

ВЫБОР КОРРЕЛЯЦИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ИСТИННОГО ОБЪЕМНОГО ПАРСОДЕРЖАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОХЛАЖДЕНИЯ ТВС В БАСЕЙНЕ ВЫДЕРЖКИ

Р.М. Следков

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

142103, Московская обл., г. Подольск, ул. Орджоникидзе, 21

Для цитирования: Следков Р.М. Выбор корреляций для расчета истинного объемного паросодержания при решении задачи охлаждения ТВС в бассейне выдержки. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2023. – № 4. – С. 140-143.
DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.4.12>

Рассмотрена задача моделирования гидродинамики и тепломассообмена, возникающая в случае потери охлаждения бассейна выдержки (БВ) РУ ВВЭР, с целью определения корректности расчета ключевой характеристики – истинного объемного паросодержания φ теплоносителя, а следовательно, и плотности теплоносителя ρ – на базе имеющихся корреляций. Для этого необходимо проведение соответствующих экспериментов:

- локального эксперимента (ЛЭ), который исследует какое либо локальное явление в БВ или замыкающее соотношение, в данном случае корреляцию по φ в отдельной одиночной ТВС;
- интегрального эксперимента (ИЭ), более полно воспроизводящего БВ, например, экспериментальная установка (ЭУ) с установкой (или моделированием) рядом с исследуемой соседних ТВС с наиболее полным учетом основных процессов в БВ, например, динамики снижения уровня теплоносителя в ЭУ.

Основной характеристикой для надежного охлаждения твэлов в БВ при аварии является время от начала аварии до начала оголения топлива $\tau_{ог}$ и, соответственно, начала интенсивного разогрева твэла, приводящего к его повреждению. Время от начала аварии до начала оголения топлива характеризует динамику снижения уровня воды в БВ. Эта основная характеристика исследуется среди других в ИЭ.

В совокупности оба этих эксперимента позволяют откорректировать (в случае необходимости) и валидировать соответствующие универсальные теплогидравлические коды (КОРСАР/ГП, СОКРАТ/В1 и другие) или специализированные (предназначенные только для БВ) коды (РОК/Б) для условий БВ.

В 1993 г. на стенде повторного залива ОКБ «ГИДРОПРЕСС» был выполнен единственный в России локальный эксперимент (назовем его реперным экспериментом – РЛЭ), отвечающий натурным условиям охлаждения ТВС в БВ реакторных установок с ВВЭР:

- натурный электрообогреваемый макет многостержневой (126 тепловыделяющих стержней) рабочей кассеты ВВЭР-440 (в некоторых ЭУ были промоделированы трубы или баки, или малостержневые пучки);

© **Р.М. Следков, 2023**

- барометрическое давление (моделирование изменения давления под гермооболочкой в ходе аварии не рассматривалось);
- малые значения скорости циркуляции в пучке стержней и мощности ТВС;
- выработка пара за счет кипения воды в ЭУ (в некоторых ЭУ пар моделировался подводимым воздухом).

Погрешность определения ρ (исходя из инструментальной погрешности φ 1,5%) в рассмотренном диапазоне φ составляет ~2%.

Условия проведения других ЛЭ не совсем соответствовали натурным условиям БВ. Для этих экспериментов были получены корреляции для расчета φ . Многие из указанных корреляций были проанализированы в [1] с целью включения наиболее совпадающих с данными РЛЭ корреляций в соответствующие расчетные коды. Всего в [1] был выполнен анализ 14-ти корреляций и там же приведено достаточно подробное их описание, осуществлен выбор наиболее подходящих корреляций.

В то же время РЛЭ ограничивался только рассмотрением истинного объемного паросодержания без учета динамики процесса выкипания воды, сопровождающегося снижением уровня теплоносителя и изменением характеристик циркуляции. Именно это обстоятельство не позволило сделать окончательный вывод о правомерности использования тех или иных корреляций. Необходим был ИЭ.

В последнее время были выполнены два зарубежных эксперимента (ALADIN и DENOPI). В России проведение ИЭ планируется на базе стенда КМС института НИТИ. Соответствующий условиям БВ и наиболее доступный (с точки зрения полноты данных эксперимента в открытых источниках) ИЭ был выполнен группой немецких специалистов на стенде ALADIN. Условия и результаты эксперимента приведены в [2], а описание программы РОК/Б, по которой выполнялись все расчеты, представлены в [3]. Эксперимент ALADIN проводился на 96-стержневой сборке квадратного сечения с высотой ~ 4 м в окружении рядов твэлов по всем четырем сторонам сборки (всего 44 периферийных стержня). Эти периферийные ряды моделировали соседние ТВС. Эксперимент был выполнен при барометрическом давлении над уровнем воды и при разных мощностях ТВС.

В процедуру анализа включались результаты расчета только для тех корреляций, которые отклонялись от результатов эксперимента на величину не более 30% (9 корреляций из 16-ти). Из рассмотрения исключена корреляция для модели скольжения, так как она не работает на этапе барботажа пара через практически неподвижную воду и дает искаженные результаты при низких скоростях циркуляции.

