

Результаты химического анализа исходной и обессоленной воды

Характеристика воды	Сухой остаток, мг/л	Удельное сопротивление, ом·см	pH	Окисляемость по O ₂ , мг/л	Состав, мг/л							
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Fe ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	SiO ₂
Исходная вода	341	1·10 ³	7,3	1,8	54,75	5,48	34,27	0,02	3,0	268,4	6,7	2,4
Обессоленная вода	Около 1,0	(0,7 ÷ ÷1,7) × ×10 ⁶	6,8	1,02	Нет	Не опр.	Не опр.	Нет	Менее 0,02	Менее 0,005 мг·эке/л	Не опр.	0,4—0,6

полное количество годной для подпитки воды, получаемой между двумя циклами регенерации, 50 м³. Такая высокая производительность при сравнительно низкой полной обменной емкости фильтров выбрана для того, чтобы рационально использовать имеющиеся на реакторе баки общей емкостью 40 м³, предназначенные для аварийного запаса расхоложивающей воды первого контура реактора и для хранения подпиточной воды. Небольшие размеры установки позволили разместить ее в помещении площадью 15 м². Ионнообменная установка включает в себя (см. рисунок) четыре ионитовых фильтра (используются катионит КУ-2 и анионит ЭДЭ-10П; в каждый фильтр загружается по 250 л набухшей смолы) объемом по 300 л каждый, два монжюса для приготовления кислотных и щелочных регенерационных растворов объемом по 500 л, два монжюса для обессоленной воды объемом по 200 л, смеситель и нейтрализатор для смешивания и нейтрализации сбросных регенерационных растворов и систему трубопроводов и вентиля, которая позволяет проводить все рабочие операции на установке. Конструкционным материалом является нержавеющая сталь 1Х18Н9Т. Режим работы установки предусматривает следующие операции: обессоливание, взрыхление, регенерацию, отмывку.

При обессоливании артезианская вода проходит последовательно через четыре фильтра и собирается в монжюсах для сбора обессоленной воды. Из монжюсов с помощью сжатого воздуха она подается в баки подпиточной воды реактора или другим потребителям.

Контроль за качеством получаемой воды осуществляется непрерывным измерением удельного сопротивления воды (в протоке) на лабораторном кондуктометре, проведением периодических химических анализов на присутствие в воде ионов Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe⁺⁺ + Fe⁺⁺⁺, хлора, HCO₃⁻, SiO₃⁻, измерением pH, анализом на окисляемость и определением сухого остатка

(см. таблицу). Перед регенерацией иониты подвергаются взрыхлению с помощью технической воды, направляемой снизу вверх. Катионитовые фильтры регенерируются последовательно 1,5- и 3- и 6%-ными растворами серной кислоты по 500 л. Регенерационный раствор готовится на технической воде в кислотном монжюсе и пропускается через фильтр со скоростью 5 м/ч (1 м³/ч). Расход концентрированной серной кислоты на регенерацию катионитовых фильтров составляет 100 кг. Регенерация анионитовых фильтров проводится 6%-ным раствором каустической соды. Регенерационный раствор готовится в щелочном монжюсе на обессоленной воде; расход каустической соды составляет 30 кг. Полная регенерация установки осуществляется за 8 ч, после чего катионитовые фильтры отмываются технической водой до кислотности ~1 мг·эке/л по метилоранжу, анионитовые фильтры — катионированной водой до щелочности ~1 мг·эке/л по фенолфталеину.

Ионнообменная установка эксплуатируется с октября 1961 г. Качество получаемой на ней воды вполне соответствует предъявляемым требованиям к чистоте воды реактора (см. таблицу). Установка включается периодически один раз в два-три месяца и обслуживается одним человеком во время ее работы. Пуск ионнообменной установки позволил повысить качество подпиточной воды реактора и снизить затраты на ее получение в 1000 раз (исходя из эксплуатационных затрат).

Авторы выражают глубокую благодарность Б. П. Константинову за предложение перейти на систему ионнообменной очистки и Д. М. Каминкеру за поддержку в работе, а также сотрудникам Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехнических и санитарно-технических работ П. П. Корыстину и И. В. Вольфу за помощь, оказанную ими при проведении лабораторных испытаний установки и составление рекомендаций по ее проектированию.

Поступило в Редакцию 8/VIII 1963 г.

УДК 621.639.517

Теплоотдача в раздвинутых пучках стержней при продольном обтекании металлическим натрием

В. М. Боршанский, Э. В. Фирсова

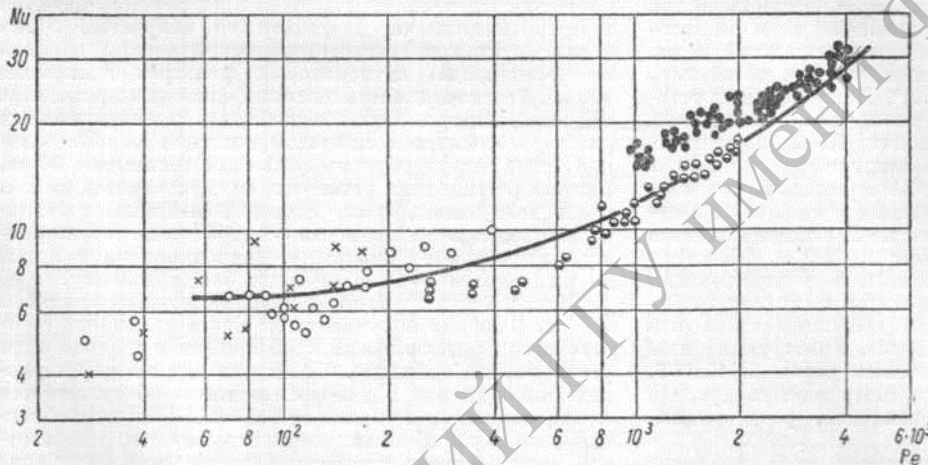
В заметке авторов [1] были кратко изложены некоторые результаты исследования теплоотдачи при течении металлического натрия ($Pr \approx 0,007$) в межтрубном пространстве пучка, образованного системой труб,

