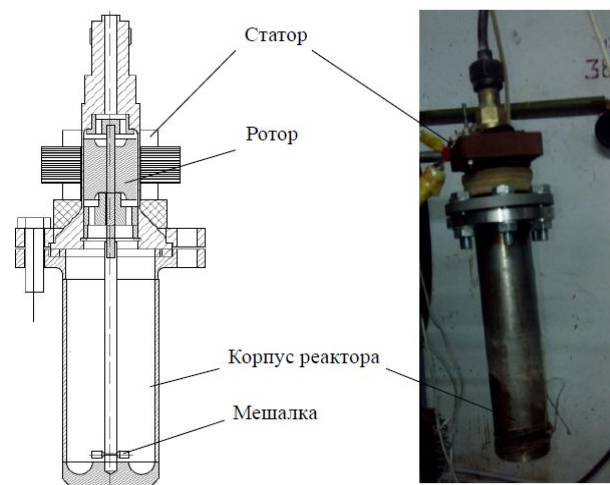


Рис. 3. Схема и общий вид гидридного реактора активного типа

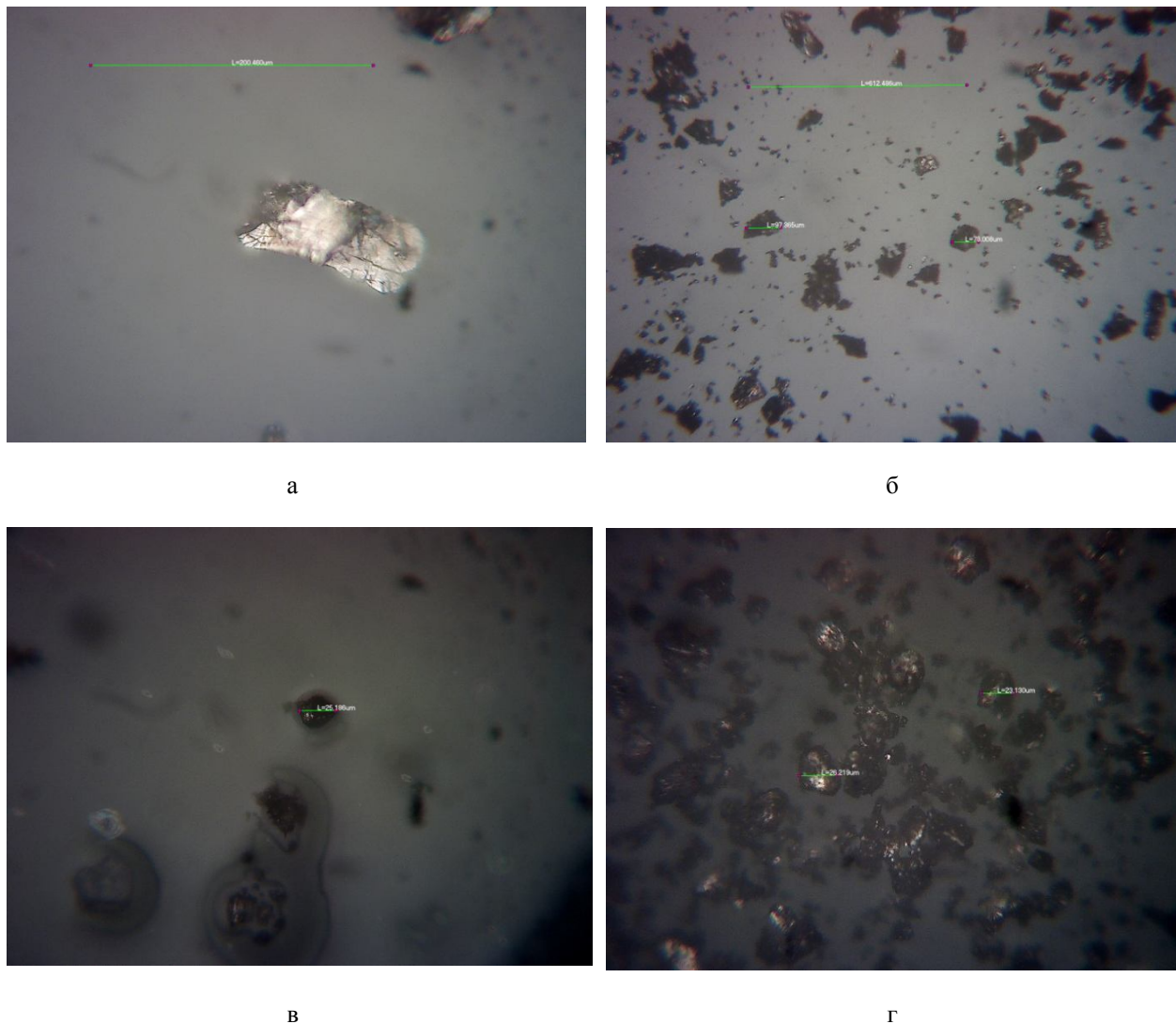
Измельчение материала. Предварительное измельчение интерметаллида проводилось в ступе при циклической загрузке с последующим отсевом на сите с размером ячейки 80 мкм.

