

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙНОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ-ОХЛАДИТЕЛЯ НА СНИЖЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ГЕРМООБЪЕМЕ В АВАРИЙНЫХ СЛУЧАЯХ

А.В. Герлига¹, И.И. Свириденко², Г.Г. Балакан³, А.С. Балашевский¹

1 - НИИ АЭС Одесского национального политехнического университета, г. Одесса

2 - Севастопольский национальный технический университета, г. Севастополь

3 - ОП «Южно-Украинская АЭС» НАЭК Энергоатом, г. Южноукраинск

На основе ранее опубликованной авторами математической модели процесса, протекающего в паро-газовом объеме, куда впрыскивается капельный факел холодной жидкости, установлено, что основными параметрами, влияющими на работу струйного распылителя-охладителя (СРО) в гермообъеме АЭС, являются: длины труб СРО, расходы и температура охлаждающей жидкости.

Введение

К настоящему времени в технической литературе подробно рассмотрены устройства струйных распылителей – охладителей (СРО), рекомендуемых для использования в виде деаэраторов, декарбонизаторов, устройств пожаротушения и т.п.

В работе [1] впервые было предложено использовать СРО для охлаждения парогазовой смеси в гермообъеме (ГО) АЭС с ВВЭР-1000. Позже более подробно эта тема была рассмотрена в работах [2-3]. Предложенное авторами [2-3] устройство СРО представляет собой систему труб прямоугольного сечения над которыми располагаются форсунки. К форсункам подводится спринклерный раствор, а трубы располагаются вдоль внутреннего периметра в верхней части контейнента АЭС.

Актуальность задачи

Предлагаемый способ расхолаживания ГО обеспечивается за счёт увлечения паровоздушной смеси в трубы СРО потоком капель охлаждающей воды и за счёт снижения парциальных давлений пара и воздуха в трубах. Эти два эффекта приводят к активному поступлению во внутреннюю полость труб СРО «горячих» потоков парогазовой среды, где пар расхолаживается и конденсируется на каплях спринклерного раствора, а конденсат организованно отводится к приемку ГО.

Данный способ расхолаживания имеет существенное преимущество, так как обеспечивает возможность локальной конденсации пара в объеме ГО без залива спринклерным раствором оборудования реакторной установки. Поэтому определение влияния параметров СРО на процесс снижения давления в ГО – является весьма актуальной задачей.

Решение задачи

Предполагается, что в процессе развития аварии спринклерный насос будет включаться на самых первых этапах повышения давления в ГО, начиная с повышения избыточного давления в ГО более чем $0,1 \text{ кгс/см}^2$. При этом спринклерный раствор должен поступать только на СРО и не поступать на спринклерные устройства пока давление в ГО не поднимается более чем на $0,7 \text{ кгс/см}^2$ - для блока «малой» серии, и более чем на $0,3 \text{ кгс/см}^2$ - для серийного энергоблока АЭС с ВВЭР-1000.

В [2] изложены математические модели, описывающие процессы, протекающие в ГО и СРО и которые будут нами использоваться для получения результатов, приведенных в данной работе.

Гермообъем рассматривается, как сосредоточенный нульмерный объем и процессы в нём описываются нульмерными нестационарными уравнениями баланса массы пара, баланса массы тумана и нестационарным уравнением энергии парогазовой смеси.

В самой трубе СРО выделяется три потока:

– поток парогазовой смеси между капельными факелами, образуемыми форсунками;

– поток парогазовой смеси в межкапельном пространстве капельных факелов;

– поток капель в капельных факелах.

В общем случае для каждого из указанных потоков записываются одномерные стационарные уравнения неразрывности, энергии и количества движения.

Предварительные расчёты позволили сделать следующие общие выводы:

1. Расчетное исследование показало, что при температуре спринклерного раствора 50°C можно обеспечить снижение давления в ГО для ВВЭР-1000 малой серии при малых и средних течах.

2. Для серийных реакторов при температуре спринклерного раствора 50°C удастся снизить давление в ГО только для течей малых эквивалентных диаметров. При температуре спринклерного раствора 30°C можно надежно снизить давление для серийных реакторов ВВЭР - 1000 при малых и средних течах.

Эти результаты получены для труб СРО следующих размеров: длина - 2 м, сечение - $2 \times 0,75$ м, число форсунок в трубе - 24, диаметр струйных форсунок - 8 мм, перепад давлений на форсунках $0,5 \text{ МПа}$, число труб - 10.