расположенных в вершинах равноугольного треугольника, с относительным шагом $\frac{s}{d} = 1,2$. Из сопоставления этих результатов с данными работы [2] по ис-

следованию теплоотдачи при обтекании ртутью ($Pr \approx 0,02$) пучков стержней аналогичной геометрии с $\frac{s}{d} = 1,38$ и $\frac{s}{d} = 1,75$ была получена обобщающая критериальная формула

$$Nu = 6 + 0,006 Pe. \quad (1)$$

В качестве определяющего размера в критериях подобия подставляется эквивалентный гидравлический диаметр, отнесенный к смоченному периметру. Применение этого параметра в качестве определяющей геометрической характеристики при турбулентном течении жидкого металла в канале сложного профиля подробно рассмотрено в работе [3] и в условиях описываемых опытов не приводит к каким-либо ограничениям. Структура формулы (1) при больших числах Pe исключает влияние определяющего линейного размера на теплоотдачу, что соответствует опытным фактам, впервые



Результаты измерений зависимости $Nu = f(Pe)$ для разных значений s/d .
Данные ЦКТИ: \circ — 1,2; \times — 1,5. Данные работы [2]: \bullet — 1,75; \ominus — 1,38.

замеченным В. И. Субботиным и П. А. Ушаковым. В то же время при малых числах Pe теплоотдача в основном определяется первым членом формулы, который принят постоянным и не зависящим от относительного шага пучка и режима течения потока (числа Re). В общем случае (при $Pr \rightarrow 0$) указанная величина в известной мере зависит от конфигурации системы и режима течения (числа Re), что следует из работы [5], посвященной расчету теплоотдачи при обтекании пучков стержней ламинарным потоком.

Сопоставление опытных данных для натрия и ртути [1] показывает разброс опытных точек $\pm 30\%$. Это может быть следствием как недостаточно точного учета геометрии системы (отсутствие в формуле параметра s/d), так и различием физико-химических условий на границе раздела жидкий металл — стенка при обтекании системы ртутью и натрием. Поэтому были поставлены опыты с металлическим натрием при обтекании пучка труб с $\frac{s}{d} = 1,5$. Опыты проводились на установке и по методике, описанной ранее [1, 6, 7]. Содержа-

ние кислорода в металлическом натрии при температуре $220 \div 270^\circ C$ ($Pr = 0,0064$) составляло $0,017$ вес.%. Скорость течения натрия в межтрубном пространстве $0,09 - 0,59$ м/сек. Числа Re и Pe изменялись в диапазоне $(4,3 \div 28) \cdot 10^3$ и $28 - 172$ соответственно. Так же, как и в опытах [1] с пучком при $\frac{s}{d} = 1,2$, не было замечено

«розетки» температуры по периметру центрального стержня. Результаты опытов в координатах формулы (1) показаны на рисунке. Там же приведены данные для натрия [1] и для ртути [2]. Данные опытов, проведенных с пучками с $\frac{s}{d} = 1,2$ и $\frac{s}{d} = 1,5$, получены в области небольших чисел Pe ($Pe < 400$). В пределах точности эксперимента не наблюдается расслоения опытных точек по относительному шагу. Результаты опытов по теплоотдаче к натрию при турбулентном течении в пучке с $\frac{s}{d} = 1,5$ также аппроксимиру-

ются линией, описываемой формулой (1).

Как отмечалось ранее в работах [4, 6, 7], при меньших относительных шагах ($\frac{s}{d} \rightarrow 1,0$) наблюдается «розетка» температуры по периметру труб, образующих пучок, что является следствием сложной гидродинамической картины обтекания системы. В связи с этим расчет по формуле (1) в подобных случаях может привести к существенным ошибкам вследствие того, что не учитывается влияние конкретной геометрии ($\frac{s}{d}$) и режима течения

(Re) на формирование теплового пограничного слоя по теплоотдающему периметру. Однако рассмотрение этого вопроса выходит за рамки настоящей заметки.

Поступило в Редакцию 25/VII 1963 г.

ЛИТЕРАТУРА

- В. М. Боршанский, Э. В. Фирсова. «Атомная энергия», 14, 584 (1963).
- A. Friedland et al. International Developments in Heat transfer 1961. Part III. Published by the ASME. N. Y., 1961.
- И. И. Новиков, К. Д. Воскресенский. Термодинамика и теплопередача. М., Госэнергоиздат, 1962.
- В. И. Субботин и др. «Атомная энергия», 9, 461 (1960).
- E. M. Spargow, A. L. Loeffler, H. A. Hubbard. Trans. ASME, C, No. 4 (1961).
- Э. В. Фирсова. «Инж.-физ. ж.», № 5, 17 (1963).
- В. М. Боршанский Э. В. Фирсова. В сб. «Жидкие металлы». Под ред. В. М. Боршанского и др. М., Госатомиздат, 1963, стр. 165.

