

SIMULATION OF OPERATION HEAT OR COLD-MAKING UNIT WITH HYDRIDE HEAT PUMP

Shanin Yu.I. *

FSUE SRI SIA "Luch"

Zheleznodorozhnaya 24, Moscow region, Podolsk, Russia, 142100

Introduction

The experience of development thermal transformers using two-stage hydride heat pumps (HHP) is known [1]. Attempt of application the HHP for increase heat or cold generation here is considered within the framework of the single-stage heat pump. The calculated ground of a material composition, design and operational modes is a necessary part of researches at creation a HHP [2]. Earlier mathematical models were developed, the computer simulation of working processes in a HHP and comparison with experiment with reference to refrigerating devices of the automobile [3] is conducted. Results of calculations with allowance for of finite heat conduction of hydride beds here are considered. The calculations are conducted for single modules a conditional HHP. The results of calculations are compared to experimental results of modules an actual HHP. The modules included by components in the installation imitating heat production as an overheated water or a cold [4].

Mathematical model

The model takes into account main feature of a design of hydride sorbers and processes happening in it.

The mathematical model is developed for one-dimensional non-stationary case. In it the actual distribution physical variable - fields of temperatures, pressure, concentration of hydrogen on a hydride bed a HHP and their time history on one only to radial coordinate of cylindrical sorbers is taken into account.

The set of equations describing a thermal mode a HHP consisting from two sorbers containing high-temperature (HTH) and low-temperature (LTH) hydrides contains equations: heat conduction; equilibrium concentration of hydrogen in a hydride; fixed amount of hydrogen quantity in a system.

As the initial condition the initial pressure of hydrogen in a system is given. The contents of hydrogen in sorbers in an initial moment is from an equilibrium condition. During operation of pressure in sorbers were assumed identical.

As boundary conditions on an outside surface of hydride sorbers the law of a heat transfer of a Newton is assing.

Problem of computational research was the calculation a HHP, which design is already selected. The efficiency of the selected scheme and influence to the characteristics of the control parameters pump (cycle time, rate and temperature of the heat-carrier) was investigated. For the developed module the model allows to optimize modes it of operation (i.e. to receive maximum output on a cold or heat) by alternative change of operation parameters of a module.

Example of calculation

In article the results of calculations for a module of paper [4] are adduced. The scheme of the installation and scheme of a module is adduced. The module is made from sections of a pipe with external diameter 25 mm and wall thickness 1 mm. Weight a HTH $ZrCrFe_{1.2}$ - 0.57 kgs. Weight a LTH $LaNi_5$ - 0.84 kgs. For increase of efficiency main heat generating cycle weight of a low-temperature hydride in 1.5 times exceeded weight of a high-temperature hydride. For increase of heat conduction of a hydride bed in pipes the heat-conducting insertion from an aluminium foil is located. The central part of a module is taken with a collector of the collecting and distribution of hydrogen executing also role of the filter. The external part of a module pipe is washed by water.

The isotherms for the data of materials are obtained experimentally and were used in calculations after their computer processing.

At production of heat there were following heat sources: the hot heat-carrier (high temperature level T_h) - water with temperature 95-110°C, heat-carrier of an average level T_m - water with temperature 75-95°C and heat-carrier of a low level T_l - water with temperature 10°C.

Heat sources at cold production (conversion of a cycle): the hot heat-carrier (high temperature level T_h) - water with temperature in range from 80-100°C, heat-carrier of an average level

* e-mail: svi@luch.podolsk.ru; fax: 7(096)634582

T_m - water with temperature 10-20°C and heat-carrier of a low level T_1 - water with temperature 5-10°C.

The characteristic curve changes middle-integral (on a radius of the sorber pipe) temperatures of hydride beds are adduced at cycling.

The distributions of temperatures on a radius of sorbers show that of the greatest non-uniformity of a temperature field on a radius of a hydride bed take place only at initial stages of non-stationary processes.

The analysis of a cycle in coordinates pressure - concentration testifies that the significant part of the phase diagram in two-phase area "works". The carry of hydrogen is provided at a level 0.8 % from weight of a hydride.

The evaluations of hysteresis influence have shown curve pressure - concentration that the hysteresis (at the relation of sorption and desorption pressure at level 1.1-1.3) reduces an overall performance a HHP approximately on 25-40%.

Research of influence of parameters of control on the HHP module characteristics

1. *Initial pressure of hydrogen in sorbers.* The pressure variation of charge essentially has an effect for operation of a module. At low pressure the contents of hydrogen in a hydride meets to a linear segment of the phase diagram. There is a slanting maximum for the power characteristics. With increase of pressure of charge the quantity of transferable hydrogen is reduced and the power characteristics are worsened. The calculations have confirmed that an overall performance the HHP in heat a producing cycle (basis cycle of the installation) is possible to increase at various quantity of hydride alloys in sorbers.
2. *Temperature of the heat-carrier.* In heat a raising cycle the increase of temperature on an average level T_m results in increase of output temperature at a level T_h . The increase of temperature of a hot water T_h at production of a cold improves a pump power. The increase of heat-carrier temperature on an average level T_m worsens power parameters at generation of a cold because of increase of duration of the first cycle stage.
3. *Water rate.* The current fluid mode (laminar or turbulent) essentially influences instant energies values and heat/cool powers. The influence of the rate on mean power characteristic of did not exceed 20%.