Окончательное измельчение достигалось в шаровой мельнице. Помол проводился в течении 20 часов без добавления жидкости, в интенсивном режиме измельчения [8], для подбора режима помола изменение частоты вращения барабана мельницы.

Порошок, полученный при отсеве, а также после измельчения, измерен с помощью металлографического микроскопа ММУ 3 с увеличением 130 и 500 крат. Фотографирование проводилось на USB камеру Delta optical HDCE-20C, также использовалась программа Scope Image 9.0, фотографии порошка представлены на рисунке 4.

После первого измельчения в шаровой мельнице наблюдалось комкование порошка, предположительно связанное с впитыванием влаги из воздуха. В дальнейшем помол проводился в среде защитных газов: барабан шаровой мельницы заполняли аргоном.

Размер частиц после помола в шаровой мельнице составляет менее 40 мкм, фотографии представлены на рис. 5. Переходить к меньшим размерам частиц, на наш взгляд, нерационально, поскольку при уменьшении размера частиц менее 40 мкм наблюдается заметное усиление химической активности, связанное с увеличением площади их поверхности, что приводит к очень активной реакции порошка интерметаллида с кислородом воздуха.

Рис. 4. Фотографии измельченного порошка $MmNi_{4,5}Al_{0,5}$:

а, б – после измельчения в ступе, увеличение 130 крат, в, г – после помола в шаровой мельнице, увеличение 500 крат

Результаты. С целью исследования влияния технологических факторов на интенсивность адсорбции водорода выполнен полнофакторный эксперимент типа 2k, где k=2 (число факторов). В качестве независимых факторов приняты частота вращения ротора мешалки – X1 и давление абсорбции – X2. Остальные факторы - фиксированы [9].

Диапазон исследуемых параметров ограничен особенностями принятой конструкции реактора и системы управления. Управление частотой вращения ротора мешалки осуществлялось понижением подаваемого напряжения, что приводило и к снижению крутящего момента. При понижении частоты вращения ниже 465 мин^{-1} происходила остановка ротора мешалки, при увеличении частоты выше 675

мин^{-1} наблюдался значительный перегрев обмоток статора. Максимальное давление водорода ограничено $1,5 \text{ МПа}$ из прочностных соображений. Функцией отклика является время поглощения водорода, указанное в секундах. На каждом режиме проводили 5 экспериментов.

В качестве примера экспериментальных данных приведены зависимости на рис. 5 для диапазона частот вращения ротора мешалки $480 \dots 680 \text{ мин}^{-1}$ и диапазоне давлений $5 \dots 15 \text{ кг/см}^2$. Установлено, что в условиях применения исследованной конструкции реактора увеличение частоты вращения с 480 до 680 мин^{-1} ведет к сокращению времени адсорбции на $21 \dots 27 \%$, рис. 6

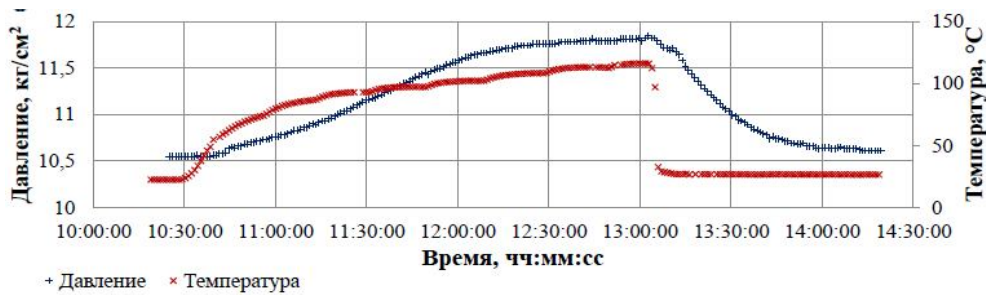


Рис. 5. Результаты прямых замеров

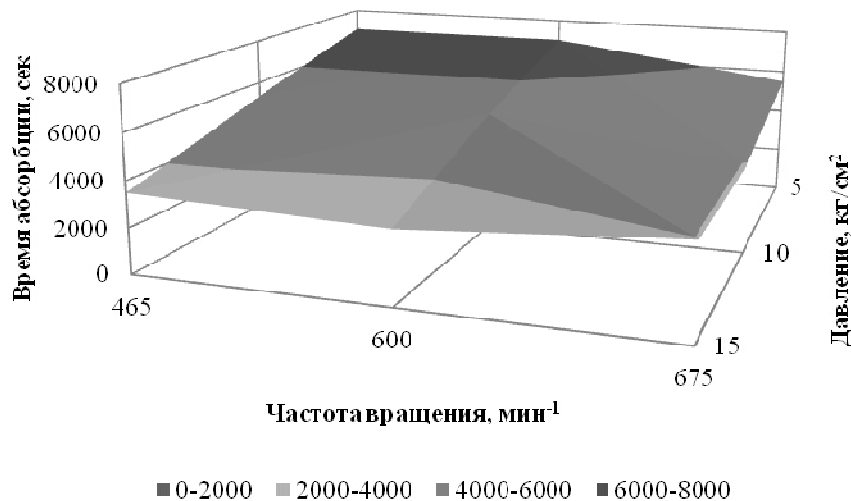


Рис. 6. Влияние частоты вращения и давления водорода на время поглощения

Выводы

1. Применительно к созданной конструкции активного реактора для гидридной суспензии, состоящей из металлгидридного материала $MmNi_{4,5}Al_{0,5}$ и керосина КС 25, увеличение частоты вращения ротора с 480 до 680 $мин^{-1}$ ведет к сокращению времени адсорбции на 24 %.

