

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОТВОДА ТЕПЛА В УСЛОВИЯХ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК

И. М. Бураков, А. А. Плаксеев, М. М. Григорьев, Н. А. Подпорина

ОАО «Атомэнергопроект», г. Москва

Введение

Система пассивного отвода тепла (СПОТ) является защитной системой безопасности, основанной на пассивном принципе действия, обеспечивающей отвод остаточных тепловыделений от активной зоны реакторной установки (РУ) через второй контур при потере всех источников переменного тока на атомной электрической станции (АЭС) и отказе системы аварийного расхолаживания парогенераторов (САР).

Система пассивного отвода тепла должна выполнять свою функцию в любых климатических условиях, в том числе при скоростях ветра до ураганных значений.

Конструкция системы

Схема компоновки СПОТ на герметичной оболочке АЭС Куданкулам представлена на рис. 1.

Система состоит из контуров естественной циркуляции, образующих 4 канала СПОТ – по одному на каждый парогенератор. Каждый канал включает в себя три теплообменных модуля, трубопроводы пароконденсатного тракта с арматурой, тракт воздухопроводов, воздушные затворы и регулирующие устройства.

Согласно принятым проектным характеристикам оборудования, трех каналов СПОТ достаточно для осуществления системой своих функций в полном объеме.

В каждом канале СПОТ пар от парогенератора (2) по трубопроводу парового тракта (3) поступает в три теплообменника (6). В теплообменниках (6) пар конденсируется, отдав тепло охлаждающему воздуху. Далее конденсат по трубопроводам конденсатного тракта (4) возвращается в парогенератор.

Охлаждение пара в теплообменниках осуществляется атмосферным воздухом. Охлаждающий воздух забирается из атмосферы вне оболочки здания. Воздух за счет естественной тяги поступает в кольцевой коллектор (КК) (5), расположенный вокруг оболочки здания. Затем по индивидуальным воздухопроводам воздух поступает на теплообменники (6). В теплообменниках (6) охлаждающий воздух отбирает тепло от пара и поступает в тяговые участки воздухопроводов (9), которые заканчиваются общим коллектором (10) с дефлектором (11).

Одним из факторов, способных повлиять на работу СПОТ, является действие ветра, которое может привести к неравномерности течения воздушного потока в воздуховодах и, следовательно, к неравномерному отводу тепла теплообменниками СПОТ. Для исключения этого влияния СПОТ оснащена следующими конструктивными элементами: кольцевым входным воздушным коллектором (5), общим выходным коллектором (10) с дефлектором (11), воздушными затворами (7) и регулирующим устройством (8).

Поступление атмосферного воздуха в кольцевой входной коллектор осуществляется через щелевые отверстия, расположенные в его нижней части. Все указанные конструктивные элементы предназначены для создания одинаковых гидродинамических условий на входе и выходе воздушных трактов, в которых расположены воздушные теплообменники СПОТ. Расположение и геометрические размеры всех указанных элементов (щелевых отверстий, входного кольцевого коллектора, выходного коллектора с дефлектором) выбраны на основании проведенных экспериментальных исследований внешней аэродинамики главного здания АЭС.

Ветер

Ветер представляет собой горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности и характеризуется направлением и скоростью.

Для освещения ветрового режима района АЭС «Куданкулам» рассчитаны и приведены характеристики ветра по данным двухсрочных наблюдений опорных метеорологических станций Каньякумари и Тривандрум, а также по данным, полученным с кораблей, проходящих вблизи побережья (1969–1989 гг.). Средняя скорость ветра в теплый период года 3,4 м/с, в холодный – 5,2 м/с, за год – 4,4 м/с.

Чаще всего наблюдаются ветры скоростью 1–3 м/с. На ветры скоростью 15–20 м/с приходится от 9,7 % в апреле до 48,3 % от всех случаев в январе.

Специалистами Заказчика рекомендуется принимать значения расчетных максимальных скоростей ветра повторяемостью раз в 10000 лет, равными 55 м/с, повторяемостью раз в 1000 лет – 46 м/с [1].

