

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ЗА РУБЕЖОМ

2 Апрель 1989

ОРГАН МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР,
ВСЕСОЮЗНОГО
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА
ЭНЕРГЕТИКОВ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА
Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

(Приложение к сборнику
«Энергетическое строительство»)

Исследование прочности железобетонной защитной оболочки

Инж. Г. В. ТОКМАЧЕВ

При возможной тяжелой аварии на АЭС, связанной с расплавлением активной зоны ядерного реактора, защитная оболочка является последним барьером, способным предотвратить радиоактивный выброс в окружающую среду. Аварии такого типа сопровождаются повышением давления под защитной оболочкой, значительно превышающим проектные значения. До последнего времени условная вероятность быстрого разрушения защитной оболочки в случае расплавления активной зоны определялась главным образом на основе результатов экспертных оценок и имела большой разброс — от 0,01 до 0,09 [1]. Для уменьшения неопределенности Комиссия по ядерному регулированию США разработала программу экспериментальных исследований прочности защитных оболочек АЭС, в рамках которой в национальной лаборатории «Сандиа» (г. Альбукерке, штат Нью-Мексико) была проведена серия испытаний различных моделей до разрушения [2].

В процессе исследований была испытана модель оболочки из железобетона с внутренней стальной облицовкой, представляющая собой копию защитной оболочки ядерного реактора PWR в масштабе 1:6 [2—4]. Модель имеет цилиндрическую форму с полусферическим куполом и сооружена на плоском фундаменте. Размеры железобетонной модели защитной оболочки приведены ниже:

Высота, м	11,2
Внутренний диаметр, м	6,7
Толщина купола, м	1,78
Толщина стен, мм:	
в верхней части	248
в районе люков	около 500
Толщина фундамента, м	1
Толщина стальной облицовки, мм:	
в районе фундамента и стен	1,6
в районе купола	2,1

Цилиндрическая часть защитной оболочки заармирована восемью рядами арматуры: четырьмя горизонтальными, двумя вертикальными и двумя рядами арматуры, предназначенной для восприятия сейсмических нагрузок.

В местах нарушения сплошности железобетонной конструкции (люки или граница цилиндрической части и фундаментной плиты) была установлена дополнительная арматура. Непрерывность армирования обеспечивалась путем сращивания арматуры внахлест. Для изготовления арматуры была использована сталь А 615 «Grade 60», а внутренней облицовки — сплав А 414 «Grade D». Модель имела многочисленные проходки и два герметичных люка для персонала. Конструкция рассчитана на проектное давление 0,32 МПа. При сооружении модели, которое велось на протяжении 1 года, тщательно контролировали выполнение всех требуемых норм и стандартов, распространяющихся на полномасштабные промышленные защитные оболочки [2, 4—7]. Модель была оснащена 1200 контрольно-измерительными приборами, включая 300 тензодатчиков, установленных на арматуре, и 600 — на облицовке, 150 преобразователей перемещений, 70 термометров, 18 фотоаппаратов, 12 телевизионных камер и микрофоны. Избыточное давление под защитной оболочкой обеспечивалось азотом, который подавался из специальных емкостей через галерею затворов и далее по гибкому шлангу.

Первоначально в несколько этапов был осуществлен пробный подъем давления под защитной оболочкой до 0,365 МПа и затем его сброс до атмосферного. При этом с помощью телекамер на внешней стене сооружения была зафиксирована ожидаемая сеть трещин с незначительной шириной раскрытия. После установки дополнительных приборов на модели давление вновь было повышено до проектного 0,32 МПа в целях испытания защитной оболочки на плотность.

После этих предварительных операций началась опрес-

совка защитной оболочки до разрушения, которая длилась свыше 30 ч. При этом давление до 0,35 МПа повышалось с шагом 0,07 МПа, до 0,6 МПа — с шагом 0,035 МПа и на последней стадии испытательный шаг повышения давления колебался от 0,014 до 0,021 МПа.

В процессе подъема давления степень деформации железобетона измеряли с помощью дистанционно управляемых приборов, которые могли перемещаться по поверхности защитной оболочки в горизонтальном и вертикальном направлениях. При давлении 0,88 МПа акустическая система зафиксировала слабую утечку азота около одного из люков. При давлении 0,97 МПа утечка была обнаружена около другого люка, при этом диаметр его закладного кольца увеличился на 12,7 мм. При давлении 0,98 МПа суммарная утечка составила 13 % по массе в сутки, при 1,001 МПа — 62 %, при 1,02 МПа — 234 %. После этого в течение 1 ч утечка продолжала возрастать без повышения давления и в момент прекращения испытания достигла 500 % по массе. При осмотре защитной оболочки было выяснено, что основным видом разрушения явился узкий вертикальный разрыв стальной облицовки длиной 0,5 м в районе сварного шва около одного из люков защитной оболочки. В ряде мест облицовка была пробита анкерами, крепящими ее к железобетонной защитной оболочке. Имелись также другие разрывы облицовки. Железобетонная же оболочка внешне выглядела практически неповрежденной за исключением того, что ее бетонная поверхность была покрыта сетью трещин, максимальная ширина которых не превышала 3 мм. Кроме того, после испытаний сооружение утратило строго цилиндрическую форму: произошло слабое выпучивание стен, в результате чего диаметр защитной оболочки увеличился на 0,1 м.

Предварительный анализ результатов испытаний показал, что модель защитной оболочки выдержала более чем трехкратное проектное давление, что выше, чем при тяжелых авариях. При этом разрушение защитной оболочки не было катастрофическим.

В заключение следует отметить, что целью испытаний была проверка правильности расчетных методик, используемых при вероятностных анализах безопасности АЭС. Результаты предварительных расчетов, выполненных во Франции, ФРГ, Италии, Великобритания и США, в настоящее время сравниваются с экспериментальными. По оценкам специалистов, разрушение конструкции должно наступить при давлениях 0,9—1,3 МПа, что согласуется с результатом проведенных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cave L. Severe accidents: prevention is better than a moratorium?// Nuclear Engineering International. 1987. Vol. 32. N 398. P. 19—25.
2. Von Reisman W. A., Horschel D. S., Clauss D. B. Sandia programme provides insights into containment integrity// Nuclear Engineering International. 1988. Vol. 33. N 408. P. 40—42.
3. Ucciferro J. J., Hulshizer A. J., Gray G. E. Design and construction aspects of a 1/6-scale LWR reinforced concrete containment model// Proceedings of American power conference. Chicago. April 14—16, 1986. Vol. 48. P. 799—804.
4. Nelson R. Manufactured meltdown// Popular science. 1988. Vol. 232. N 1. P. 66—67, 113.
5. Containment model fails quietly at three times pressure in Sandia test// Nuclear Engineering International. 1987. Vol. 32. N 399. P. 3.
6. 1/6-scale containment secure up to 138 psig// Nuclear News. 1987. Vol. 30. N 11. P. 36—38.
7. Reactor — containment model survives leak test// Machine Design. 1987. Vol. 59. N 22. P. 14—15.