Представляет интерес анализ зависимости конденсационной способности труб СРО от режимных и геометрических параметров при более широком их изменении. При этом в конечном счёте, за критерий такой способности мы будем брать максимальное давление в ГО при наличии течи и срабатывании системы труб СРО.

Рассчитано влияние величины перепада давлений на форсунках, температуры воды и длины труб СРО.

Проанализировано влияние перепада давлений на форсунках ΔP_ϕ на величину коэффициента эжекции

$$K_\varepsilon = \frac{G_{ТВХ} + G_{ПВХ} + G_{ГВХ}}{G_{ЖВХ}}, \quad (1)$$

где $G_{ТВХ}$, $G_{ПВХ}$, $G_{ГВХ}$, $G_{ЖВХ}$, соответственно, расходы на входе в трубу СРО тумана, пара, воздуха и эжектирующей воды.

Расчёты показывают, что значение K_ε при различных ΔP_ϕ ($0,05 - 0,5 \text{ МПа}$) колеблется в пределах $0,83 \dots 0,832$, то есть K_ε практически не зависит от перепада давлений на форсунках.

Здесь и в дальнейших расчётах при изменении ΔP_ϕ расход через СРО практически не изменялся, что достигалось подбором количества форсунок. При этом поперечные размеры труб изменялись так, чтобы капельный факел касался трубы лишь в конечном её сечении.

Влияние увеличения длины труб L СРО, видимо, должно существенно влиять на процесс конденсации пара и охлаждения воздуха, так как это приводит к увеличению времени контакта паровоздушной смеси с каплями.

На рис.1 представлены результаты этого влияния для диаметра эквивалентной те-чи 60 мм: $\mathcal{E} = f(L)$, где

$$\mathcal{E} = \frac{(G_{П ВХ} \cdot i_{П ВХ} - G_{П ВЫХ} \cdot i_{П ВЫХ}) + G_{ВОЗД} (T_{ВХ} - T_{ВЫХ}) + (G_{ТУМ ВХ} \cdot i_{ТУМ ВХ} - G_{ТУМ ВЫХ} \cdot i_{ТУМ ВЫХ})}{G_{Ж}} \quad (2)$$

Здесь $i_{П}$ - энтальпия пара,

$i_{Т}$ - энтальпия тумана,

T – температура,

индекс «вых» относится к параметрам на выходе из трубы в коллектор.

Фактически \mathcal{E} представляет собой количество теплоты, удаляемой из ГО одним килограммом спринклерного раствора в единицу времени.

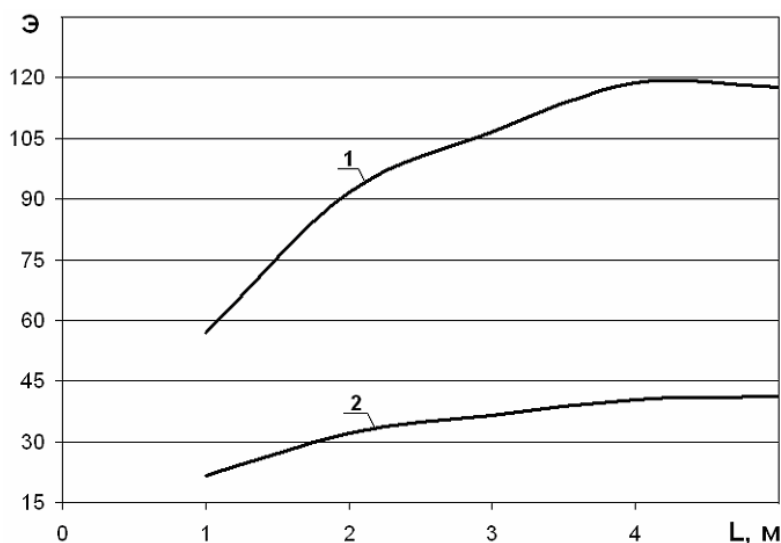


Рис. 1. Влияние длины трубы на интенсивность конденсации пара и охлаждения воздуха:
1 - 30°C, 2 - 60°C, $\Delta P_\phi = 0,5$ МПа, $d_{ЭКВ} = 60$ мм

Из рисунка видно, что с ростом L интенсивность отвода теплоты из ГО вначале резко растёт и при приближении L к 5 м этот рост замедляется. Учитывая это и стремление не загромождать пространство ГО мы рекомендуем выбирать L в пределах (4...5) м.

Относительное количество сконденсировавшегося пара $M = \frac{(G_{ПВХ} + G_{ТВХ}) - G_{ПВЫХ}}{G_{ЖВХ}}$,

приходящегося на единицу расхода охлаждающей воды практически не зависит от ΔP_ϕ , а в основном зависит от температуры охлаждающей воды. Эта подтверждается результатами расчётов, представленных на рис. 2 для диаметра эквивалентной течи 60 мм.