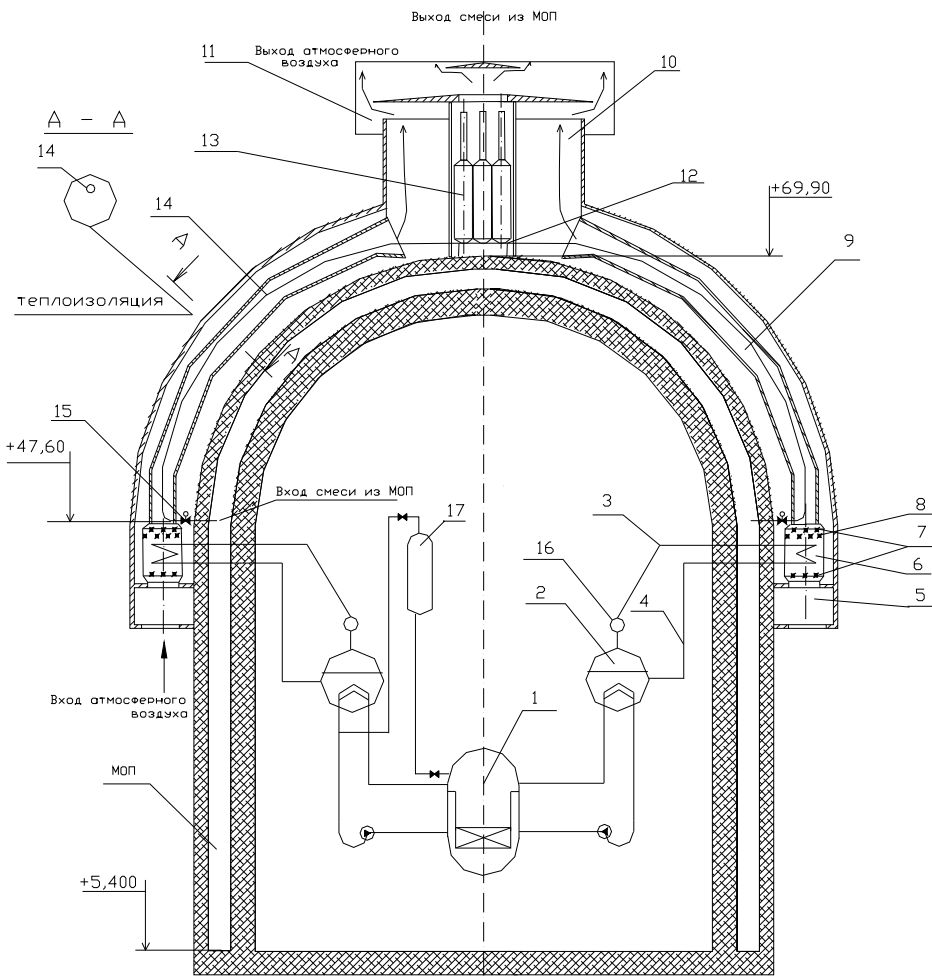


Рис. 1. Схема системы пассивного отвода тепла:

1 – РУ; 2 – парогенератор; 3 – паровой тракт; 4 – конденсатный тракт; 5 – входной КК; 6 – теплообменник СПОТ; 7 – воздушные затворы; 8 – регулирующие устройства; 9 – тяговая шахта СПОТ; 10 – выходной коллектор СПОТ; 11 – дефлектор; 12 – сборный коллектор фильтровальной установки; 13 – фильтровальная установка ПСФ; 14 – теплообменник ПСФ; 15 – задвижка запорная; 16 – паровой коллектор; 17 – гидроемкость ДСПЗАЗ

Описание расчетной схемы

Расчетная схема СПОТ представлена на рис. 2.

Участки 1–2; 3–4; 5–6; 7–8; моделируют щелевые отверстия. Участки 2–4; 4–6; 6–8; 8–2, моделируют кольцевой коллектор, участки 2–9; 4–9; 6–9; 8–9, моделируют каналы СПОТ, участок 9–10 моделирует выходной коллектор.

В проведенном расчете приняты следующие граничные условия:

Давление в ПГ: 6,27 Мпа.

Температура атмосферного воздуха : 41,5 С°[1].

Атмосферное давление: 0,098 Мпа.

