

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ДВУКОМПОНЕНТНОЙ СРЕДЫ «ГАЗ-ТЖМТ» В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Бокова Т.А., Зырянова Т.К., Маров А.Р., Волков Н.С., Сумин Р.В.,
Погорелов М.Д. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия)

Введение

В циркуляционном контуре с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями (ТЖМТ) необходимо решать задачу поддержания качества теплоносителя. Данная задача включает в себя поддержание заданного окислительно-восстановительного потенциала применительно к циркуляционным контурам. Для этого в контур ТЖМТ вводятся газы, за количеством которых должен осуществляться непрерывный контроль, для предотвращения превышения величины газонасыщения в контуре. Процесс газонасыщения контура с ТЖМТ мало изучен, исследования в данном направлении проводились лишь под определенные задачи.

Введение газов (разных по составу и концентраций) для решения данных задач должно быть целенаправленным, и исключить нежелательные источники примесей, так как несоблюдение технологии теплоносителя может привести к аварийным ситуациям как в реакторных установках, так и на экспериментальных и исследовательских стендах. Во избежание аварий на РУ с использованием ТЖМТ необходимо понимание физико-химических процессов, протекающих в теплоносителе при эксплуатации. Также, необходимо понимать, как взаимодействует легкая фаза при контакте с теплоносителем и последующим ее движением по контуру, при каких условиях и в каких количествах требуется вводить газовую смесь в теплоноситель для решения тех или иных задач, связанных с изменением характеристик установки в целом.

В процессе эксплуатации реакторной установки, а также работы экспериментального или исследовательского стенда, контур будет насыщаться большим количеством примесей. Основными, помимо оксидов теплоносителя и продуктов коррозии конструкционных материалов, являются нерастворенные газы и пары воды, образуемые в процессе восстановления оксидов теплоносителя или в процессе аварийного состояния «межконтурная неплотность ПГ». В зависимости от изменения газонасыщения ТЖМТ РУ БРЕСТ будет меняться уровень теплоносителя, который и так варьируется в процессе эксплуатации, что может привести к отклонению от требуемого режима эксплуатации. Понимание того, как себя ведет двухкомпонентный газовый поток и какое влияние он оказывает на контур очень важно для повышения эффективности работоспособности и безаварийной работы установки.

Главная цель исследования — изучение влияния газонасыщения на свойства свинцового теплоносителя применительно к реакторным и исследовательским установкам с ТЖМТ. Для реализации данной цели были проведены экспериментальные исследования по определению влияния наличия «легкой» фазы на изменение объема теплоносителя в статических условиях.

1. Описание экспериментальной установки

Экспериментальные исследования по определению изменения объема теплоносителя при барботаже аргоном и водородом проводились на экспериментальном стенде ФТ-2018-2 (рисунок 1).