4. *Cycle time.* At operation control of a module on time the calculations have shown that at identical times of half-cycles of energy (input in a HTH and given up the LTH) with increase of cycle time will increase weakly exponential. Thus the increase practically stops at excess of half-cycle time 8 min.

Comparison with experimental results

The comparison of results of calculation and experiment /4/ was carried out on heat and cold production.

The good qualitative fitness of results for all characteristics of a module was obtained. Thus the quantitative excess of computational results above experimental data made 1.2-1.6 times. It is connected to model limitations and it by differences from actual processes in hydride beds.

Conclusions

The developed model can use for qualitative study of influence of various parameters and approximate quantitative estimations. It allows operatively carrying out calculations of various designs a HHP.

Reference

1. Suda S, Komazaki Y, Narasaki H, Uchida M. Development of a double-stage heat pump: experimental and analytical surveys. J Lesson-Common Metals, 1991;172-174:1092-1110
2. Fedorov EM, Shanin YI, Izhvanov LA Simulation of hydride heat pump operation. Int J Hydrogen Energy, 1999;24: 1027-1032
3. Shanin YI Simulation of hydride heat pump operation with reference to vehicle refrigerating devices. In: Veziroglu TN, Zaginaichenko SY, Schur DV, Trefilov VI editors. Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides. NATO science series. Series II: Mathematics, Physics and Chemistry - Vol.82, 2002, p.97-106.
4. Astakhov BA et al. Development of installation based on metal hydride heat pump for heat and cold generation. - In the collection of thesis's 6-th inter. conf. "Hydrogen materials science and chemistry of metal hydrides", ICHMS'99, Ukraine, Yalta, 02-08 September 1999, p.360-361.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛО - ИЛИ ХОЛОДОПРОИЗВОДЯЩЕЙ УСТАНОВКИ С ГИДРИДНЫМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Шанин Ю.И.*

ФГУП "НИИ НПО Луч"

142100, Россия, Подольск, Мо, Железнодорожная, 24

Введение

Известен опыт разработки теплотрансформаторов, использующих двухступенчатые гидридные тепловые насосы (ГТН) /1/. Здесь рассмотрена попытка применения ГТН для теплоповышения или генерации холода в рамках одноступенчатого теплового насоса. Расчетное обоснование материального состава, конструкции и режимов работы является необходимой частью исследований при создании ГТН /2/. Ранее были разработаны математические модели, проведено компьютерное моделирование рабочих процессов в ГТН и сравнение с экспериментом применительно к холодильным устройствам автомобиля /3/. Здесь рассматриваются результаты расчетов с учетом конечной теплопроводности гидридных слоев. Расчеты проведены для единичных модулей условного ГТН. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными результатами модулей реального ГТН. Модули входили составными элементами в установку, имитирующую производство теплоты в виде перегретой воды или холода /4/.

Математическая модель

Модель учитывает основные особенности конструкции гидридных сорберов и происходящих в ней процессов.

Математическая модель разработана для одномерного нестационарного случая. В ней учитывается реальное распределение физических переменных - полей температур, давлений, концентраций водорода по гидридному слою ГТН и их изменение во времени по одной лишь радиальной координате цилиндрических сорберов.

Система уравнений, описывающая тепловой режим ГТН, состоящий из двух сорберов, содержащих высокотемпературный (ВТГ) и низкотемпературный (НТГ) гидриды, содержит уравнения: теплопроводности; равновесной концентрации водорода в гидриде; постоянства количества водорода в системе.

В качестве начального условия задано исходное давление водорода в системе. Содержание водорода в сорберах в начальный момент находится из условия равновесия. В процессе работы давления в сорберах предполагались одинаковыми.

В качестве граничных условий на наружной поверхности гидридных сорберов задается закон теплоотдачи Ньютона.

Задачей расчетного исследования являлся расчет ГТН, конструкция которого уже выбрана. Исследовалась эффективность выбранной схемы и влияние на характеристики насоса параметров управления (время цикла, расход и температура теплоносителя). Для разработанного модуля модель позволяет оптимизировать режимы его работы (т.е. получить максимальную производительность по холоду или теплу) путем вариантного изменения параметров работы модуля.

Пример расчета

В работе приведены результаты расчетов для модуля работы /4/. Приведена схема установки и схема модуля. Модуль выполнен из отрезков трубы с внешним диаметром 25 мм и толщиной стенки 1 мм. Масса ВТГ $ZrCrFe_{1,2}$ - 0.57 кг. Масса НТГ $LaNi_5$ - 0.84 кг. Для увеличения эффективности основного теплогенерирующего цикла масса низкотемпературного гидрида в 1.5 раза превышала массу высокотемпературного гидрида. Для повышения теплопроводности гидридного слоя в трубах размещена теплопроводная вставка из алюминиевой фольги. Центральную часть модуля занимает коллектор сбора и раздачи водорода, выполняющий также роль фильтра. Внешняя часть трубы модуля омывается водой.