Таким образом, определены среднеквадратичные отклонения по РЛЭ $\sigma_{рсм}$ и ИЭ $\sigma_{тог}$.

Анализ показал, что по результатам сопоставления расчетных данных с использованием различных корреляций с данными РЛЭ и ИЭ наибольшую достоверность имеют корреляции

- Стыриковича – Кутателадзе [4] – $\sigma_{рсм} = 9,3\%$, $\sigma_{тог} = 4,5\%$; получена для давления 0,105–3,92 МПа для барботажа пара;
- Авдеева [5] – $\sigma_{рсм} = 10,6\%$, $\sigma_{тог} = 4,5\%$, получена для давления $\approx 0,1$ МПа в эксперименте для барботажа воздуха.

Это подтверждает адекватность РЛЭ и ИЭ условиям БВ и, что было подробно показано ранее в [3], возможность применения кода РОК/Б для теплогидравлических расчетов БВ.

Литература

1. Следков Р.М., Галкин И.Ю., Степанов О.Е., Стребнев Н.А. Определение истинного объемного паросодержания при потере охлаждения бассейна выдержки. // Теплоэнергетика. – 2017. – № 1. – С. 20-24. DOI: <https://doi.org/10.1134/S004036361610009X>

2. Schulz S., Schuster C., Hurtado A. Experimental investigation of boil-off-scenario in BWR spent fuel pools. / Proceedings of the 21st International Conference on Nuclear Engineering (ICONE21). 2013, Chengdu, China. DOI: <https://doi.org/10.1115/ICONE21-16830>

3. Следков Р.М., Карнаухов В.Е., Степанов О.Е., Бедретдинов М.М., Чусов И.А. Результаты валидации и перекрестной проверки расчетного кода РОК/Б на задаче потери охлаждения в бассейне выдержки. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2021. – № 4. – С.85-98. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2021.4.08>

4. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.

5. Авдеев А.А., Сиренко Е.И. Истинное объемное паросодержание при барботаже. // Теплоэнергетика. – 1984. – № 11. – С. 43-46.

Поступила в редакцию 14.03.2023

Автор

Следков Руслан Мансурович, ведущий инженер-конструктор,
E-mail: sledkov@grpress.podolsk.ru

UDC 621.039.58

Selection of Void Fraction Correlations for Task of Fuel Assemblies Cooling in SFP

Sledkov R.M.

OKB GIDROPRESS JSC,

21 Ordzhonikidze Str., 142103 Podolsk, Moscow reg., Russia

For citation: Sledkov R.M. Selection of Void Fraction Correlations for Task of Fuel Assemblies Cooling in SFP. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2023, no. 4, pp. 140-143; DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.4.12> (in Russian).

ABSTRACT

The task of hydrodynamics and heat and mass transfer in VVER spent fuel pool (SFP) during accident with loss of SFP cooling was considered. On the base of comparison of the local (OKB GIDROPRESS test facility, 1993 year) and integral (ALADIN test facility, 2016 year) experiments results and calculation results (using existing steam-water mixture void fraction correlations), the most suitable correlations were selected. 16 correlations were analyzed. Analysis shows, that 2 correlations are the most suitable for SFP conditions. That is Avdeev A.A. and Stircovich M.A. – Kutateladze S.S. correlations. Calculation was performed, using ROK/B code.

Key words: spent fuel pool, void fraction, time of start of fuel uncovering, code ROK/B, cooling loss, experimental facility, FA.

REFERENCES

1. Sledkov R.M., Galkin I.Y., Stepanov O.E., Strebnev N.A. Determination of steam volume fraction in the event of loss of cooling of the spent fuel storage pool. *Thermal Engineering*. 2017, vol.64, no. 1, pp. 15-19. DOI: <https://doi.org/10.1134/S004036361610009X> (in Russian).

2. Schulz S., Schuster C., Hurtado A. Experimental investigation of boil-off-scenario in BWR spent fuel pools. *Proc. of the 21st International Conference on Nuclear Engineering (ICONE21)*. 2013, Chengdu, China. DOI: <https://doi.org/10.1115/ICONE21-16830>

3. Sledkov R.M., Kharnaukhov V.E., Stepanov O.E., Bedretdinov M.M., Chusov I.A. Results of validation and cross-verification of the ROK/B design code on the problem of loss of cooling in the spent fuel pool. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2021, no. 4, pp.85-98.
DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2021.4.08> (in Russian).
4. Kutateladze S.S., Stircovich M.A. Hydrodynamics of fluid-gas systems. Moscow, Energy Publ., 1976, 296 p. (in Russian).
5. Avdeev A.A., Sirenco E.I. Void fraction at bubbling. *Thermal Engineering*. 1984, no. 11, pp. 43-46 (in Russian).

Author

Ruslan M. Sledkov, leading design-engineer,
E-mail: sledkov@grpess.podolsk.ru