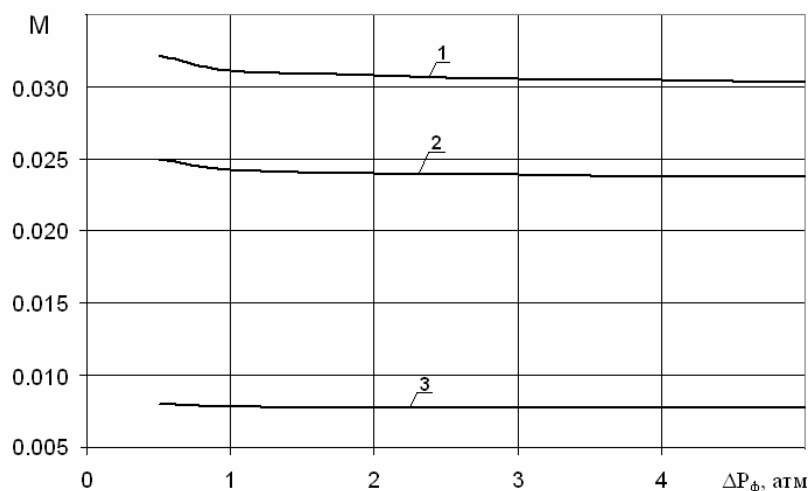


Рис. 2. Зависимость M от ΔP_ϕ и температуры спринклерного раствора:
1 – 30 град, 2 – 40 град, 3 – 60 град

В заключении приведем результаты расчётов по изменению давления в ГО при малых и средних течах для СРО с трубами $L = 2$ м и $L = 5$ м (рис. 3, 4).

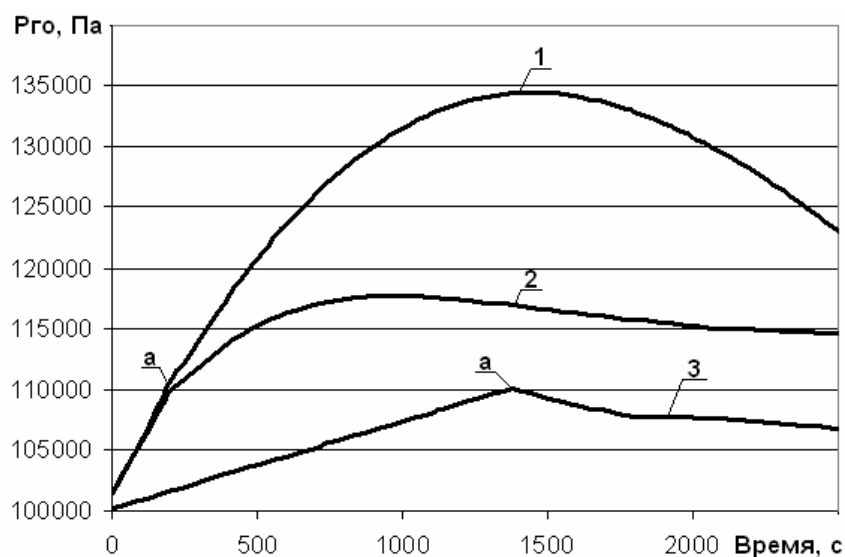


Рис. 3. Изменение давления в ГО при $L = 5$ м: 1 – 60 мм, 2 – 40 мм, 3 – 20 мм (диаметр эквивалентной течи), $t = 50$ °С, $\Delta P_\phi = 0,5$ МПа; а – момент включения СРО