Изотермы для данных материалов получены экспериментально и использовались в расчетах после их компьютерной обработки.

При производстве тепла имелись следующие тепловые источники: горячий теплоноситель (высокий температурный уровень T_h) - вода с температурой 95-110°C, теплоноситель

* e-mail: svi@luch.podolsk.ru; fax: 7(096)634582

среднего уровня T_m - вода с температурой 75-95°C и теплоноситель низкого уровня T_1 - вода с температурой 10°C.

Тепловые источники при производстве холода (конверсия цикла): горячий теплоноситель (высокий температурный уровень T_h) - вода с температурой в диапазоне от 80-100°C, теплоноситель среднего уровня T_m - вода с температурой 10-20°C и теплоноситель низкого уровня T_1 - вода с температурой 5-10°C.

Приведены характерные кривые изменения средне-интегральной (по радиусу трубы сорбера) температур гидридных слоев при циклической работе.

Распределения температур по радиусу сорберов показывают, что наибольшие неоднородности температурного поля по радиусу гидридного слоя имеют место лишь на начальных стадиях нестационарных процессов.

Анализ цикла в координатах давление-концентрация свидетельствует о том, что "работает" значительная часть фазовой диаграммы в двухфазной области. Перенос водорода обеспечивается на уровне 0.8% от массы гидрида.

Оценки влияния гистерезиса кривых давление-концентрация показали, что гистерезис (при отношении давлений сорбции и десорбции на уровне 1.1-1.3) снижает эффективность работы ГТН примерно на 25-40%.

Исследование влияния параметров управления на характеристики модуля ГТН

1. *Начальное давление водорода в сорберах.* Изменение давления зарядки существенно сказывается на работе модуля. При низком давлении содержание водорода в гидриде соответствует линейному участку фазовой диаграммы. Имеется пологий максимум для мощностных характеристик. С ростом давления зарядки снижается количество перекачиваемого водорода и ухудшаются энергетические характеристики. Расчеты подтвердили то, что эффективность работы ГТН в теплопроизводящем цикле (основном цикле установки) можно повысить при различном количестве гидридных сплавов в сорберах.

2. *Температура теплоносителя.* В теплоповышающем цикле увеличение температуры на среднем уровне T_m приводит к повышению выходной температуры на уровне T_h . Повышение температуры горячей воды T_h при производстве холода улучшает энергетическую характеристику насоса. Повышение температуры теплоносителя на среднем уровне T_m

ухудшает энергетические показатели при генерации холода из-за увеличения длительности первой стадии цикла.

3. *Расход воды.* Режим течения жидкости (ламинарный или турбулентный) существенно влияет на мгновенные значения энергий и мощностей нагрева/охлаждения. Влияние расхода на средние по времени мощностные характеристики не превышало 20%.

4. *Время цикла.* При управлении работой модуля по времени расчеты показали, что при одинаковых временах полуциклов энергии (поступившая в ВТГ и отданная НТГ) с ростом времени цикла слабо экспоненциально возрастают. При этом рост практически прекращается при превышении времени полуцикла 8 мин.

Сравнение с экспериментальными результатами

Сравнение результатов расчета и эксперимента /4/ проводилось по производству тепла и холода.

Было получено хорошее качественное совпадение результатов для всех характеристик модуля. При этом количественное превышение расчетных результатов над экспериментальными данными составляло 1.2-1.6 раза. Это связано с ограничениями модели и ее отличиями от реальных процессов в гидридных слоях.

Выводы

Разработанной моделью можно пользоваться для качественного изучения влияния различных параметров и приблизительных количественных оценок. Она позволяет оперативно проводить расчеты различных конструкций ГТН.

Литература

5. Suda S, Komazaki Y, Narasaki H, Uchida M. Development of a double-stage heat pump: experimental and analytical surveys. J Lesson-Common Metals, 1991;172-174:1092-1110
6. Fedorov EM, Shanin YI, Izhevskiy LA Simulation of hydride heat pump operation. Int J Hydrogen Energy, 1999;24: 1027-1032
7. Shanin YI Simulation of hydride heat pump operation with reference to vehicle refrigerating devices. In: Veziroglu TN, Zaginaichenko SY, Schur DV, Trefilov VI editors. Hydrogen Materials Science and Chemistry of Metal Hydrides. NATO science series. Series II: Mathematics, Physics and Chemistry - Vol.82, 2002; p.97-106.
8. Астахов БА и др. Создание теплохладопроизводительной установки с гидридным тепловым насосом. - В сб. тезисов 6-ой межд. конф. "Водородное материаловедение и химия гидридов металлов". Украина, Ялта, (02-08).09.1999, с.360-361.