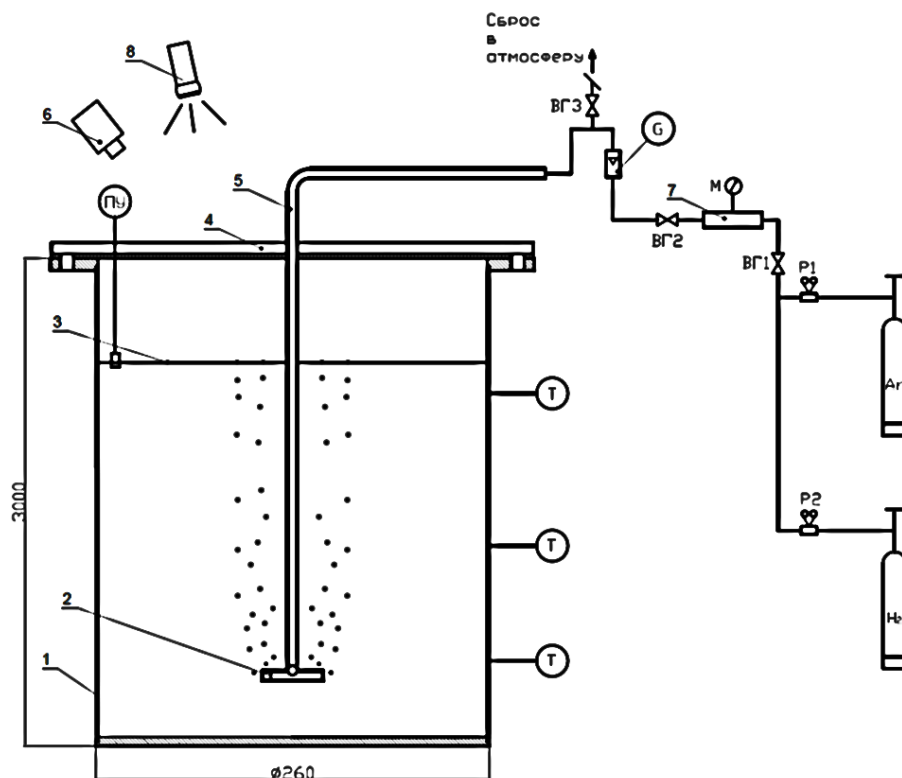


Рис.1. Схема стенда ФТМ-2018-2

В состав стенда входят:

- емкость с ТЖМТ общим объемом $V \approx 159.3$ л (поз. 1);
- барботажная труба (поз. 5), оснащенная сопловым насадком (поз. 2);
- контроль расхода газа осуществляется газовым ротаметром G;
- коллектор газовый (поз. 7);
- баллон с аргоном с редуктором P1;
- баллон с водородом с редуктором P2;
- трубопроводы и арматура системы газа (Dn 10 мм);
- система электрического обогрева емкости со свинцом с возможностью управления и регулирования температурой электрообогреваемых участков с ТЖМТ;
- система сбора и обработки информации в составе: термопар поверхностных контроля температуры емкости с ТЖМТ, поплавковый уровнемер в емкости с ТЖМТ; манометр ($0 \div 9$ кгс/см²) – образцовый;
- теплоизоляция оборудования и трубопроводов с ТЖМТ;
- визуализация и фиксация разрывающихся на свободной поверхности свинца (поз.3) пузырей газа осуществляется цифровой видеокамерой (поз. 6) с фиксированием размеров пузырей газа при помощи линейки, установленной на швеллер (поз. 4).

Определение изменения объема теплоносителя при барботаже аргоном и водородом производились при помощи поплавкового уровнемера. Замер уровня осуществлялся до начала барботажа, сразу после его окончания и далее с равными интервалами времени в 15 секунд. Барботаж аргоном и водородом производился в течение 5 минут с расходом газа 15 мл/с и общим расходом газа 4,5 литра.

Сопловой насадок (рисунок 2) представляет собой четверник, заглушенный с торцов, с суммарно 20 отверстиями на заглушках и 120 отверстиями на боковых поверхностях диаметром 0.9 мм.



а)



б)

Рис. 2. Сопловый насадок: а – вид сверху; б – вид с торца.

2. Результаты проведенных исследований

Результаты исследований барботажа аргоном на стенде ФТ-2018-2 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Барботаж аргоном

		Эксперимент №1		Эксперимент №2		Эксперимент №3	
Объем свинца перед барботажем, л		138,059		138,006		137,582	
Объем свинца во время барботажа, л	12 сек	138,113	20 сек	138,059	10 сек	137,635	
	26 сек	138,166	50 сек	138,113	20 сек	137,688	
	41 сек	138,219	–	–	88 сек	137,741	
	–	–	–	–	259 сек	137,794	
Объем свинца после барботажа, л		138,219		138,113		137,794	
Объем свинца после барботажа, л	+15 секунд	138,166		138,059		137,688	
	+30 секунд	138,113		138,059		137,688	
	+45 секунд	138,059		138,006		137,635	
	+60 секунд	138,059		138,006		137,635	
	+75 секунд	138,059		138,006		137,635	
	+3 минуты	138,059		138,006		137,582	
	+6 минут	138,059		138,006		137,635	
	+9 минут	138,059		138,006		137,635	
	+12 минут	138,059		138,006		137,582	
	+15 минут	138,059		138,006		137,582	

Анализ зависимости полученных результатов изменения объема от газонасыщения свинцового теплоносителя в условиях барботажа аргонном показывает следующее: было зафиксировано, что изменение объема во время барботажа происходит в течение первых 5 минут, изменение уровня свинца варьировалось от 2 до 4 мм. После окончания барботажа уровень снижался в течении 1,5 минуты, затем оставался постоянным.