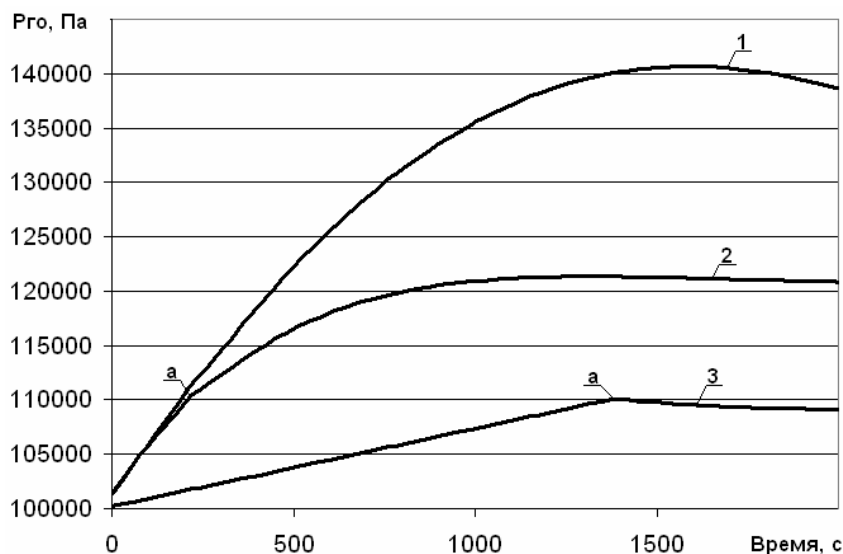


Рис. 4. Изменение давления в ГО при $L = 2$ м: 1 – 60 мм, 2 – 40 мм, 3 – 20 мм (диаметр эквивалентной течи), $t = 50$ °С, $\Delta P_{\phi} = 0,5$ МПа; а – момент включения СРО

Расчетное исследование проводилось для труб СРО с форсунками струйного типа, имеющими диаметр выходного отверстия 8 мм. Общий расход охлаждающей жидкости составил $G_B = 30,336$ кг/с. Начальный диаметр капли воды в факеле выбирался в соответствии с [4].

Из сравнения кривых, представленных на рисунках, видно, что при $L = 5$ м максимальные значения давления в ГО значительно ниже, чем при $L = 2$ м и СРО справляется со своей задачей и при «средних» течах в РУ (с серийными ВВЭР-1000).

Выводы

1. Изменение перепада давлений на форсунках СРО в пределах (0,1...0,5) МПа при постоянном суммарном расходе охлаждающей жидкости практически не влияют на процессы в ГО и СРО.

2. Основными параметрами, влияющими на работу СРО, являются: длина труб СРО, расходы и температура охлаждающей жидкости.

3. Увеличение длины труб СРО с 2 м до 5 м позволяют значительно увеличивать интенсивность конденсации пара и обеспечить необходимое расхолаживание гермообъема как для «малой» так и «большой» серии реакторов ВВЭР-1000 для условий аварии с течью теплоносителя средних размеров.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СТРУМІННОГО РОЗПИЛЮВАЧА-ОХОЛОДЖУВАЧА НА ЗНИЖЕННЯ ТИСКУ В ГЕРМООБ'ЄМІ В АВАРІЙНИХ ВИПАДКАХ

О.В. Герліга, І.І. Свириденко, Г.Г. Балакан, А.С. Балашевський

На основі раніше опублікованої авторами математичної моделі процесу, що протікає в парогазовому об'ємі, куди уприскується краплинний факел холодної рідини, встановлено що основними параметрами, що впливають на роботу струменевого розпилювача-охолоджувача (СРО) у гермооб'ємі АЕС є: довжини труб СРО, витрати і температура охолоджуючої рідини.

INFLUENCE OF PARAMETERS OF THE STREAM NEBULIZER-COOLER ON PRESSURE DECREASE IN AIR-TIGHT VOLUME

A.V. Gerliga, I.I. Sviridenko, G.G. Balakan, A.S. Balashevsky

On the basis of the mathematical model of process flowing in a vapour-gas volume, where the tiny torch of cold liquid is injected, before published by authors, it is set that by basic parameters affecting work of stream nebulizer-cooler (SNC) in the air-tight volume of AES are: lengths of the SNC pipes, charges and temperature of cooling liquid.

Список использованных источников

1. *Бейнер К.С., Сухов А.К., Сычев Е.И.* Использование универсальной эжекторной установки для конденсации радиоактивного пара в целях продления ресурса последней / В Сб. научных трудов СНИЯЭиП. Севастополь: СНИЯЭиП, Вып. 6, 2002. – С. 12-15.
2. *Герлига А.В., Балакан Г.Г.* Математическое моделирование работы струйного распылителя-охлаждителя (СРО) // Труды ОНПУ. - Одесса, 2006. – Вып. 2(26). – С. 71-75.
3. *Балакан Г.Г., Герлига А.В., Герлига В.А., Проходцев А.Ю.* Расчетный анализ снижения давления в гермообъеме контеймента с помощью струйных распылителей-охлаждителей при наличии течи // В Зб. наукових праць СНУЯЕтаП. Севастополь: СНУЯЕтаП. Вип. 3 (19), 2006. – С. 30-37.
4. *Пажжи Д.Г., Галустов В.С.* Распылители жидкостей. – М.: Химия, 1979. – 216 с.