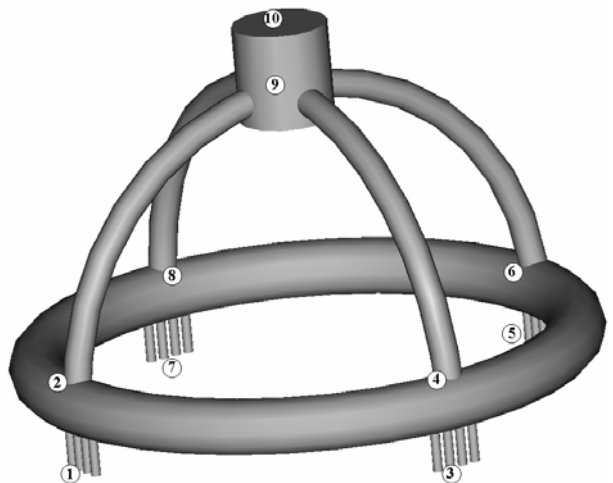


Рис. 2. Расчетная схема системы пассивного отвода тепла

В табл. 1 приведены результаты расчета для различных скоростей ветра, где P_{1i} – избыточное давление воздуха перед щелевым отверстием, P_{2i} – избы-

точное давление воздуха на входе в теплообменник, i – номер канала СПОТ.

Таблица 1

Характеристики каналов системы при различных скоростях ветра

Скорость ветра 0 м/с															
Канал № 1 (точки 1, 2, 9)				Канал № 2 (точки 3, 4, 9)				Канал № 3 (точки 5, 6, 9)				Канал № 4 (точки 7, 8, 9)			
N, МВт	G, кг/с	P_{11} , Па	P_{21} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{12} , Па	P_{22} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{13} , Па	P_{23} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{14} , Па	P_{24} , Па
22,85	119,66	0	-99	22,85	119,66	0	-99	22,85	119,66	0	-99	22,85	119,66	0	-99
Скорость ветра 5 м/с															
Канал № 1 (точки 1, 2, 9)				Канал № 2 (точки 3, 4, 9)				Канал № 3 (точки 5, 6, 9)				Канал № 4 (точки 7, 8, 9)			
N, МВт	G, кг/с	P_{11} , Па	P_{21} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{12} , Па	P_{22} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{13} , Па	P_{23} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{14} , Па	P_{24} , Па
25,02	133,71	14	-79	24,99	133,56	-8	-80	25,09	134,24	-5	-78	24,99	133,56	-8	-80
Скорость ветра 10 м/с															
N, МВт	G, кг/с	P_{11} , Па	P_{21} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{12} , Па	P_{22} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{13} , Па	P_{23} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{14} , Па	P_{24} , Па
29,17	161,82	54	-44	29,11	161,68	-33	-45	29,38	163,61	-19	-41	29,11	161,67	-33	-45
Скорость ветра 25 м/с															
N, МВт	G, кг/с	P_{11} , Па	P_{21} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{12} , Па	P_{22} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{13} , Па	P_{23} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{14} , Па	P_{24} , Па
43,32	305,89	399	206	42,96	305,18	-203	206	43,16	312,93	-119	229	42,96	305,18	-203	206
Скорость ветра 30 м/с															
Канал № 1 (точки 1, 2, 9)				Канал № 2 (точки 3, 4, 9)				Канал № 3 (точки 5, 6, 9)				Канал № 4 (точки 7, 8, 9)			
N, МВт	G, кг/с	P_{11} , Па	P_{21} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{12} , Па	P_{22} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{13} , Па	P_{23} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{14} , Па	P_{24} , Па
46,53	367,05	488	336	46,03	365,65	-293	366	46,50	375,21	-171	368	46,03	365,69	-293	336
Скорость ветра 55 м/с															
N, МВт	G, кг/с	P_{11} , Па	P_{21} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{12} , Па	P_{22} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{13} , Па	P_{23} , Па	N, МВт	G, кг/с	P_{14} , Па	P_{24} , Па
56,05	706,44	1641	1318	54,63	694,99	-985	1318	54,77	714,20	-574	1428	54,63	695,00	-985	1318

Характер движения воздуха в кольцевом коллекторе

На рис. 3 показан характер движения воздуха в КК при скоростях ветра от 5 до 55 м/с, в табл. 2 указаны расходы воздуха в соответствующих участках КК для различных скоростей ветра.