На рисунке 3 представлен график изменения объема теплоносителя в зависимости от времени.

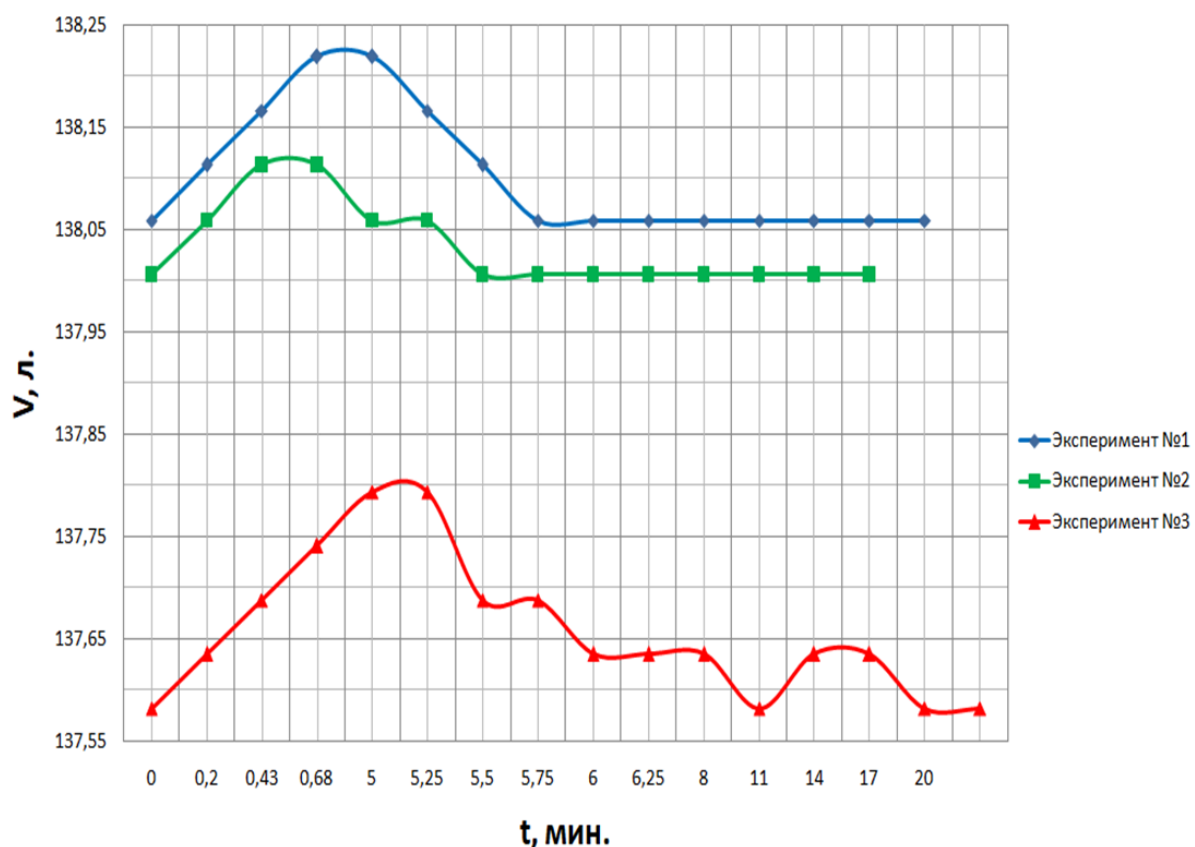


Рис. 3. График изменения объема теплоносителя от времени барботажа аргонном

В эксперименте №3 график меняется с 8 минут до 17 минут, это изменение связано с погрешностью измерений.

В таблице 2 представлены результаты проведения испытания с барботажем водородом.

Анализ зависимости полученных результатов показывает следующее: зафиксировано, что изменение объема во время барботажа происходит в течение первых 5 минут. В ходе барботажа водородом изменение уровня свинца варьировалось от 3 до 4 мм. После окончания барботажа уровень снижался в течение 1,5 минуты, затем оставался постоянным.