2. Поглощение водорода удалось зафиксировать только в случае применения металлгидридных реакторов активного типа.

3. В расчётах утилизационной металлгидридной установки непрерывного действия необходимо учитывать мощность, затрачиваемую на привод мешалки.

Литература

1. MAN Diesel & Turbo [Electronic resource]. – Access: <http://dieselturbo.man.eu/>. – 12.05.2015.

2. Wärtsilä [Electronic resource]. – Access: <http://www.wartsila.com/en/marine-solutions/products/net>. – 12.05.2015.

3. Mitsubishi heavy industries marine machinery & engine co. LTD [Electronic resource]. – Access:

<http://www.mhi-mme.com/products/engine.html>. – 12.05.2015.

4. Влияние регенерации энергии на эффективность утилизации низкопотенциального тепла металлгидридной установкой непрерывного действия [Текст] / М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевский, С.М. Доценко, Ю. Н. Галынкин // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – № 2. – С. 57–62.

5. Reylly, J. J. The kinetics of the absorption of hydrogen by $LaNi_5H_x$ – n -undecane suspensions [Text] / J. J. Reylly, J. R. Johnson // Journal of the Less-Common metals. – 1984. – № 104. – P. 175-190.

6. Gamo, T. Kinetics of the absorption of hydrogen by $LaNi_5H_x$ suspended in aqueous solutions [Text] / T. Gamo, J. R. Johnson, J. J. Reylly // Journal of the Less-Common metals. – 1987. – № 131. – P. 81-85.

7. Kim, K. J. Heat-driven hydride slurry heats pumps [Text] / K. J. Kim, K. T. Feldman, A. Razani // Refrig. – 1997. – Vol. 20, № 5. – P. 339-351.

8. Анциферов, В. Н. Порошковая металлургия и напыление покрытий [Текст] / В. Н. Анциферов, Г. К. Бобров, Л. К. Дружинин. – М.: Металлургия, 1987. – 792 с.

9. Адлер, Ю. П. Введение в планирование эксперимента [Текст] / Ю. П. Адлер. – М.: Металлургия, 1969. – 155 с.

Поступила в редакцию 2.06.2015, рассмотрена на редколлегии 22.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. каф. кондиционирования и рефрижерации Н. И. Радченко, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова.

ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОЧОГО ТІЛА МЕТАЛОГІДРИДНОЇ УТИЛІЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

М. Р. Ткач, Б. Г. Тимошевський, С. М. Доценко, Ю. М. Галинкін

Описано експериментальний стенд і конструкцію металогідридних реакторів активного типу для металогідридної утилізаційної установки безперервної дії. Наведено дані прямих вимірів і результати обробки експериментальних досліджень робочого тіла металогідридної утилізаційної установки безперервної дії – гідридної суспензії. Встановлено, що в діапазоні тисків 5 ... 15 кг / см² збільшення частоти обертання ротору з 480 до 680 хв⁻¹ веде до скорочення часу адсорбції на 21...27 %. Експериментально підтверджено працездатність гідридної суспензії.

Ключові слова: робоче тіло, експеримент, суспензія, водень, металогідрид.

PERFORMANCE OF THE WORKING FLUID FOR METAL HYDRIDE UTILIZATION CONTINUOUS PLANT

M. R. Tkach, B. G. Timochevskiy, S. M. Docenko, Y. N. Galinkin

A device test plant and design of the metal hydride reactors active type for the utilization metal hydride continuous power plant. Powered by direct measurements and data processing results of experimental studies of the working fluid metal hydride utilization of the continuous action - hydride slurry. It is found that the pressure range of 5 ... 15 kg/cm² the increase in speed rotor from 480 to 680 min⁻¹ leads to a reduction in the adsorption time by 21...27 %. The performance of the hydride slurry is confirmed experimentally.

Keywords: working fluid, experiment, suspension, hydrogen, metal hydride.

Ткач Михаил Романович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. инженерной механики и технологии машиностроения, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: mykhaylo.tkach@gmail.com.

Тимошевский Борис Георгиевич – д-р техн. наук, проф., зав. каф. двигателей внутреннего сгорания, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: btym@mksat.net.

Доценко Сергей Михайлович – канд. техн. наук, доцент, директор, Первомайский политехнический институт Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Первомайск, e-mail: sergey.dotsenko@nuos.edu.ua.

Галинкин Юрий Николаевич – науч. сотр., Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: MerchikDVS@yandex.ru.