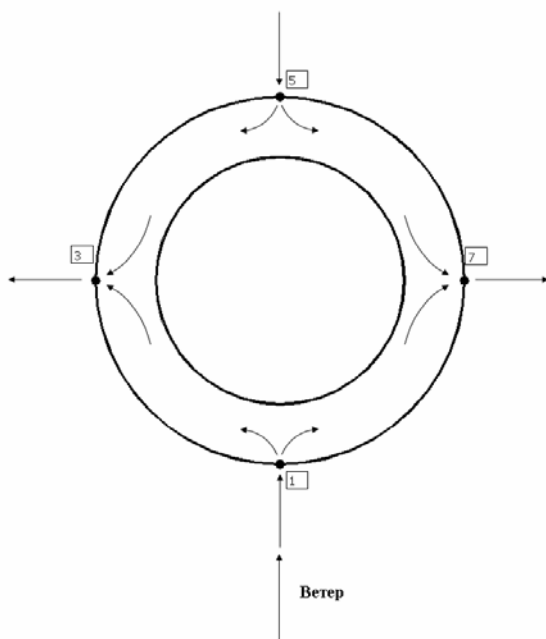


Рис. 3. Характер движения воздуха в кольцевом коллекторе

Из табл. 1 видно, что в результате действия ветра, обтекающего контеймент, с фронтальной (рис. 3 точка 1) стороны образуется область повышенного давления, а с тыловой (рис. 3 точка 5) и боковых (рис. 3 точки 3 и 7) стороны образуется область разрежения. В точках 1 и 5 воздух заходит в кольцевой коллектор (из-за разрежения преимущественно в т. 5), в точках 3 и 7 воздух выходит из кольцевого коллектора. Несмотря на разницу давления (обусловленную влиянием ветра) перед щелевыми отверстиями давление перед теплообменниками в разных каналах практически не отличаются. Таким образом кольцевой коллектор выравнивает давление в каналах, что позволяет СПОТ выполнять свои функции в условиях ветра, со скоростями вплоть до ураганных. С возрастанием скорости ветра увеличивается расход в каналах системы, что приводит к увеличению мощности (от 91,4 МВт без ветра, до 220, 08 МВт при ветре скоростью 55 м/с).

Таблица 2

Расходы воздуха в кольцевом коллекторе при различных скоростях ветра, кг/с

Скорость ветра, м/с	Участок							
	Атмосфера – точка 1	Атмосфера – точка 3	Атмосфера – точка 5	Атмосфера – точка 7	Точка 1 – точка 3	Точка 5 – точка 3	Точка 5 – точка 7	Точка 1 – точка 7
5	337	-237	642	-237	117	254	254	117
6	366	-272	733	-272	113	297	297	113
7	362	-306	822	-306	110	339	339	110
8	362	-343	917	-343	107	384	384	107
9	364	-380	1015	-380	105	429	429	105
10	369	-419	1117	-419	106	475	475	106
15	404	-613	1628	-613	101	712	712	101
25	560	-1011	2690	-1011	127	1188	1188	127
30	669	-1210	3225	-1210	151	1425	1425	151
35	783	-1409	3761	-1409	176	1661	1661	176
40	901	-1607	4304	-1607	202	1899	1899	202
55	1271	-2194	5928	-2194	282	2607	2607	282

Заключение

Как видно из результатов расчета КК выравнивает давления в каналах, что позволяет СПОТ выполнять свои функции в условиях ветра вплоть до ураганных значений, мощность системы в рассмотренных режимах работы всегда больше 60 МВт (2 % номинальной тепловой мощности реакторной установки), что гарантирует необходимый отвод остаточных тепловыделений от реактора в случае аварии.

Данный расчет позволяет рассмотреть варианты улучшения геометрических характеристик бетонных конструкций системы.

Литература

1. АЭС «Куданкулам» в Индии. Проект. Природные условия. Книга 6. Метеорологические условия. ФГУП АЭП. Москва, 1999.