На графике (рисунок 4) в эксперименте №1 с 5:30 минут до 17 минут значение объема изменяется медленнее, чем на других графиках. Это отличие связано с тем, что газ эффективнее удерживался в объеме свинца, либо с погрешностью измерений.

Таблица 1

Барботаж водородом

		Эксперимент №1		Эксперимент №2		Эксперимент №3	
Объем свинца перед барботажем, л		137,688		137,688		137,688	
Объем свинца во время барботажа, л	17 сек	137,731	9 сек	137,731	8 сек	137,731	
	26 сек	137,794	32 сек	137,794	25 сек	137,794	
	33 сек	137,847	80 сек	137,847	40 сек	137,847	
	62 сек	137,9	145 сек	137,9	—	—	
Объем свинца после барботажа, л		137,9		137,9		137,847	
Объем свинца после барботажа, л	+15 секунд	137,9	137,847	137,794			
	+30 секунд	137,847	137,794	137,741			
	+45 секунд	137,794	137,741	137,741			
	+60 секунд	137,794	137,741	137,688			
	+75 секунд	137,794	137,688	137,688			
	+3 минуты	137,741	137,688	137,688			
	+6 минут	137,741	137,688	137,688			
	+9 минут	137,741	137,688	137,688			
	+12 минут	137,688	137,688	137,688			
	+15 минут	137,688	137,688	137,688			

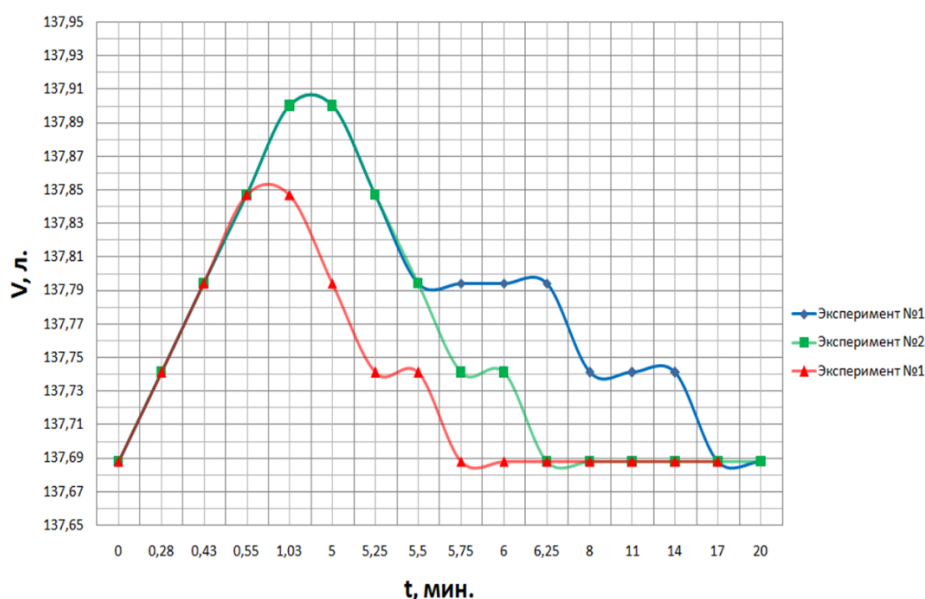


Рис. 4. График изменения объема теплоносителя от времени барботаже водородом

Было рассчитано относительное газонасыщение путем усреднения полученных значений изменения объема теплоносителя. Были получены следующие значения относительного газонасыщения для аргона 0,115 % и для водорода 0,141 %.

На основании полученных данных можно сделать выводы о работоспособности разработанной установки.

Так же, была произведена фотофиксация свободной поверхности. Были зафиксированы минимальный размер (фото слева) пузыря – 8 мм и максимальный размер пузыря (фото справа) – 67 мм (рисунок 5).

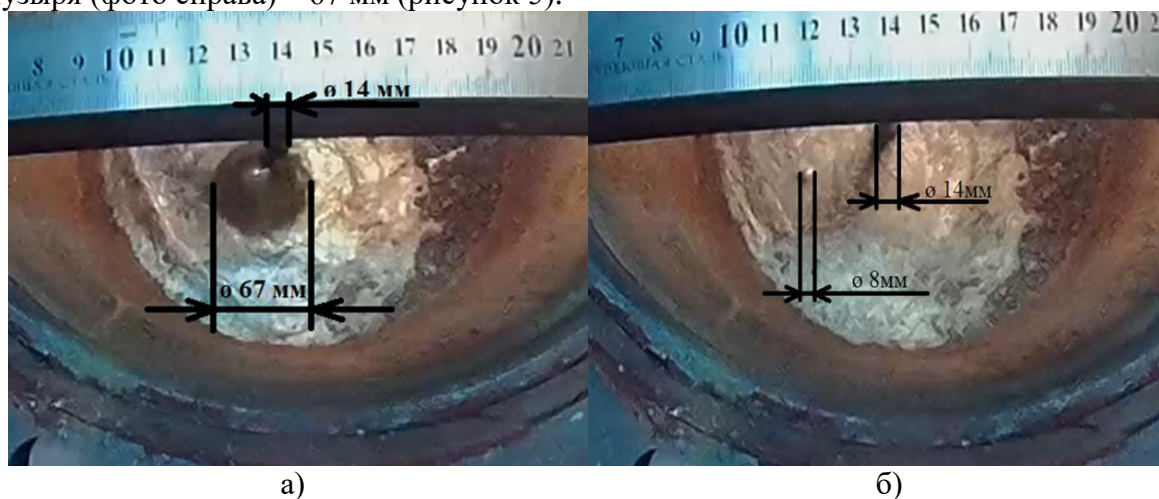


Рис. 5. Фотофиксация свободной поверхности:

а – фотография свободной поверхности свинца с зафиксированным пузырем минимального диаметра 8 мм; б – фотография свободной поверхности свинца с зафиксированным пузырем максимального диаметра 67 мм

3. Дальнейшие исследования

Для проведения следующей серии испытаний был разработан экспериментальный стенд ФТ-2022-Г (рисунок 6) для определения влияния легкой фазы на объем теплоносителя. Исследования планируется проводить в 3 этапа при постоянном давлении газовой системы. На каждом из этапов определяется изменения свободного уровня теплоносителя в зависимости от уровня заглубления и типа устройств ввода газовой смеси.

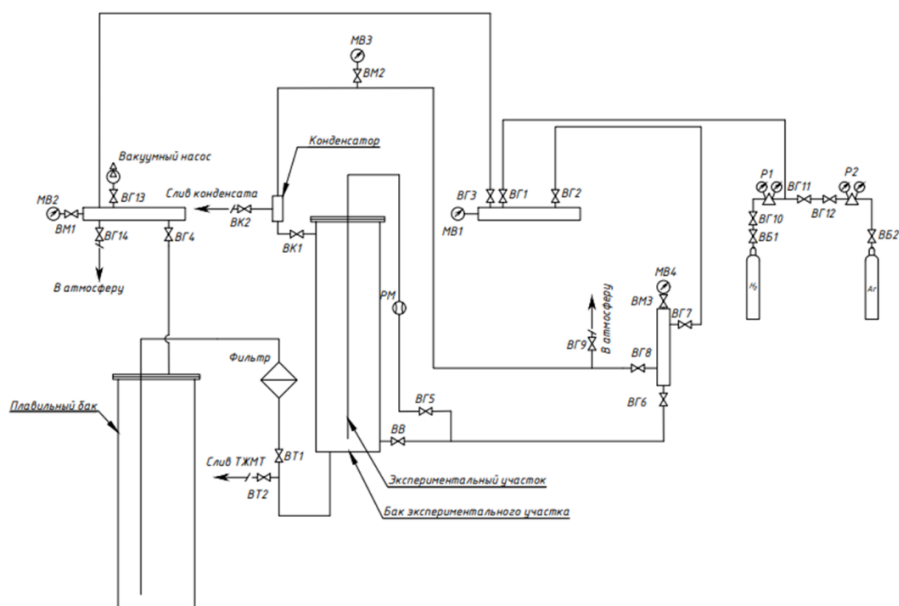


Рис. 6. Схема экспериментальной установки ФТ-2022-Г

На рисунке 7 представлено 3 насадки для ввода легкой фазы в свинцовый теплоноситель.

Насадок 1 имеет три отверстия для истечения газовой фазы с диаметрами 1,5 мм, 2 мм, 2,5 мм

Насадок 2 имеет 3 капилляра диаметра 1,5 мм. Длины капилляров 5, 10, 15 мм. Разные длины капилляров выбраны для предотвращения агломераций газовых пузырей в объеме теплоносителя. Крепление капилляров осуществляется с помощью резьбового соединения.

Насадок 3 представляет собой патрубок с отверстием (пропилем) прямоугольной формы и наваренной пластины с зубцами (прорезями), служащей для дробления газовых пузырей.

Для каждой насадки планируется три серии испытаний: с уровнем теплоносителя 500 (98 литров) мм, 800 (157 литров) мм и 1100 (216 литров) мм.

Для проведения описанных исследований был смонтирован стенд ФТ-2022-Г, разработаны и изготовлены насадки экспериментального участка, разработаны программа и методика проведения испытаний.

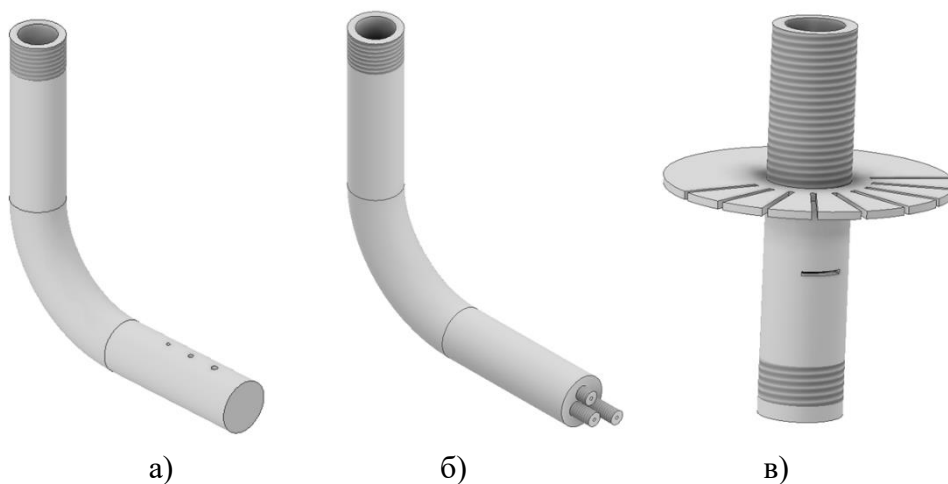


Рис. 2. Насадки экспериментального участка стенда ФТ-2022-Г:
а – насадок 1, б – насадок 2, в – насадок 3

Заключение

Коллективом авторов были проведены экспериментальные исследования направленные на определение влияния наличия «легкой» фракции на изменение объема тяжелого жидкометаллического теплоносителя в статических условиях на установке ФТМ-2018-2.

В результате были получены следующие данные:

- Изменение уровня теплоносителя составило 2–4 мм при расходе аргона 15 мл/с с подачей 4,5 л газа в ТЖМТ и на 3–4 мм при расходе водорода 15 мл/с с подачей 4,5 л газа в ТЖМТ, что говорит о работоспособности данной установки;
- Были определены диаметр отрыва и скорость всплытия газовых пузырей, которые составили 1,45 мм и 7,28 м/с соответственно;
- Относительное газонасыщение составило 0,115% для аргона и 0,141% для водорода.

В настоящее время планируется проведение испытаний на стенде ФТ-2022-Г для определения влияния газонасыщения на свойства ТЖМТ в зависимости от способа истечения легкой фазы.

Список литературы

1. А.В.Безносков, Ю.Г.Драгунов, В.И.Рачков, Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике, МОСКВА: ИздАТ – 2006;
2. Оборудование энергетических контуров с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике: учеб. пособие/ А.В. Безносков, Т.А. Бокова; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011.
3. Журавлева О.Р. Экспериментальное исследование влияния газонасыщения на свойства свинцового теплоносителя применительно к реакторной установке с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем: магистерская дис.: 13.04.01/ Журавлева Ольга Романовна — г. Н. Новгород, 2019.